

UNGGULAN UNIB



**LAPORAN AKHIR
UNGGULAN UNIB 2020**

JUDUL PENELITIAN

**PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA UNTUK
PERENCANAAN EVAKUASI TSUNAMI SEBAGAI
UPAYA MITIGASI BENCANA DI KECAMATAN TELUK
SEGARA KOTA BENGKULU**

Tim Peneliti:

Zulfia Memi Mayasari, S.Si., M.Si. (0002127301)

Dr. Mulia Astuti, S.Si., M.Si (0022047801)

Nur Afandi, S.Si., M.Sc (0020068804)

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BENGKULU**

2020

**HALAMAN PENGESAHAN
UNGGULAN UNIB 2020**

Judul Penelitian	: Pengembangan Model Matematika untuk Perencanaan Evakuasi Tsunami Sebagai Upaya Mitigasi Bencana di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu
Ketua Peneliti	
a. Nama Lengkap	: Zulfia Memi Mayasari, S.Si., M.Si
b. NIP	: 197312021998022001
c. NIDN	: 0002127301
d. Pangkat/Golongan	: Pembina/IV a
e. Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
f. Fakultas/Jurusan	: Mipa/Matematika
g. Pusat Penelitian	: Universitas Bengkulu
h. Alamat Institusi	: Jl. WR. Supratman, Kandang Limun Bengkulu
i. Nomor HP/ email	: 081367379697/ zulfiamm@unib.ac.id ; zulfiamemimayasari@yahoo.com
j. Sinta Author id	: 5977478
k. Scopus Author Id/ID-Indeks	: 57208631421
Peneliti Anggota	: 2 Orang
Nama Anggota 1	: Dr. Mulia Astuti, S.Si. M.Si
NIDN	: 0022047801
Bidang Keahlian	: Aljabar (Teori Graph)
Nama Anggota 2	: Nur Afandi, S.Si., M.Sc
NIDN	: 0020068804
Bidang Keahlian	: Matematika (Analisis)
Mahasiswa yang terlibat	: Edi Alamsyah
NPM	: F1A017023
Biaya yang diusulkan	: Rp.31.000.000,-
<i>In kind</i> dari pihak lain	: Rp.0,-

Bengkulu, 21 Desember 2020

Mengetahui,
Dekan Fakultas

Ketua,

Prof. Dr. Irfan Gustian, S.Si., M.Si
NIP. 197308041998021002

Zulfia Memi Mayasari, S.Si., M.Si
NIP. 197312021998022001

Menyetujui
Ketua LPPM Universitas Bengkulu

Dr. Ir. Hery Sahartoyo, M.Sc
NIP. 196306251987031002

RINGKASAN

Provinsi Bengkulu tergolong sebagai provinsi yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami. Untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami, kesiapan mitigasi terhadap bahaya tsunami sangat diperlukan. Salah satu caranya dengan menyediakan informasi mengenai jalur evakuasi yang optimal dan tempat penampungan penduduk saat evakuasi (ESB) beserta kapasitasnya.

Tujuan umum penelitian ini adalah mendapatkan model jalur evakuasi yang optimal untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami. Tujuan ini akan dicapai melalui beberapa tahap, yaitu: Observasi dan pengumpulan data, penentuan dan analisis ESB dan lokasi ESB beserta kapasitasnya, merancang model *graph* jaringan jalan dalam wilayah penelitian, penentuan jalur berdasarkan jarak terpendek menggunakan algoritma *Floyd Warshall*, pengembangan model matematika untuk jalur evakuasi berdasarkan kondisi riil di lapangan untuk menentukan waktu evakuasi, penentuan jalur evakuasi tsunami dan analisis performansi program serta jalur evakuasi yang dihasilkan.

Analisis ESB dilakukan berdasarkan lokasi dan kapasitas dari masing-masing gedung yang potensial dijadikan ESB. Dengan menggunakan *cluster-cluster* yang telah ditetapkan, tempat berkumpul yang telah ditetapkan dan ESB yang telah dianalisis, kemudian diterapkan pada *graph* jaringan jalan yang diboboti oleh jarak dan berdasarkan kondisi riil di lapangan yang diaplikasikan pada *software* yang telah dibuat sehingga diperoleh jalur evakuasi yang optimal.

Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian adalah dihasilkannya model jalur evakuasi yang optimal untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami di Kota Bengkulu. Luaran yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah dihasilkannya artikel yang akan diterbitkan dalam Prosiding Internasional Terindeks Scopus melalui seminar pada “The International Conference on Mathematics, Statistics, and Data Science (ICMSDC) 2020, Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tanggal 11-12 November 2020, dihasilkannya HaKI, dihasilkannya bahan ajar serta dihasilkannya skripsi mahasiswa Program Studi Matematika atas nama Edi Alamsyah (NPM: F1A017023).

Berdasarkan jalur evakuasi yang dihasilkan dari penelitian ini, dimana evakuasi dilakukan secara vertikal dan horizontal berdasarkan jarak terdekat dan waktu

minimal, diperoleh hasil bahwa beberapa *cluster* membutuhkan waktu yang lebih lama menuju titik berkumpul/ESB meskipun jaraknya lebih dekat. Hal ini disebabkan oleh jumlah penduduk yang lebih banyak pada *cluster* tersebut. Dengan kata lain, jumlah penduduk pada tiap *cluster* sangat berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tempat berkumpul/ESB.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat_Nya peneliti dapat menyelesaikan Laporan Akhir Penelitian Unggulan Universitas Tahun 2020 dengan judul: **Pengembangan Model Matematika untuk Perencanaan Evakuasi Tsunami Sebagai Upaya Mitigasi Bencana di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu.** Penelitian ini dilaksanakan untuk mendapatkan mendapatkan model jalur evakuasi yang optimal untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami. Laporan akhir penelitian ini disusun sesuai dengan keterbatasan dan kemampuan yang peneliti miliki. Peneliti merasakan banyak sekali kekurangan khususnya dalam menganalisis gedung-gedung yang potensial dijadikan ESB. Untuk itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan laporan penelitian ini kemudian.

Demikianlah laporan ini disusun agar dapat berguna dan kemajuan bagi kita semua di masa yang akan datang.

Bengkulu, Desember 2020
peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	I
HALAMAN PENGESAHAN	Ii
RINGKASAN	Iii
PRAKATA	V
DAFTAR ISI	Vi
DAFTAR TABEL	Vii
DAFTAR GAMBAR	Viii
DAFTAR LAMPIRAN	Ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. <i>Graph</i>	3
2.2. Algoritma <i>Floyd Warshall</i>	3
2.3. Metode Evakuasi Tsunami	4
2.3.1. Evakuasi horizontal	4
2.3.2. Evakuasi vertikal	4
2.4. Kapasitas Gedung	5
2.5. Sistem Peringatan Dini Tsunami (<i>Tsunami Evacuation Warning System-TEWS</i>)	5
2.6. Waktu Evakuasi	6
2.7. Peta Jalan Penelitian	7
Bab III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	9
3.1. Tujuan Penelitian	9
3.2. Manfaat Penelitian	9
Bab IV. METODE PENELITIAN	11
Bab V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	14
5.1. Kondisi Umum Kecamatan Teluk Segara	14
5.2. Penentuan Titik Berkumpul dan ESB	15
5.3. Penghitungan Jumlah Penduduk Tiap <i>Cluster</i>	17
5.4. Pembentukan <i>Graph</i> Jaringan Jalan	19
5.5. Penentuan Jalur Terpendek	23
5.6. Luaran yang Dicapai	29
Bab VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	31
Bab VIII. KESIMPULAN DAN SARAN	32
7.1. Kesimpulan	32
7.2. Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	34

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kapasitas Skor Gedung	5
Tabel 2.2. Kecepatan Berjalan Pengungsi	6
Tabel 5.1. Luas Tiap Kelurahan dan Jumlah Penduduk di Kecamatan Teluk Segara Tahun 2016	14
Tabel 5.2. Gedung-Gedung yang Dipertimbangkan Sebagai ESB	16
Tabel 5.3. Gedung-Gedung yang Dijadikan Sebagai ESB Beserta Estimasi Luasnya	16
Tabel 5.4. Kapasitas Gedung ESB	17
Tabel 5.5. Estimasi Jumlah Penduduk di Kecamatan Teluk Segara Tahun 2020	17
Tabel 5.6. Estimasi Jumlah Penduduk Tiap <i>Cluster</i> Tahun 2020	18
Tabel 5.7. Jarak Antar <i>Cluster</i> , <i>Cluster</i> dan Titik Berkumpul dan <i>Cluster</i> dan ESB	23
Tabel 5.8. Jalur dengan Jarak Terpendek dari Tiap-Tiap <i>Cluster</i> Menuju Titik Berkumpul/ESB	27
Tabel 5.9. Waktu yang Dibutuhkan untuk Memindahkan Seluruh Penduduk dari Tiap-Tiap <i>Cluster</i> Menuju Titik berkumpul/ESB Terdekat	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peta Jalan Penelitian	8
Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian	11
Gambar 5.1. <i>Graph</i> Jaringan Jalan di Wilayah Penelitian yang Terdiri dari 48 <i>Cluster</i> dan 3 Titik Berkumpul	15
Gambar 5.2. <i>Graph</i> Jaringan Jalan di Wilayah Penelitian yang Dilengkapi dengan Beberapa Calon ESB	19
Gambar 5.3. Jalur Evakuasi Vertikal dan Horizontal di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu	29

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Jaringan Jalan Kecamatan Teluk Segara
- Lampiran 2. Daftar Panjang dan Lebar Jalan di Wilayah Penelitian
- Lampiran 3. *Running* Program Penentuan Jalur Terpendek
- Lampiran 4. Bukti *Accepted Paper*
- Lampiran 5. Sertifikat Seminar
- Lampiran 6. Bukti *Paper*
- Lampiran 7. *Outline* Bahan Ajar

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tsunami didefinisikan sebagai serangkaian gelombang laut yang dihasilkan oleh gangguan besar di dasar laut secara tiba-tiba seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, tanah longsor dan dampak meteor. Dari kejadian tsunami yang pernah terjadi di Indonesia, gempa bumi merupakan penyebab utama (Puspito dan Triyoso, 1994). Beberapa kejadian tsunami yang terjadi di Indonesia akhir-akhir ini adalah tsunami yang menghantam Kota Palu dan Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah tanggal 28 September 2018 dan tsunami di Selat Sunda tanggal 22 Desember 2018 yang menghantam daerah pesisir Banten dan Lampung, Indonesia. Ribuan korban meninggal akibat kejadian tsunami ini.

Provinsi Bengkulu terletak di pesisir Barat Pulau Sumatera dengan ibukota Bengkulu. Provinsi Bengkulu terletak di antara pertemuan dua lempeng dunia yang sangat aktif di sepanjang pantai Barat Sumatera yang menyebabkan Provinsi Bengkulu tergolong sebagai provinsi yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami. Menurut BPBD Provinsi Bengkulu (2013), Provinsi Bengkulu telah mengalami beberapa kali gempa bumi berpotensi tsunami, di antaranya gempa bumi tahun 1811 dan tahun 1833 dengan kekuatan 8,8 skala Richter. Dalam kurun waktu tahun 2000-2010, Bengkulu telah mengalami dua kejadian gempa bumi dengan *magnitudo* besar yaitu pada tanggal 4 Juni 2000 dengan kekuatan 7,3 Mw yang berpusat di Samudera Hindia, posisi sekitar 100 km Barat Daya Kota Bengkulu dan tanggal 12 September 2007 dengan *magnitudo* 7,9 Mw, pusat gempa 160 km lepas pantai arah Barat Daya dari Kota Bengkulu (BNPB, 2016). Dari data ini dapat disimpulkan bahwa Bengkulu sangat rentan terhadap bahaya tsunami sehingga menjadi suatu alasan bahwa kesiapan mitigasi terhadap bahaya tsunami memang sangat diperlukan.

Dalam evakuasi terhadap bahaya tsunami, terdapat dua metode yang dapat dilakukan yaitu: (a) evakuasi horizontal, yaitu memindahkan penduduk ke tempat aman berdasarkan jaraknya atau daerah yang lebih tinggi seperti bukit, (b) evakuasi vertikal yaitu mengevakuasi penduduk ke gedung yang lebih tinggi terdekat yang aman dari tsunami (Dewi, 2012). Gedung tempat evakuasi vertikal tersebut dikenal dengan nama *Evacuation Shelter Building* (ESB). Terkait dengan persoalan evakuasi vertikal, beberapa penelitian telah dilakukan, diantaranya: Yunarto, dkk (2015) yang membuat

suatu perencanaan evakuasi vertikal di Pulau Sarangan Provinsi Bali sebagai alternatif pengurangan resiko bahaya tsunami, dan Dewi (2012) yang membangun suatu metode untuk memilih rute evakuasi yang paling efektif serta penentuan lokasi dan kapasitas pembangunan *shelter* berbantuan perangkat GIS pada daerah rawan tsunami.

Penelitian tentang perencanaan evakuasi di Kota Bengkulu telah dilakukan oleh Mayasari, dkk (2018) yang dalam penelitiannya menghasilkan model jalur evakuasi horizontal di sebagian wilayah pesisir Kota Bengkulu menggunakan aplikasi teori *graph* dan pendekatan riset operasi dengan Algoritma *Floyd Warshall*. Berdasarkan hasil penelitian ini terdapat beberapa lokasi yang membutuhkan waktu evakuasi yang cukup lama untuk mencapai titik-titik berkumpul yang telah ditetapkan. Menurut Mayasari dkk (2019), di wilayah pesisir Bengkulu khususnya Kecamatan Teluk Segara terdapat 5 *cluster* dari 48 *cluster* yang membutuhkan waktu lebih dari 15 menit menuju titik berkumpul dimana waktu 15 menit adalah waktu yang tersedia setelah peringatan dini tsunami yang ditetapkan pemerintah untuk sampai di tempat aman.

Provinsi Bengkulu berpotensi tsunami dengan ketinggian maksimum 8m dengan waktu kedatangan 20 menit (BNPB, 2011). Menurut Budiarjo (2006) dan Dewi (2010), respon yang dibutuhkan masyarakat untuk melakukan evakuasi adalah 7 menit setelah gempa terjadi. Artinya hanya tersisa waktu 13 menit untuk melakukan evakuasi sampai di tempat aman. Menurut Mayasari, dkk (2018), dari 48 cluster yang ada terdapat 9 cluster yang membutuhkan waktu lebih dari 13 menit untuk menuju tempat aman. Sebagian *cluster* ini terletak di Kelurahan Sumur Meleleh dan Kampung Kelawi, yang mana kelurahan Sumur Meleleh termasuk dalam zona katagori berisiko tinggi terhadap bahaya tsunami, padat penduduk dan berbatasan langsung dengan Samudera Hindia (Tiratmadja, 2014).

Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari penelitian Mayasari dkk (2018). Pada penelitian ini akan dibuat suatu perencanaan evakuasi tsunami beserta penentuan kapasitas ESB untuk menampung masyarakat sekitar dalam menghadapi bahaya tsunami di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu, tujuannya untuk meminimalisir risiko masyarakat terhadap bahaya tsunami. Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis gedung-gedung yang potensial untuk dijadikan ESB beserta kapasitasnya
2. Menentukan model jalur evakuasi yang dilengkapi dengan informasi jarak dan waktu tempuh minimum.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Graph*

Salah satu bagian dalam matematika yang memiliki banyak terapan adalah teori *graph*. *Graph* digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antar objek tersebut. Suatu *graph* $G(V, E)$ adalah pasangan (V, E) dengan V adalah himpunan tidak kosong, anggotanya disebut *vertex*/titik dan E adalah himpunan yang anggotanya adalah pasangan-pasangan tak berurut dari *vertex*, disebut *edge*/busur. Secara matematis, jika $G(V, E)$ adalah *graph* maka G terdiri dari himpunan *vertex* di G , dinyatakan dengan $V(G) = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ dan himpunan *edge* di G , dinyatakan dengan $E(G) = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_m\}$. Banyaknya elemen $V(G)$ dinyatakan dengan $|V(G)| = n$ dan banyaknya elemen $E(G)$ dinyatakan dengan $|E(G)| = m$. Suatu *graph* yang semua *edgenya* memiliki arah disebut *graph* berarah. Pada *graph* berarah $(v_i, v_j) \neq (v_j, v_i)$. Suatu *graph* yang semua *edgenya* memiliki bobot/harga disebut *graph* berbobot. Bobot tiap *edge* dapat berbeda-beda bergantung dari masalah yang dimodelkan dalam *graph* (Munir, 2005).

2.2. Algoritma *Flyod Warshall*

Algoritma *Flyod Warshall* merupakan suatu algoritma untuk mencari lintasan terpendek. Algoritma ini cukup populer karena tingkat akurasinya selalu menunjukkan nilai 100%, namun algoritma ini cukup rumit karena banyaknya iterasi yang harus dilakukan bergantung pada banyaknya titik yang ada pada lintasan, sehingga penggunaan algoritma ini untuk jumlah titik yang besar harus disertai dengan bantuan pemrograman komputer (Fanani dkk, 2012). Algoritma ini menghitung bobot terkecil dari semua jalur yang menghubungkan suatu pasangan titik dan melakukannya sekaligus untuk semua pasangan titik demi titik hingga mencapai titik tujuan dengan jumlah bobot yang paling minimum (Siang, 2002).

2.3. Metode Evakuasi Tsunami

Prinsip utama evakuasi adalah memastikan bahwa orang bergerak dari tempat yang relatif berbahaya ke tempat yang lebih aman melalui rute yang aman, bebas dari bahaya (Dewi, 2010). Intinya, strategi utama dalam evakuasi adalah menyelamatkan. Dewi (2012) menyatakan bahwa terdapat dua metode dalam mengevakuasi dari zona tsunami berbahaya ke tempat aman, yaitu:

1. Evakuasi horizontal, yaitu memindahkan orang dari tempat berbahaya ke tempat aman dengan jarak lokasi yang jauh atau tempat yang lebih tinggi seperti bukit.
2. Evakuasi vertikal, yaitu mengevakuasi orang ke gedung yang tahan tsunami pada lantai yang lebih tinggi.

2.3.1. Evakuasi Horizontal

Evakuasi horizontal dilakukan jika waktu yang tersedia antara peringatan dini tsunami sampai tsunami tiba cukup memungkinkan bagi masyarakat untuk mengungsi ke tempat yang lebih tinggi. Selain itu, topografi wilayah dimana banyak terdapat bukit juga memungkinkan untuk dilakukan evakuasi horizontal.

2.3.2. Evakuasi Vertikal

Di wilayah pesisir, dimana gedung dan kepadatan populasi tinggi, jalan, jembatan, dan metode evakuasi horizontal lainnya terbatas serta waktu evakuasi yang tersedia tidak cukup maka evakuasi vertikal diperlukan sebagai alternatif bagi evakuasi horizontal (Eisner and NTHMP, 2001 dalam Dewi, 2010). Dalam evakuasi vertikal terhadap bahaya tsunami, orang-orang diarahkan ke gedung tempat evakuasi terdekat di sekitar mereka dengan berjalan atau berlari melalui jaringan jalan, jalur pejalan kaki, atau jalur yang dapat dilewati dalam waktu evakuasi yang terbatas. Salah satu alternatif yang dapat dijadikan sebagai lokasi evakuasi vertikal adalah *Evacuation Shelter Building* (ESB).

ESB diartikan sebagai bangunan yang digunakan sebagai tempat tujuan untuk evakuasi vertikal terhadap tsunami. Dalam perencanaan dan penentuan ESB, yang paling utama harus diperhatikan adalah bangunan harus tahan gempa dan memiliki lantai yang lebih tinggi dari tingkat genangan tsunami. ESB harus terletak dalam jarak yang dapat dijangkau oleh masyarakat dan terletak di sepanjang jalan yang dapat dilewati masyarakat. Menurut Dewi (2010), untuk dapat berfungsi sebagai tempat perlindungan evakuasi, sebuah bangunan harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

1. Struktur bangunan, ESB harus tahan gempa dan tsunami karena bangunan ini diharapkan dapat bertahan sampai setelah tsunami.
2. Ketinggian lantai, harus lebih tinggi dari ketinggian gelombang, biasanya gedung bertingkat.
3. Fungsi desain, karena periode terjadinya tsunami cukup panjang maka tidak ada gedung yang fungsinya hanya sebagai ESB. Tujuannya juga untuk memanfaatkan ruang dan biaya.

4. Desain dan kapasitas, ESB harus memiliki ruang yang cukup untuk menampung banyak orang.
5. Akses horizontal, ESB harus ditempatkan di tempat sedemikian sehingga semua pengunjung dapat mencapainya dalam waktu yang tersedia.
6. Akses vertikal, ESB harus memiliki tangga atau tanjakan yang memadai yang dirancang untuk memenuhi persyaratan keamanan gedung.

2.4. Kapasitas Gedung

Kapasitas gedung ESB dapat dihitung berdasarkan perhitungan dan tabel berikut (Budiarjo, 2006):

$$ESBC = (CS \times BA \times NrF) / SpP \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

ESBC : *Evacuation Shelter Building Capacity*/kapasitas gedung evakuasi tsunami
(orang)

CS : *Capacity Skor*/Kapasitas skor (%)

BA : *Building Area*/Luas gedung (m^2)

NrF : *Number of Floor*/Jumlah lantai

SpP : *Spaces needed for one person*/ruang yang diperlukan untuk satu orang
(m^2)

Tabel 2.1. Kapasitas Skor Gedung

Jenis Bangunan	CS (Kapasitas Skor)
Mesjid	78%
Sekolah	30%
Kantor	23,6%
Pasar/ <i>mall</i>	23%
Hotel	26,3%
Aula/ <i>Hall</i>	100%

Sumber: Budiarjo, 2006

2.5. Sistem Peringatan Dini Tsunami (*Tsunami Early Warning System-TEWS*)

Sistem peringatan Dini tsunami (*TEWS*) adalah suatu sistem untuk mendeteksi tsunami dan mengumumkan peringatan untuk mencegah hilangnya nyawa dan harta benda (Dewi, 2010). *TEWS* telah dikembangkan oleh pemerintah Indonesia dengan bantuan negara donor (Sudarsana dkk, 2013). *TEWS* di Indonesia dikenal dengan *InaTEWS* yang dikontrol langsung oleh Badan Metereologi, Klimatologi dan Geofisika

(BMKG) di Jakarta. Menggunakan *InaTEWS* ini, BMKG dapat mengirimkan peringatan tsunami jika terjadi gempa yang berpotensi tsunami. Sistem peringatan tsunami ini hanya memberikan waktu singkat untuk para penduduk mencari dan mencapai tempat evakuasi.

2.6. Waktu Evakuasi

Waktu evakuasi didefinisikan sebagai waktu tersisa yang dibutuhkan pengungsi untuk melakukan evakuasi sejak BMKG mengumumkan peringatan dini akan adanya tsunami secara resmi hingga gelombang tsunami tiba di garis pantai (Yunarto dkk, 2015). Waktu yang tersedia setelah peringatan ini berbunyi sekitar 15 menit. Dengan waktu yang singkat ini dibutuhkan proses evakuasi terbaik untuk menyelamatkan penduduk yang tinggal di daerah rawan. Mekanisme penghitungan waktu pada proses evakuasi dilakukan mengikuti Persamaan (2.2) yang dikembangkan berdasarkan kondisi riil di lapangan, dimana kecepatan bergerak penduduk (v) berdasarkan Persamaan (2.3) dan jumlah penduduk bersifat dinamis.

$$T = \frac{\left(\frac{N}{l}-1\right)d+L}{v} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- T : Total waktu evakuasi (menit)
- N : Jumlah penduduk
- d : Jarak antar orang dalam lajur
- v : Kecepatan bergerak penduduk
- l : Banyak lajur
- L : Jarak antara cluster ke tempat berkumpul/ESB terdekat

Sumber: Kusdiantara (2011) dalam Sudarsana dkk (2013)

Kecepatan berjalan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: lebar jalan, kepadatan jalan, jumlah pejalan kaki dalam kelompok dan lain-lain (Dewi, 2010). Penentuan kecepatan berjalan pengungsi dihitung menggunakan tabel berikut.

Tabel 2.2. Kecepatan Berjalan Pengungsi

Kondisi berjalan	Kecepatan berjalan rata-rata (m/det)
Seseorang dengan kereta bayi	1,070
Seseorang dengan seorang anak	1,020
Orang tua berjalan sendiri	0,948
Orangtua berjalan berkelompok	0,751

Sumber: Institute of Fire Safety & Disaster Preparedness (1987) after Sugimoto *et al*, (2003) dalam Dewi (2010).

Untuk menghitung kecepatan pengungsi berjalan pada sebuah jalan dapat digunakan rumus berikut:

$C_0 = W/S$ (dibulatkan ke bawah)

$C_1 = W/S$ (dibulatkan ke atas)

$$V = (C_0/C_1) \times V_s \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

C_0 = Kapasitas dasar jalan (dibulatkan ke atas)

C_1 = Kapasitas aktual jalan saat bencana (dibulatkan ke atas)

V = Kecepatan berjalan (*m/det*)

V_s = Kecepatan berjalan orang tua secara berkelompok (*0,751 m/det*)

W = Lebar jalan (*m*)

S = Luas yang dibutuhkan tiap pengungsi (*0,625 m²*)

Pada penelitian ini kecepatan berjalan pengungsi akan diambil kecepatan terendah yaitu *0,751 m/det* dengan alasan bahwa jika pengungsi dengan kecepatan terendah dapat dievakuasi maka pengungsi yang lain dapat dievakuasi pula.

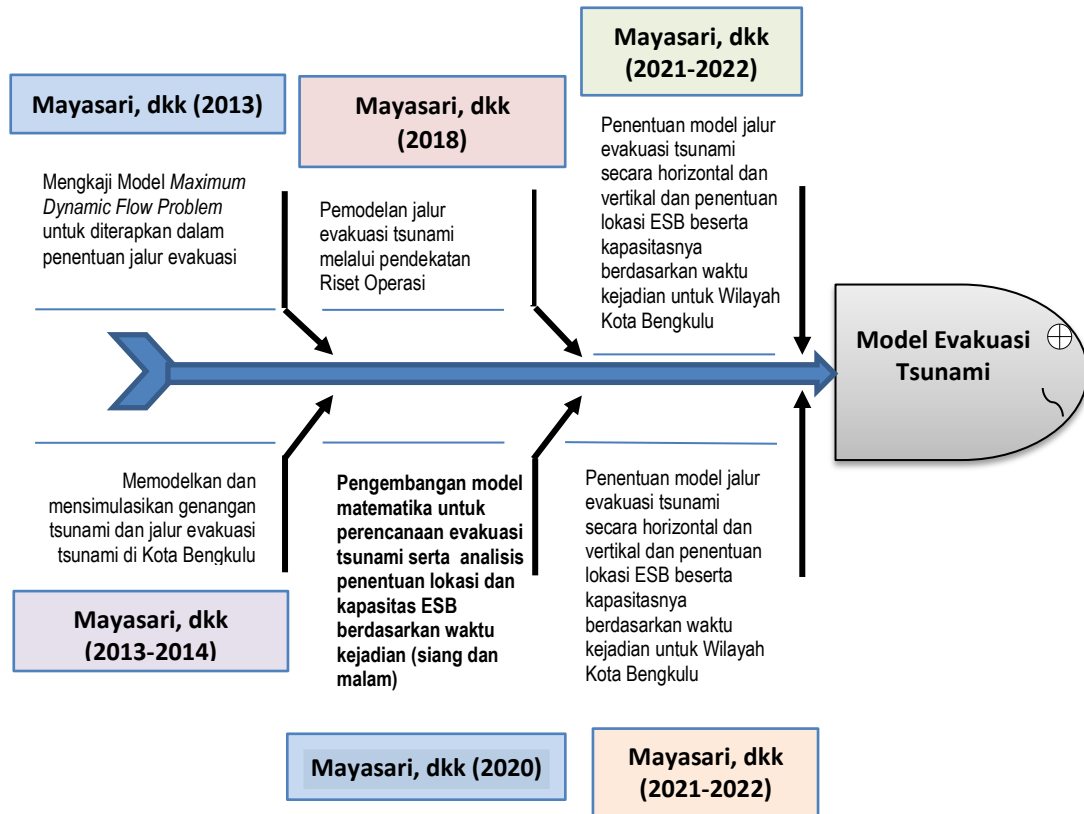
2.7. Peta Jalan Penelitian

Propinsi Bengkulu merupakan wilayah yang sangat rawan terhadap bencana tsunami. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan kajian-kajian yang mendalam tentang upaya mitigasi khususnya pada penentuan jalur evakuasi optimal yang dilengkapi dengan data jarak, waktu tempuh minimum, dan informasi mengenai titik berkumpul maupun ESB beserta kapasitasnya. Penelitian yang dilakukan ini terfokus pada penelitian terapan matematika dalam bidang mitigasi bencana. Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya:

1. Kajian tentang model genangan tsunami melalui pemodelan run up tsunami melalui mekanisme penelitian Hibah Bersaing (2013-2014). Dalam penelitian ini dikembangkan model genangan menggunakan parameter kekasaran permukaan, lereng dan skenario *run up* tsunami (studi kasus tingkat kelurahan dan Kota Bengkulu). Output penelitian ini adalah peta genangan bencana tsunami.
2. Kajian tentang pemodelan jalur evakuasi bencana tsunami melalui mekanisme penelitian BOPTN Fmipa Unib (2013). Dalam penelitian ini digunakan model matematika *Maximum Dynamic Flow Problem* (MDFP) dalam menentukan jalur optimum. Output penelitian menghasilkan teori secara matematis tentang pemodelan jalur evakuasi bencana.
3. Kajian tentang pemodelan jalur evakuasi bencana tsunami dengan pendekatan Riset Operasi melalui mekanisme penelitian Unggulan Unib (2018). Dalam penelitian ini

dihasilkan suatu perangkat lunak sistem evakuasi tsunami serta model jalur evakuasi horizontal di sebagian wilayah pesisir Kota Bengkulu.

Secara ringkas, peta jalan penelitian digambarkan dalam diagram berikut:



Gambar 2.1. Peta Jalan Penelitian

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah mendapatkan model jalur evakuasi yang optimal untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami. Beberapa tujuan khusus yang hendak dicapai adalah:

1. Menentukan gedung-gedung yang potensial untuk dijadikan ESB beserta kapasitasnya.
2. Menghasilkan model jalur evakuasi optimal yang dilengkapi dengan informasi jarak dan waktu tempuh minimum.

Output akhir yang diharapkan dari penelitian ini adalah dihasilkannya model jalur evakuasi yang optimal untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami di Kota Bengkulu. Luaran yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah dihasilkannya artikel yang akan diterbitkan dalam Prosiding Internasional Terindeks Scopus, dihasilkannya HaKI, dan bahan ajar.

Target lain yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah: a). Mampu berkontribusi pada pembangunan Kota Bengkulu melalui penetapan jalur evakuasi tsunami menuju lokasi gedung evakuasi (ESB) beserta kapasitasnya sebagai arahan kebijakan bagi pengambil keputusan dalam mengantisipasi dan meminimalisir risiko bahaya tsunami di Kota Bengkulu, b). Terlibatnya mahasiswa S1 Prodi Matematika (sedikitnya 1 orang) dalam penelitian. Dengan terlibatnya mahasiswa, diharapkan mahasiswa tersebut dapat menyelesaikan skripsi lebih cepat dan tanpa dana.

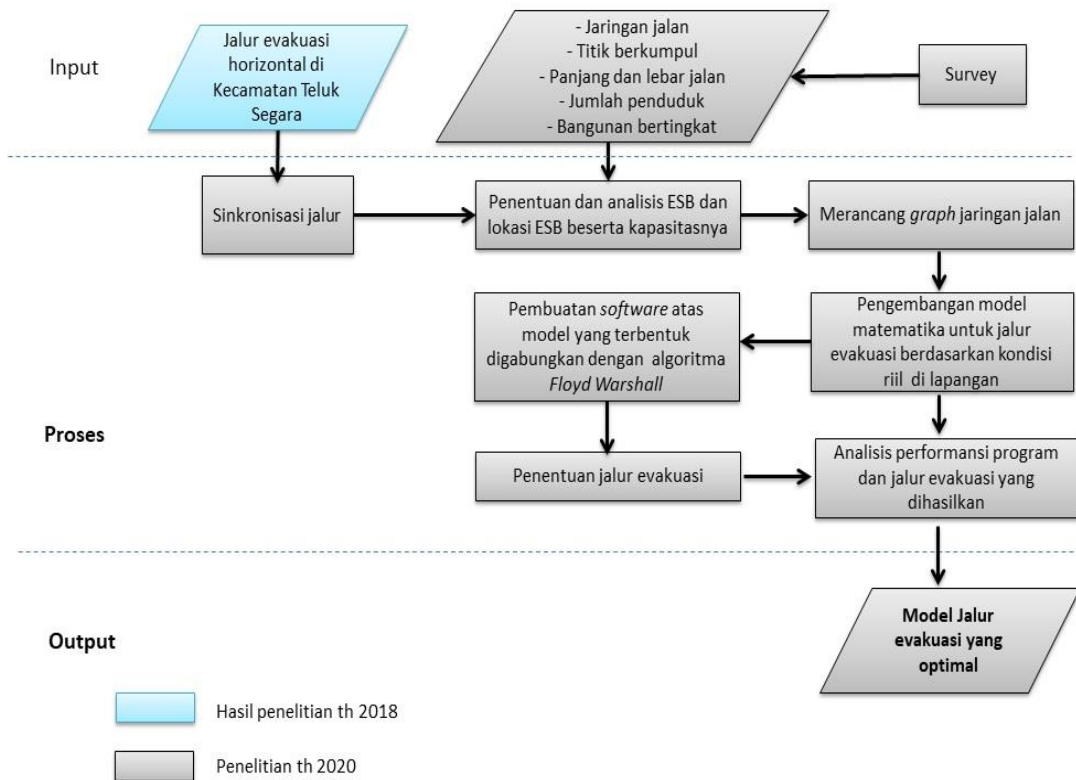
3.2. Manfaat Penelitian

Provinsi Bengkulu tergolong sebagai provinsi yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi dan tsunami. Berdasarkan pengalaman kejadian-kejadian tsunami yang pernah terjadi, sistem evakuasi memegang peranan yang sangat penting dalam upaya meminimalisir korban jiwa terhadap bahaya tsunami. Sistem evakuasi yang baik sangat tergantung pada waktu yang diperlukan untuk melakukan evakuasi. Berdasarkan hasil kajian dan analisis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu model perencanaan evakuasi terhadap bahaya tsunami berdasarkan waktu kejadian (siang dan malam) yang dilengkapi dengan informasi jalur, dan waktu tempuh minimum menuju ESB serta kapasitas gedung

tempat evakuasi (ESB). Diharapkan dengan penelitian ini dapat dikembangkan budaya siaga bencana yang berorientasi kepada pengurangan resiko bencana serta melalui *output* model yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai arahan kebijakan bagi pengambil keputusan dalam mengantisipasi dan meminimalisir risiko bencana tsunami di Kota Bengkulu.

BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model jalur evakuasi yang optimal dari masing-masing *cluster* menuju tempat evakuasi baik evakuasi horizontal maupun vertikal yang dilengkapi dengan informasi mengenai jarak dan waktu tempuh minimum serta kapasitas ESB. Tujuan ini akan dicapai melalui tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian

Tahapan kegiatan yang digambarkan pada Gambar 4.1 akan dijelaskan secara detail sebagai berikut:

Tahap 1. Observasi dan mengumpulkan data penelitian

Pada tahap ini akan dilakukan kegiatan pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder. Data primer didapat dari survey langsung ke lokasi penelitian untuk mendapatkan data tentang wilayah pemukiman, sedangkan pengumpulan data sekunder dilakukan melalui penelusuran berbagai pustaka yang ada. Data yang akan dikumpulkan berupa: (a) jaringan jalan yang didapat dari peta jaringan jalan Kota

Bengkulu, (b) titik berkumpul, (c) lebar jalan dan panjang jalan, (d) jumlah penduduk di wilayah penelitian dan (e) gedung-gedung bertingkat di wilayah penelitian.

Tahap 2. Penentuan dan Analisis ESB dan lokasi ESB beserta kapasitasnya.

Penentuan dan analisis ESB dan lokasi ESB beserta kapasitasnya dilakukan berdasarkan data gedung-gedung bertingkat di wilayah penelitian dengan berpedoman pada dokumen BPBD Kota Bengkulu.

Tahap 3. Merancang model *graph* jaringan jalan dalam wilayah penelitian.

Analisis dan kajian jaringan jalan dan titik berkumpul akan dimodelkan dengan menggunakan Teori *Graph*. *Graph* jaringan jalan dibuat berdasarkan *cluster* yang telah dibuat oleh peneliti pada penelitian terdahulu, titik berkumpul dan gedung-gedung yang dapat dijadikan ESB yang telah ditentukan sebagai *vertex* dan infrastruktur jaringan jalan sebagai *edge*. Antar *vertex* yang *adjacent* diberi bobot berupa jarak. Jarak antar *vertex* didapatkan dari data sekunder yang diambil dari Dinas PU Kota Bengkulu, *google maps* dan survey langsung ke lokasi penelitian. Penghitungan jalur terpendek menggunakan Algoritma *Floyd Warshall* menggunakan bantuan bahasa pemrograman matlab.

Tahap 4. Pengembangan model matematika untuk jalur evakuasi berdasarkan kondisi riil di lapangan.

Pengembangan model matematika dilakukan dalam perhitungan waktu tempuh menggunakan Persamaan (2.2) yang dikembangkan berdasarkan kondisi riil di lapangan dan jalur terpendek yang diperoleh pada tahap sebelumnya dengan mempertimbangkan jumlah penduduk yang dinamis.

Tahap 5. Penentuan jalur evakuasi tsunami

Berdasarkan tahap 3 dan tahap 4, dibuat suatu model jalur evakuasi yang dilengkapi dengan informasi, jarak, waktu tempuh dan kapasitas ESB.

Tahap 6. Analisis performansi program dan jalur evakuasi yang dihasilkan

Jalur evakuasi yang dihasilkan pada tahap 5 diuji dan dianalisis performansinya yang bertujuan untuk memverifikasi dan memvalidasi model yang telah dihasilkan dan dikembangkan. Pada tahap ini kerja program diuji menggunakan data yang ada dan divalidasi berdasarkan kondisi riil di lapangan.

Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian adalah dihasilkannya model jalur evakuasi yang optimal di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu, artikel yang akan diterbitkan dalam prosiding internasional terindeks scopus, HaKI, bahan ajar yang dapat menambah wawasan mahasiswa dalam perkuliahan serta skripsi mahasiswa Program Studi S1 Matematika atas nama Edi Alamsyah (NPM.F1A017023).

BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. Kondisi Umum Kecamatan Teluk Segara

Kecamatan Teluk Segara merupakan salah satu kecamatan di Kota Bengkulu yang cukup rawan terkena dampak bahaya tsunami. Berdasarkan letak geografisnya, Kecamatan Teluk Segara berbatasan dengan: Kecamatan Muara Bangkahulu di sebelah Utara, Kecamatan Ratu Agung di sebelah Selatan, Kecamatan Sungai Serut di sebelah Timur, dan Samudera Hindia di sebelah Barat.

Dari segi topografinya, Kecamatan Teluk Segara adalah dataran dengan ketinggian 2 – 14 meter di atas permukaan laut. Secara administratif, Kecamatan Teluk Segara mempunyai luas wilayah sekitar 2558 m^2 atau sekitar 1,74% dari keseluruhan luas Kota Bengkulu. Kecamatan Teluk Segara memiliki 13 kelurahan yaitu : Kebun Keling, Malabero, Sumur Meleleh, Berkas, Pasar Baru, Pasar Melintang, Pasar Jitra, Pondok Besi, Kebun Ros, Pintu Batu, Tengah Padang, Bajak dan Kampung Bali. Dari 13 kelurahan tersebut, 5 di antaranya terletak di tepi pantai yaitu Kelurahan Malabero, Sumur Melele, Pondok Besi, Bajak dan Kampung Bali. Luas wilayah dan jumlah penduduk masing-masing kelurahan di Kecamatan Teluk Segara dapat dilihat pada tabel berikut.

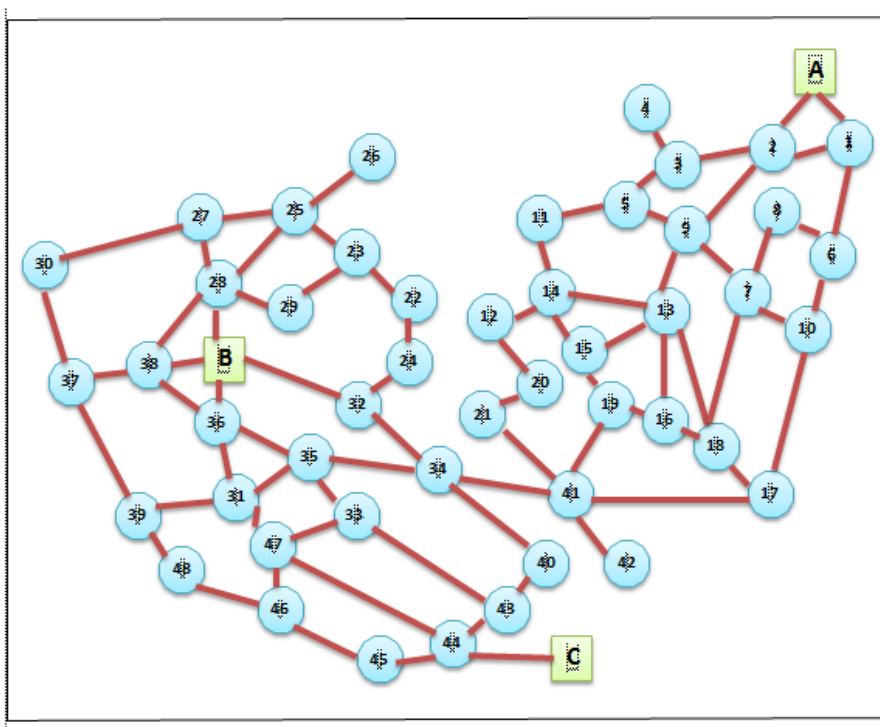
Tabel 5.1. Luas Tiap Kelurahan dan Jumlah Penduduk di Kecamatan Teluk Segara Tahun 2016

No	Kelurahan	Luas (km^2)	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1.	Kebun Keling	198,78	1763
2.	Malabero	157,57	2524
3.	Sumur Melele	347,38	3672
4.	Pasar Berkas	192,36	1956
5.	Pasar Baru	97,20	2059
6.	Jitra	172,92	2524
7.	Pasar Melintang	198,75	2511
8.	Pondok Besi	147,34	991
9.	Kebun Ros	128,67	1147
10.	Pintu Batu	159,36	1500
11.	Tengah Padang	448,41	1650
12.	Bajak	120,22	1097
13.	Kampung Bali	189,03	1582

Sumber : Kecamatan Teluk Segara dalam Angka (Teluk Segara *Subdistrict in Figure*) 2017

5.2. Penentuan Titik Berkumpul dan ESB

Dalam penelitian ini, titik berkumpul untuk evakuasi horizontal diambil 3 tempat yang terdekat dengan lokasi penelitian yang juga merupakan titik berkumpul yang telah ditetapkan pemerintah. yaitu : Kampung Kelawi, Lapangan Merdeka dan Masjid At-Taqwa. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu (Mayasari dkk, 2018), dari 48 *cluster* yang dibuat, terdapat 9 *cluster* yang membutuhkan waktu lebih dari 13 menit untuk menuju tempat aman. *Cluster-cluster* tersebut adalah *cluster* 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 dan 42. *Graph* jaringan jalan yang terdiri dari 48 *cluster* dan 3 titik berkumpul dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.1. *Graph* Jaringan Jalan di Wilayah Penelitian yang Terdiri dari 48 *Cluster* dan 3 Titik Berkumpul

Keterangan Gambar 5.1 dapat dilihat pada keterangan pada Gambar 5.2. Untuk mengakomodir 9 *cluster* yang memerlukan waktu lebih dari 13 menit untuk mencapai titik berkumpul, diperlukan tambahan lokasi evakuasi bagi 9 *cluster* tersebut. Lokasi evakuasi ini juga dapat digunakan sebagai alternatif bagi *cluster-cluster* lain dalam proses evakuasi. Dalam penelitian ini dibentuk suatu metode evakuasi yang direncanakan bagi 9 *cluster* ini dan alternatif bagi 39 *cluster* lain yaitu evakuasi vertikal, yaitu evakuasi yang dilakukan ke gedung-gedung yang mempunyai ketinggian tertentu dan memenuhi syarat-syarat lain sebagai gedung penampungan untuk evakuasi (ESB).

Berdasarkan survey di lokasi penelitian dan analisis kelayakan suatu gedung sebagai EBS (Dewi, 2010), terdapat beberapa gedung bertingkat yang dapat dipertimbangkan sebagai ESB. Gedung-gedung tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.2. Gedung-Gedung yang Dipertimbangkan Sebagai ESB

No	Nama Gedung	ESB	Jumlah Lantai	Lokasi
1	Gedung depan taman Pantai Berkas	S1	4	Jl. Samudera
2	Gedung samping kantor lurah Berkas	S2	3	Jl. Pari No. 10
3	Gedung depan Djuada Cake	S3	3	Jl. Pari
4	Masjid Miftahul Jannah (Samping penjara)	S4	2	Jl. Arraw
5	Pasar Barokoto 2	S5	2	Jl. A. Yani
6	Masjid Muttaqien (sebelah Pasar Barokoto 1)	S6	2	Jl. Pendakian
7	Pasar Barokoto 1	S7	2	Jl. A. Yani
8	Mess Pemda	S8	3	Jl. Pariwisata
9	SDN 4	S9	2	Jl. Siti Khodijah
10	SMPN 3	S10	2	Jl. Iskandar
11	SMPN 1	S11	3	Jl. Jend.Sudirman

Berdasarkan pertimbangan lokasi, gedung-gedung hasil survey pada Tabel 5.2, dianalisis kembali untuk menentukan gedung-gedung yang akan dianggap sebagai ESB. Berdasarkan pertimbangan utama terhadap 9 *cluster* yang memerlukan tempat evakuasi, tentu pertimbangan jarak merupakan hal yang paling utama. Selain itu, lokasi gedung yang terlalu dekat dengan pantai juga bukan merupakan pilihan terbaik untuk suatu gedung dapat dijadikan sebagai ESB. Selain itu, akan dipertimbangkan pula jika dua gedung atau lebih yang berdekatan, akan diambil salah satu gedung yang akan dijadikan sebagai ESB. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan ini ditetapkan beberapa gedung yang akan dianggap sebagai ESB dan ditentukan pula kapasitas gedung tersebut.

Tabel 5.3. Gedung-Gedung yang Dijadikan Sebagai ESB Beserta Estimasi Luasnya

No	Nama Gedung	ESB	Jumlah Lantai	Estimasi luas lantai (> lantai 1) (m^2)	Lokasi
1	Gedung samping kantor lurah Berkas	S1	3	360	Jl. Pari No. 10
2	Masjid Muttaqien (sebelah Pasar Barokoto 1)	S2	2	600	Jl. Pendakian
3	SMPN 3	S3	2	950	Jl. Iskandar
4	SMPN 1	S4	3	1210	Jl. Jend.Sudirman

Penentuan kapasitas tiap-tiap gedung pada Tabel 5.3 menggunakan Persamaan (2.1) dengan kapasitas skor gedung seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1. Kapasitas tiap-tiap gedung yang dijadikan ESB ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.4. Kapasitas Gedung

No	Nama Gedung	Kapasitas
1	Gedung samping kantor lurah Berkas	1152
2	Masjid Muttaqien (sebelah Pasar Barokoto 1)	749
3	SMPN 3	456
4	SMPN 1	1162

5.3. Penghitungan Jumlah Penduduk Tiap Cluster

Berdasarkan data jumlah penduduk di tiap-tiap kelurahan yang terletak di Kecamatan Teluk Segara (Tabel 5.1), dapat dihitung perkiraan jumlah penduduk tahun 2020 dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

$$\% = \left\{ \frac{(L-M)}{Po} \right\} \times 100\% \quad (5.1)$$

$$L - M = \frac{\%Po}{100} \quad (5.2)$$

$$Pt = Po + (L - M) \quad (5.3)$$

Keterangan:

Pt: Jumlah penduduk di akhir tahun perhitungan

Po: Jumlah penduduk di awal tahun perhitungan

L : Jumlah kelahiran

M : Jumlah kematian

% : Persentase pertumbuhan penduduk

Dalam penelitian ini persentase pertumbuhan penduduk diasumsikan 1,63% per tahun (www.bps.go.id), diperoleh jumlah penduduk tiap-tiap kelurahan di Kecamatan Teluk Segara tahun 2020 diperkirakan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.5. Estimasi Jumlah Penduduk di Kecamatan Teluk Segara Tahun 2020

No	Kelurahan	Jumlah Penduduk Tahun 2020 (Jiwa)
1.	Kebun Keling	2693
2.	Malabero	2679
3.	Sumur Meleleh	1224
4.	Pasar Berkas	1760
5.	Pasar Baru	1600
6.	Jitra	1057
7.	Pasar Melintang	1688
8.	Pondok Besi	2197
9.	Kebun Ros	2087
10.	Pintu Batu	1170
11.	Tengah Padang	3917
12.	Bajak	2693
13.	Kampung Bali	1881

Selanjutnya melalui survey lapangan dihitung jumlah rumah pada tiap-tiap kelurahan, dan dengan mengasumsikan jumlah penduduk dalam satu rumah untuk tiap-tiap kelurahan adalah banyaknya penduduk dibagi dengan jumlah rumah sehingga diperoleh jumlah penduduk dalam satu rumah untuk tiap-tiap kelurahan. Penghitungan jumlah penduduk di tiap-tiap *cluster* dilakukan dengan cara menghitung jumlah rumah di sekitar *cluster* dikalikan dengan rata-rata jumlah penduduk dalam rumah yang telah dihitung sebelumnya. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel berikut.

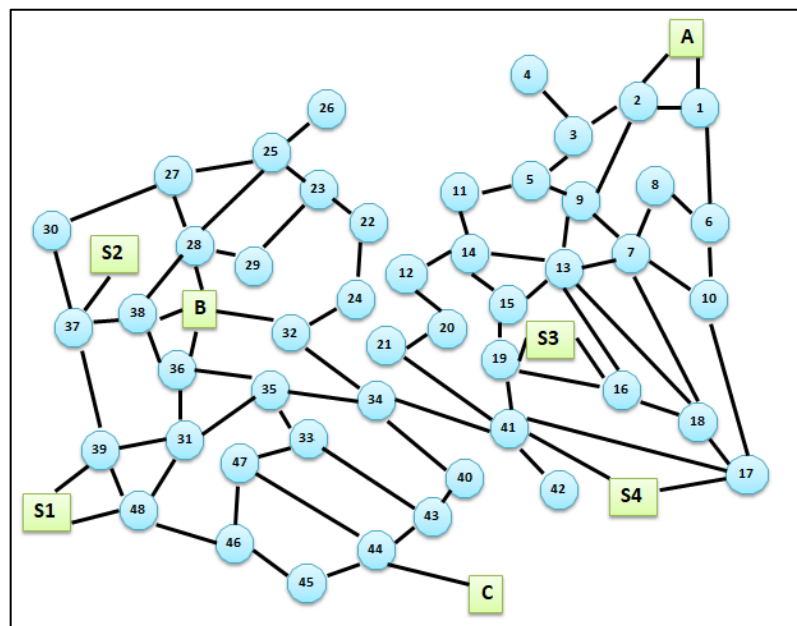
Tabel 5.6. Estimasi Jumlah Penduduk Tiap *Cluster* Tahun 2020

No	Nama Kelurahan	Cluster	Jumlah rumah	Jumlah orang/cluster
1.	Kebun Keling	23	35	175
		25	20	100
		26	17	85
		27	25	125
		28	311	1555
		29	150	750
2.	Malabero	25	20	80
		27	282	1128
		30	450	1800
3.	Sumur Melele	31	5	30
		36	20	120
		37	45	270
		38	88	528
		39	51	306
4.	Pasar Berkas	31	15	75
		39	90	450
		45	63	315
		46	86	430
		47	17	85
		48	86	430
5.	Pasar Baru	39	123	615
		48	177	885
6.	Jitra	32	27	135
		33	20	100
		34	63	315
		35	29	145
7.	Pasar Melintang	34	67	335
		40	236	994
		43	150	600
		44	50	200
8.	Pondok Besi	22	135	945
		23	184	1288
		26	17	119
9.	Kebun Roos	20	58	348
		21	133	798
		22	135	810
		24	27	162
10.	Pintu Batu	41	160	800
		42	69	345
11.	Tengah Padang	11	90	630
		12	28	196
		14	71	497
		15	81	567

		16	67	469
		17	81	567
		18	26	182
		19	81	567
12.	Bajak	3	69	345
		4	11	55
		5	90	450
		7	78	390
		9	130	650
		10	68	340
		13	45	225
13.	Kampung Bali	1	127	635
		2	64	320
		3	17	85
		4	5	25
		6	90	450
		7	22	110
		8	26	130
		10	26	130

5.4. Pembentukan Graph Jaringan Jalan

Berdasarkan *cluster-cluster*, titik berkumpul, dan ESB yang sudah ditetapkan, dibentuk suatu *graph* jaringan jalan. *Graph* jaringan jalan berikut merupakan *graph* jaringan jalan untuk lokasi penelitian.



Gambar 5.2. *Graph* Jaringan Jalan di Wilayah Penelitian yang Dilengkapi dengan Beberapa Calon ESB

Keterangan:

- A : Tempat berkumpul Kampung Kelawi
- B : Tempat berkumpul Lapangan Merdeka
- C : Tempat berkumpul Mesjid At-Taqwa
- S1 : Gedung samping kantor lurah Berkas

- S2 : Masjid Muttaqien (sebelah Pasar Barokoto 1)
S3 : SMPN 3
S4 : SMPN 1
1 : Simpang Jl. Ibnu Hajar, Jl. Bali, Jl. Enggano
2 : Simpang 4 Jl. Ibnu Hajar
3 : Simpang 1 Jl. Ibnu Hajar, Jl. TP. Kasim Nasir
4 : Simpang Jl. Bencolen , Jl. Ibnu Hajar
5 : Simpang Jl TP. Kasim Nasir, Jl. Sentot Alibasyah
6 : Simpang Jl. Bali, Jl. Bali 1
7 : Simpang (1) Jl. Sentot Alibasyah
8 : Ujung dalam Jl. Bali 1
9 : Simpang Jl. Moh. Zahab, Jl. Sentot Alibasyah
10 : Simpang Jl. MT. Haryono, Jl. Sentot Alibasyah
11 : Simpang Jl. Letda Abu Hanifah, Jl. Letkol Iskandar, Jl. Tp Kasim Nasir
12 : Simpang 4 Jl. Iskandar 10
13 : Simpang 4 Jl. H. Moh. Zahab, Jl. Lettu Zulkifli, Gg. Iskandar 11
14 : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Gg. Iskandar 11
15 : Simpang 4 Jl. Mayor Salim Batubara, Jl. Letkol Iskandar
16 : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 6A
17 : Simpang Jl. MT. Haryono, Jl. Letkol Iskandar
18 : Simpang (2) Jl. Letkol Iskandar
19 : Simpang (3) Jl. Letkol Iskandar
20 : Simpang (1) Jl. Mayor Salim Batubara
21 : Simpang Jl. Sudirman, Jl. Mayor Salim Batubara
22 : Simpang (1) Khadijah, Jl. KH. Ahmad Dahlan
23 : Simpang 3 Jl. Letda Abu Hanifah, Jl. Khadijah
24 : Simpang Jl. Khadijah, Jl. Burniat
25 : Simpang (1) Belakang Benteng Marlborough
26 : Ujung pantai Tapak Paderi
27 : Bundaran Benteng Marlborough
28 : Simpang Jl. DI. Panjaitan, Jl. Ahmad Yani
29 : Simpang Jl. Benteng, Jl. Siti Khadijah
30 : Simpang Jl. Arrow, Jl. Bawal
31 : Simpang Jl. Belato, Jl. Rejamat
32 : Simpang Jl. Khadijah, Jl. A. Yani
33 : Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Van Iskandar Bakar
34 : Simpang RS. Bahayangkara, Jl. A. Yani
35 : Simpang Jl. Rejamat, Kuburan Inggris
36 : Simpang Jl. Todak, Jl. Moh. Hasan
37 : Simpang Jl. Kol. Barlian, Jl. Arrow
38 : Ujung Jl. Kol. Barlian
39 : Simpang Jl. Belato, Jl. Arrow
40 : Simpang Jl. Letkol Santosa, Jl. Cendrawasih
41 : Simpang Jl. Jendral Sudirman, Samping Unihaz
42 : Ujung Simpang 4 Jl. Sudirman III
43 : Simpang Jl. Letkol Santoso, Jl. Van Iskandar Bakar
44 : Simpang 3 Jl. Soekarno Hatta, Jl. Letkol Santoso, Jl. Moh. Hasan
45 : Simpang 4 Jl. Kerapu Ujung
46 : Simpang Jl. Pari, Jl. Kerapu
47 : Simpang Jl. Moh. Hasan, Jl. M. Hasan 1
48 : Simpang Jl. Pari
(A,1) : Jl. Enggano
(A,2) : Simpang Jl. Ibnu Hajar (Kantor Polsek Teluk Segara) – Simpang (1) Jl. Enggano
(1,2) : Jl. Enggano
(1,6) : Jl. Bali

- (2,3) : Jl. Ibnu Hajar
- (2,9) : Jl. Pratu Aidit
- (3,4) : Simpang Jl. TP. Kasim Nasir, Jl. Ibnu Hajar - Simpang Jl. Bencoolen
- (3,5) : Jl. TP. Kasim Nasir
- (5,9) : Jl. Sentot Alibasyah
- (5,11) : Jl. TP. Kasim Nasir
- (6,8) : Jl. Bali 1
- (6,10) : Jl. Bali
- (7,10) : Jl. Sentot Alibasyah
- (7,8) : Gg. (1) Jl. Sentot Alibasyah – Ujung Jl. Bali 1
- (7,9) : Jl. Sentot Alibasyah
- (7,18) : Jl. Lettu Zulkifli
- (7,13) : Jl. Moh. Zahab, Jl. Sentot Alibasyah
- (9,13) : Jl. Moh. Zahab
- (10,17) : Jl. MT. Haryono
- (11,14) : Jl. Letkol Iskandar
- (12,14) : Jl. Iskandar 10
- (12,20) : Simpang Jl. Iskandar 10 – Simpang Jl. Mayor Salim Batubara
- (13,14) : Gg. Iskandar 11
- (13,15) : Simpang Jl. Moh. Zahab, Jl. Lettu Zulkifli, Jl. Gg. Iskandar 11 – Simpang Jl. Mayor Salim Batubara
- (13,16) : Simpang Jl. Moh. Zahab, Jl. Lettu Zulkifli, Jl. Gg. Iskandar 11 – Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 6A
- (13,18) : Simpang Jl. Moh. Zahab, Jl. Lettu Zulkifli, Jl. Gg. Iskandar 11 – Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Lettu Zulkifli
- (14,15) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 10 –Simpang Jl. May Salim, Jl. Iskandar 8
- (15,19) : Simpang Jl. May Salim, Jl. Iskandar 8 – Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Bukit Barisan
- (16,18) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 6A - Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Lettu Zulkifli
- (16,19) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 6A - Simpang Jl. Bukit Barisan
- (16,S3) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Iskandar 6A – SMPN 3 (Jl. Letkol Iskandar)
- (17,18) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. MT. Haryono - Simpang Jl. Iskanadar 5
- (17,41) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. MT. Haryono – Jl. Jend. Sudirman
- (17,S4) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. MT. Haryono – SMPN 1 (Jl. MT. Haryono)
- (19,41) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Kapt. Syahrial – Jl. Jend. Sudirman
- (19,S3) : Simpang Jl. Letkol Iskandar, Jl. Kapt. Syahrial – SMPN 3 (Jl. Iskandar)
- (20,21) : Simpang (3) Jl. May Salim Batubara - Simpang Jl. May Salim Batubara, Jl. KH. Ahmad Dahlan
- (21,41) : Simpang Jl. May Salim Batubara, Jl. KH. Ahmad Dahlan – Jl. Jend. Sudirman
- (22,23) : Simpang Jl. Khadijah. Gg. Khadijah – Simpang Jl. Khadihah, Jl. Letda Abu Hanifah
- (22,24) : Simpang Jl. Khadijah. Gg. Khadijah - Simpang Jl. Khadihah, Jl. Burniat
- (23,25) : Simpang Jl. Khadihah, Jl. Letda Abu Hanifah – Simp. Tapak Paderi
- (23,29) : Simpang 3 Jl. Letda Abu Hanifah, Jl. Khadijah - Simpang Jl. Benteng, Jl. Siti Khadijah
- (24,32) : Simpang Jl. Khadijah, Jl. Burniat – Simpang Jl. A. Yani, Jl. Khadijah
- (25,26) : Simpang Tapak Paderi – Ujung Pantai tapak paderi
- (25,27) : Simpang Tapak Paderi – Bundaran Tugu Pers
- (25,28) : Simpang Tapak Paderi – Simpang Jl. Benteng, Jl. A. Yani
- (27,28) : Bundaran Tugu Pers – Simpang Jl. Benteng, Jl. A. Yani
- (27,30) : Bundaran Tugu Pers – Simpang Jl. Arrow, Jl. Panjaitan
- (28,29) : Simpang Jl. Benteng, Jl. A. Yani – Simpang Jl. Benteng, Jl. Siti Khadijah
- (28,B) : Simpang Jl. Benteng, Jl. A. Yani – Lapangan Merdeka

- (28,38) : Simpang Jl. Benteng, Jl. A. Yani – Simpang Jl. Pasar Ikan, Jl. Kol Berlian, Jl. Prof. Dr. Hazairin
- (30,37) : Simpang Jl. Arrow, Jl. Panjaitan – Simpang Jl. Arrow, Jl. Kol Berlian
- (31,35) : Jl. Rejamat
- (31,36) : Simpang Jl. Rejamat, Jl. Moh. Hasan – Simpang Jl. Todak, Jl. Moh. Hasan
- (31,39) : Simpang Jl. Belato, Jl. Rejamat – Simpang Jl. Belato, Jl. Arrow
- (31,47) : Simpang Jl. Rejamat, Jl. Moh. Hasan – Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Moh. Hasan
- (32,34) : Simpang Jl. A. Yani, Jl. Khadijah – RS. Bhayangkara
- (32,B) : Simpang Jl. A. Yani, Jl. Khadijah – Lapangan Merdeka
- (33,35) : Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Van Iskandar Bakar – Simpang Jl. Rejamat, kuburan Inggris
- (33,43) : Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Van Iskandar Bakar – Simpang Jl. Letkol Santoso, Jl. Van Iskandar Bakar
- (33,47) : Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Van Iskandar Bakar - Simpang Jl. M. Hasan 1, Jl. Moh. Hasan
- (34,35) : RS. Bhayangkara – Ujung Jl. Rejamat
- (34,40) : RS. Bhayangkara - Simpang Jl. Letkol Santosa, Jl. Cendrawasih
- (34,41) : RS. Bhayangkara - Simpang Jl. Jendral Sudirman, Samping Unihaz
- (35,36) : Ujung Jl. Rejamat - Simpang Jl. Todak, Jl. Moh. Hasan
- (36,38) : Simpang Jl. Todak, Jl. Moh. Hasan - Ujung Jl. Kol. Barlian
- (36,B) : Simpang Jl. Todak, Jl. Moh. Hasan – Lapangan Merdeka
- (37,38) : Jl. Kol. Barlian
- (37,39) : Simpang Jl. Kol. Barlian, Jl. Arrow – Simpang Jl. Belato, Jl. Arrow
- (37,S2) : Simpang Jl. Kol. Barlian, Jl. Arrow – Masjid Muttaqien
- (38,B) : Ujung Jl. Kol. Barlian – Lapangan Merdeka
- (39,48) : Simpang Jl. Belato, Jl. Arrow - Simp. Jl. Pari, Jl. Arrow
- (39,S1) : Simpang Jl. Belato, Jl. Arrow – Gedung samping kantor lurah Berkas
- (40,43) : Simpang Jl. Letkol Santoso, Jl. Cendrawasih – Simpang Jl. Letkol Santoso, Jl. Van Iskandar Bakar
- (41,42) : Simpang Jl. Jendral Sudirman, Samping Unihaz - Ujung Simpang 4 Jl. Sudirman III
- (41,S4) : Simpang Jl. Jendral Sudirman, Samping Unihaz – SMPN 1 (Jl.A.Yani)
- (43,44) : Simpang Jl. Letkol Santoso, Jl. Van Iskandar Bakar – Simpang 3 Jl. Soekarno Hatta, Jl. Letkol Santoso, Jl. Moh. Hasan
- (44,45) : Simpang 3 Jl. Soekarno Hatta, Jl. Letkol Santoso, Jl. Moh. Hasan – Simpang 4 Jl. Kerapu Ujung
- (44,47) : Simpang 3 Jl. Soekarno Hatta, Jl. Letkol Santoso, Jl. Moh. Hasan – Simpang Jl. Moh. Hasan, Jl. M. Hasan 1
- (44,C) : Simpang 3 Jl. Soekarno Hatta, Jl. Letkol Santoso, Jl. Moh. Hasan – Mesjid At-Taqwa
- (45,46) : Jl. Kerapu (Simp. 4 Jl. Kerapu Ujung) – Simpang Jl. Pari, Jl. Kerapu
- (46,47) : Simpang Jl. Pari, Jl. Kerapu – Simpang Jl. Moh. Hasan, Jl. M. Hasan 1
- (46,48) : Jl. Pari (Simpang Jl. Pari, Jl. Kerapu) – Simpang Jl. Pari
- (48,S1) : Jl. Pari (Simpang Jl. Pari, Jl. Kerapu) – Gedung samping kantor lurah berkas (Jl.Pari)

Berdasarkan *graph* jaringan jalan Gambar 5.1, dilakukan pengukuran jarak antar *vertex* terhubung dan waktu yang dibutuhkan antar *vertex* terhubung. Jarak antar *vertex* didapatkan dari data sekunder yang diambil dari Dinas PU Kota Bengkulu (Lampiran 2), melalui *google maps* dan pengukuran langsung di lapangan dan diperoleh hasil seperti pada tabel berikut.

Tabel 5.7. Jarak Antar *Cluster*, *Cluster* dan Titik Berkumpul dan *Cluster* dan ESB

No	Node	Jarak (m)	No	Node	Jarak (m)
1	(A,1)	343,2	43	(24,32)	130,7
2	(A,2)	272,9	44	(25,26)	238,2
3	(1,2)	185,3	45	(25,27)	182,4
4	(1,6)	556,5	46	(25,28)	232,8
5	(2,3)	276,3	47	(27,28)	145,9
6	(2,9)	472,6	48	(27,30)	547
7	(3,4)	35,7	49	(28,29)	124,2
8	(3,5)	137,6	50	(28,B)	231,5
9	(5,9)	283,0	51	(28,38)	493,1
10	(5,11)	489,7	52	(30,37)	313,5
11	(6,8)	231,5	53	(31,35)	202,7
12	(6,10)	106,3	54	(31,36)	256,0
13	(7,10)	192,3	55	(31,39)	284,7
14	(7,9)	278,1	56	(31,47)	190,5
15	(7,18)	354,8	57	(32,34)	138,8
16	(7,8)	340,3	58	(32,B)	284,6
17	(7,13)	283,0	59	(33,35)	209,5
18	(9,13)	212,7	60	(33,43)	444,0
19	(10,17)	358,0	61	(33,47)	188,9
20	(11,14)	248,2	62	(34,35)	259,0
21	(12,14)	201,4	63	(34,40)	386,0
22	(12,20)	267,7	64	(34,41)	434,7
23	(13,14)	252,4	65	(35,36)	294,3
24	(13,15)	242,8	66	(36,38)	262,2
25	(13,16)	379,9	67	(36,B)	47,3
26	(13,18)	486,1	68	(37,38)	206,8
27	(14,15)	231,5	69	(37,39)	432,1
28	(15,19)	64,0	70	(37,S2)	237,66
29	(16,18)	80,6	71	(38,B)	88,0
30	(16,19)	119,2	72	(39,48)	173,9
31	(16,S3)	78,89	73	(39,S1)	125,94
32	(17,S4)	101,43	74	(40,43)	905,4
33	(17,18)	189,3	75	(41,42)	249,3
34	(17,41)	877,2	76	(41,S4)	775,77
35	(19,S3)	40,31	77	(43,44)	174,5
36	(19,41)	384,3	78	(44,45)	221
37	(20,21)	142,1	79	(44,47)	507,5
38	(21,41)	343,8	80	(44,C)	411,7
39	(22,23)	193,7	81	(45,46)	338,1
40	(22,24)	112,3	82	(46,47)	98,2
41	(23,25)	133,8	83	(46,48)	305,7
42	(23,29)	161,7	84	(48,S1)	47,96

5.5. Penentuan Jalur Terpendek

Berdasarkan Tabel 5.7 dan dengan menggunakan algoritma *Floyd Warshall* dicari jalur terpendek (jalur dengan jarak terdekat) dari tiap-tiap *cluster* menuju titik

berkumpul/ESB terdekat. Berikut diberikan listing program dalam menentukan jalur terpendek tersebut. *Running* program penentuan jalur terpendek ini diberikan dalam Lampiran 3.

Program Matlab

```
1.      clear
2.      clc
3.  for i=1:55,
4.  for j=1:55,
        A(i,j)=inf;
        if i==j
            A(i,j)=0;
        end
5.  end
6.  end
7.  A(1,2)=185.3;
8.  A(1,6)=556.5;
9.  A(1,49)=343.2;
10.   A(2,1)=185.3;
11.   A(2,3)=276.3;
12.   A(2,9)=472.6;
13.   A(2,49)=272.9;
14.   A(3,2)=276.3;
15.   A(3,4)=35.7;
16.   A(3,5)=137.6;
17.   A(4,3)=35.7;
18.   A(5,3)=137.6;
19.   A(5,9)=283.0;
20.   A(5,11)=489.7;
21.   A(6,1)=556.5;
22.   A(6,8)=231.5;
23.   A(6,10)=106.3;
24.   A(7,10)=192.3;
25.   A(7,9)=278.1;
26.   A(7,8)=340.3;
27.   A(7,13)=283.0;
28.   A(7,18)=354.8;
29.   A(8,7)=340.3;
30.   A(9,7)=278.1;
31.   A(9,5)=283.2;
32.   A(9,2)=472.6;
33.   A(9,13)=212.7;
34.   A(10,6)=106.3;
35.   A(10,7)=192.3;
36.   A(10,17)=358.0;
37.   A(11,5)=489.7;
38.   A(11,14)=248.2;
39.   A(12,14)=201.4;
40.   A(12,20)=267.7;
41.   A(13,7)=283.0;
42.   A(13,9)=212.7;
43.   A(13,14)=252.4;
44.   A(13,15)=242.8;
45.   A(13,16)=379.9;
46.   A(13,18)=486.1;
47.   A(14,11)=248.2;
48.   A(14,12)=201.4;
```

49. $A(14, 13) = 252.4;$
50. $A(14, 15) = 231.5;$
51. $A(15, 14) = 231.5;$
52. $A(15, 19) = 64.0;$
53. $A(15, 13) = 252.4;$
54. $A(16, 13) = 379.9;$
55. $A(16, 18) = 80.6;$
56. $A(16, 19) = 119.2;$
57. $A(16, 54) = 78.9;$
58. $A(17, 10) = 358.0;$
59. $A(17, 55) = 101.4;$
60. $A(17, 18) = 189.3;$
61. $A(17, 41) = 877.2;$
62. $A(18, 13) = 486.1;$
63. $A(18, 16) = 80.6;$
64. $A(18, 17) = 189.3;$
65. $A(19, 15) = 64.0;$
66. $A(19, 16) = 119.2;$
67. $A(19, 54) = 40.3;$
68. $A(19, 41) = 384.3;$
69. $A(20, 21) = 142.1;$
70. $A(21, 20) = 142.1;$
71. $A(21, 41) = 343.8;$
72. $A(22, 23) = 193.7;$
73. $A(22, 24) = 112.3;$
74. $A(23, 22) = 193.7;$
75. $A(23, 25) = 133.8;$
76. $A(23, 29) = 161.7;$
77. $A(24, 22) = 112.3;$
78. $A(24, 32) = 130.7;$
79. $A(25, 23) = 133.8;$
80. $A(25, 26) = 238.2;$
81. $A(25, 27) = 182.4;$
82. $A(25, 28) = 232.8;$
83. $A(26, 25) = 238.2;$
84. $A(27, 28) = 145.9;$
85. $A(27, 30) = 547.0;$
86. $A(28, 25) = 232.8;$
87. $A(28, 27) = 145.9;$
88. $A(28, 29) = 124.2;$
89. $A(28, 50) = 231.5;$
90. $A(28, 38) = 493.1;$
91. $A(29, 23) = 161.7;$
92. $A(29, 28) = 124.2;$
93. $A(30, 37) = 313.5;$
94. $A(30, 27) = 547.0;$
95. $A(31, 35) = 202.7;$
96. $A(31, 36) = 256.0;$
97. $A(31, 39) = 284.7;$
98. $A(31, 47) = 190.5;$
99. $A(32, 24) = 130.7;$
100. $A(32, 34) = 138.8;$
101. $A(32, 50) = 284.6;$
102. $A(33, 34) = 444.0;$
103. $A(33, 35) = 209.5;$
104. $A(33, 47) = 188.9;$
105. $A(34, 32) = 138.8;$
106. $A(34, 35) = 259.0;$
107. $A(34, 40) = 386.0;$
108. $A(34, 41) = 434.7;$
109. $A(35, 31) = 202.7;$

```

110.      A(35,33)=209.5;
111.      A(35,34)=259.0;
112.      A(35,36)=294.3;
113.      A(36,31)=256.0;
114.      A(36,38)=262.2;
115.      A(36,50)=47.3;
116.      A(37,30)=313.5;
117.      A(37,38)=206.8;
118.      A(37,39)=432.1;
119.      A(37,53)=237.6;
120.      A(38,28)=493.1;
121.      A(38,36)=262.2;
122.      A(38,50)=88.0;
123.      A(39,31)=284.1;
124.      A(39,37)=432.1;
125.      A(39,52)=125.9;
126.      A(40,34)=386.0;
127.      A(40,43)=905.4;
128.      A(41,34)=434.7;
129.      A(41,42)=249.3;
130.      A(41,54)=775.8;
131.      A(42,41)=249.1;
132.      A(43,33)=444.0;
133.      A(43,44)=174.5;
134.      A(44,45)=221.0;
135.      A(44,43)=174.5;
136.      A(44,47)=507.5;
137.      A(44,51)=411.7;
138.      A(45,46)=338.1;
139.      A(46,45)=338.1;
140.      A(46,47)=98.2;
141.      A(46,48)=305.7;
142.      A(47,31)=190.5;
143.      A(47,33)=188.9;
144.      A(47,44)=507.5;
145.      A(47,46)=98.2;
146.      A(48,39)=173.9;
147.      A(48,46)=305.7;
148.      A(48,52)=47.9;
149.      A(49,1)=343.2;
150.      A(49,2)=272.9;
151.      A(50,28)=231.5;
152.      A(50,32)=284.6;
153.      A(50,36)=47.3;
154.      A(50,38)=88.0;
155.      A(51,44)=411.7;
156.      A(52,48)=47.9;
157.      A(52,39)=125.9;
158.      A(53,37)=237.6;
159.      A(54,16)=78.8;
160.      A(54,19)=40.3;
161.      A(54,41)=775.7;
162.      A(55,17)=101.4;

163.      [baris,kolom]=size(A);

164.      for k = 1 : baris
165.      temp = A;
166.      for i = 1 : baris
          for j = 1 : kolom
              if k == 55 && (i == 1 && j == 55)

```

```

else
temp(i, j) = min(A(i, j), A(i, k)+A(k, j));
end
end
167. end
168. A = temp;
169. fprintf('iterasi ke %d adalah \n', k);
170. A
171. continue;
172. end

```

Hasil running program di atas yang diberikan dalam Lampiran 3, diinterpretasikan sebagai jalur terpendek dari tiap-tiap *cluster* menuju titik berkumpul/ESB seperti pada tabel berikut.

Tabel 5.8. Jalur dengan Jarak Terpendek dari Tiap-Tiap *Cluster* Menuju Titik Berkumpul/ESB

C	Titik Berkumpul	Jalur Evakuasi	Jarak (m)	C	Titik Berkumpul	Jalur Evakuasi	Jarak (m)
1	A	1 → A	343,2	25	B	25 → 28 → B	464,3
2	A	2 → A	272,9	26	B	26 → 25 → 28 → B	702,5
3	A	3 → 2 → A	549,2	27	B	27 → 28 → B	377,4
4	A	4 → 3 → 2 → A	584,9	28	B	28 → B	231,5
5	A	5 → 3 → 2 → A	686,8	29	B	29 → 28 → B	355,7
6	S4	6 → 10 → 17 → S4	567,7	30	S2	30 → 37 → S2	551,1
7	S3	7 → 18 → 16 → S3	514,3	31	B	31 → 36 → B	303,3
8	S3	8 → 7 → 18 → 16 → S3	854,6	32	B	32 → B	284,6
9	S3	9 → 13 → 15 → 19 → S3	559,8	33	B	33 → 35 → 36 → B	551,1
10	S4	10 → 17 → S4	459,8	34	B	34 → 32 → B	423,4
11	S3	11 → 14 → 15 → 19 → S3	584,0	35	B	35 → 36 → B	341,6
12	S3	12 → 14 → 15 → 19 → S3	537,2	36	B	36 → B	47,3
13	S3	13 → 15 → 19 → S3	347,1	37	S2	37 → S2	237,6
14	S3	14 → 15 → 19 → S3	335,8	38	B	38 → B	88,0
15	S3	15 → 19 → S3	104,3	39	S1	39 → S1	125,9
16	S3	16 → S3	78,9	40	B	40 → 34 → 32 → B	809,4
17	S4	17 → S4	101,4	41	S3	41 → 19 → S3	424,6
18	S3	18 → 16 → S3	159,5	42	S3	42 → 41 → 19 → S3	673,7
19	S3	19 → S3	40,3	43	C	43 → 44 → C	586,2
20	S3	20 → 12 → 14 → 15 → 19 → S3	804,9	44	C	44 → C	411,7
21	S3	21 → 20 → 12 → 14 → 15 → 19 → S3	947,0	45	C	45 → 44 → C	632,7
22	B	22 → 24 → 32 → B	527,6	46	S1	46 → 48 → S1	353,6
23	B	23 → 29 → 28 → B	517,4	47	S1	47 → 46 → 48 → S1	451,8
24	B	24 → 32 → B	415,3	48	S1	48 → S1	47,9

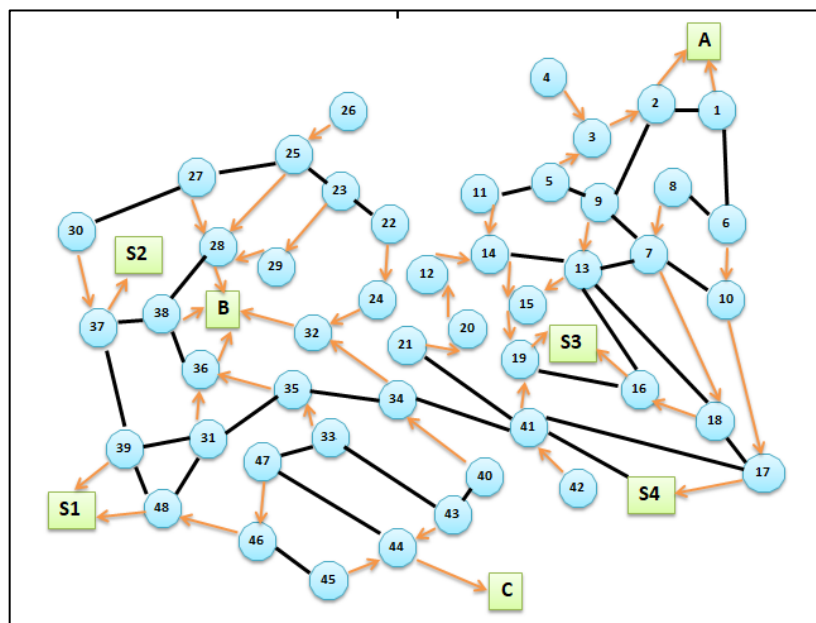
Berdasarkan Tabel 5.6, dengan mengasumsikan kecepatan berjalan pengunjung diambil kecepatan terendah berdasarkan Tabel 2.2 yaitu $0,751m/det$, banyak lajur sesuai dengan kondisi riil di lapangan (diambil rata-rata yaitu $l = 2$), dan jarak antar orang mengikuti keterangan pada Persamaan (2.3) yaitu $0,79m$, maka dengan menggunakan Persamaan (2.2) diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 5.9. Waktu yang Dibutuhkan untuk Memindahkan Seluruh Penduduk dari Tiap-Tiap Cluster Menuju Titik berkumpul/ESB Terdekat

C	Titik Berkumpul	Jalur Evakuasi	Waktu (menit)	C	Titik Berkumpul	Jalur Evakuasi	Waktu (menit)
1	A	1 → A	13,2	25	B	25 → 28 → B	25,0
2	A	2 → A	8,8	26	B	26 → 25 → 28 → B	10,6
3	A	3 → 2 → A	15,9	27	B	27 → 28 → B	19,3
4	A	4 → 3 → 2 → A	13,7	28	B	28 → B	18,8
5	A	5 → 3 → 2 → A	19,2	29	B	29 → 28 → B	14,5
6	S4	6 → 10 → 17 → S4	16,5	30	S2	30 → 37 → S2	28,0
7	S3	7 → 18 → 16 → S3	15,8	31	B	31 → 36 → B	8,4
8	S3	8 → 7 → 18 → 16 → S3	20,1	32	B	32 → B	7,5
9	S3	9 → 13 → 15 → 19 → S3	18,1	33	B	33 → 35 → 36 → B	13,1
10	S4	10 → 17 → S4	14,3	34	B	34 → 32 → B	15,1
11	S3	11 → 14 → 15 → 19 → S3	18,5	35	B	35 → 36 → B	8,8
12	S3	12 → 14 → 15 → 19 → S3	13,6	36	B	36 → B	2,1
13	S3	13 → 15 → 19 → S3	9,7	37	S2	37 → S2	7,6
14	S3	14 → 15 → 19 → S3	11,8	38	B	38 → B	6,6
15	S3	15 → 19 → S3	7,3	39	S1	39 → S1	14,8
16	S3	16 → S3	5,8	40	B	40 → 34 → 32 → B	26,2
17	S4	17 → S4	7,2	41	S3	41 → 19 → S3	16,4
18	S3	18 → 16 → S3	5,1	42	S3	42 → 41 → 19 → S3	17,9
19	S3	19 → S3	5,8	43	C	43 → 44 → C	18,3
20	S3	20 → 12 → 14 → 15 → 19 → S3	20,9	44	C	44 → C	10,9
21	S3	21 → 20 → 12 → 14 → 15 → 19 → S3	28,0	45	C	45 → 44 → C	16,8
22	B	22 → 24 → 32 → B	27,1	46	S1	46 → 48 → S1	11,6
23	B	23 → 29 → 28 → B	517,4	47	S1	47 → 46 → 48 → S1	10,8
24	B	24 → 32 → B	415,3	48	S1	48 → S1	12,6

Tabel 5.9 menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan seluruh penduduk dari tiap-tiap cluster menuju titik berkumpul terdekat. Berdasarkan tabel ini dapat dilihat bahwa ESB S1 berasal dari cluster-cluster 39, 46, 47 dan 48, ESB S2 berasal dari cluster-cluster 30 dan 37, ESB S3 berasal dari cluster-cluster 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 41 dan 42 serta ESB S4 berasal dari cluster-cluster 10 dan 17. Berdasarkan Tabel 5.6, jumlah penduduk dari cluster-cluster yang menuju ESB

tersebut adalah: ESB S1 sebanyak 3.201 orang, ESB S2 sebanyak 2.070 orang, ESB S3 sebanyak 6.904, ESB S4 sebanyak 1.037 orang dengan kapasitas masing-masing *cluster* mengikuti Tabel 5.4 yaitu: ESB S1 berkapasitas 1.152 orang, ESB S2 berkapasitas 749 orang, ESB S3 berkapasitas 456 orang dan ESB S4 berkapasitas 1.162 orang. Dalam penelitian ini, estimasi jumlah penduduk hanya mempertimbangkan jumlah penduduk tetap di tiap-tiap *cluster* tanpa mempertimbangkan jumlah penduduk yang bekerja di luar dan jumlah penduduk tidak tetap (misalnya jumlah anak sekolah saat jam sekolah, jumlah mahasiswa saat jam kuliah, jumlah karyawan kantor saat jam kantor dan jumlah penduduk yang berada di pasar pada tiap-tiap *cluster* tempat sekolah, perguruan tinggi, kantor dan pasar tersebut). Jalur evakuasi vertikal dan horizontal pada Tabel 5.9 dapat digambarkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 5.3. Jalur Evakuasi Vertikal dan Horizontal di Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu

Simulasi perhitungan seperti di atas dapat dilakukan untuk untuk memperoleh skenario evakuasi pada tahun-tahun berikutnya, dimana jumlah penduduk yang dinamis dapat diestimasi menggunakan Persamaan (5.1)-(5.3).

5.5. Luaran yang Dicapai

Luaran yang dihasilkan dari penelitian ini berupa luaran wajib dan luaran tambahan. Sebagian hasil penelitian ini telah dibuat dalam suatu artikel ilmiah yang telah diseminarkan dalam “The International Conference on Mathematics, Statistics,

and Data Science (ICMSDC) 2020, Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tanggal 11-12 November 2020 (Lampiran 4 dan Lampiran 5), dan artikel yang dikirimkan ini termasuk sebagai salah satu artikel yang akan diseleksi untuk diterbitkan dalam prosiding internasional terindeks (Lampiran 6). Luaran tambahan yang akan dihasilkan dari penelitian ini berupa hak cipta dan bahan ajar. Luaran tambahan berupa bahan ajar yang telah dihasilkan saat ini berupa outline dan draft bahan ajar (Lampiran 7).

BAB VI

RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA

Berdasarkan kajian dan analisis dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan, rencana tahapan selanjutnya dari penelitian ini difokuskan pada penentuan model jalur evakuasi tsunami secara horizontal dan vertikal dan penentuan lokasi ESB beserta kapasitasnya berdasarkan waktu kejadian untuk wilayah Kota Bengkulu serta pembuatan prototype aplikasi jalur evakuasi berbasis android. Tujuannya adalah agar jalur yang telah dihasilkan dalam penelitian ini dapat dioptimalkan pemanfaatannya untuk meminimalisir dampak bahaya tsunami di Kota Bengkulu.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti dapat menarik kesimpulan yaitu:

1. Beberapa gedung yang berada di lokasi penelitian layak untuk dijadikan ESB. Berdasarkan pertimbangan lokasi, gedung-gedung ini dianalisis kembali untuk menentukan gedung-gedung yang akan dianggap sebagai ESB. Gedung yang dapat dianggap sebagai ESB antara lain: Gedung samping kantor lurah Berkas, Masjid Muttaqien (sebelah Pasar Barokoto 1), SMPN 3 dan SMPN 1.
2. Model jalur evakuasi yang dihasilkan berupa jalur untuk evakuasi horizontal dan vertikal berdasarkan rute terpendek dan waktu evakuasi minimum.

8.2. Saran

Pada penelitian ini, tidak dibahas mengenai lokasi-lokasi yang potensial untuk pembangunan ESB. Untuk penelitian selanjutnya disarankan berkolaborasi dengan bidang teknik sipil membahas kemungkinan-kemungkinan lokasi pembangunan ESB.

DAFTAR PUSTAKA

- BNPB. Kajian Risiko Bencana Tsunami, *Jakarta*, **2011**.
- BNPB. Risiko Bencana Indonesia (RBI), *Jakarta*, **2016**.
- BPBD Propinsi Bengkulu. Atlas Peta Resiko Bencana Propinsi Bengkulu, *Bengkulu*, **2010**.
- BPS. Kecamatan Teluk Segara dalam Angka 2017. *Bengkulu*, **2017**.
- BPS. Penduduk, Laju Pertumbuhan Penduduk, Distribusi Persentase Penduduk, Kepadatan Penduduk, dan Rasio Jenis Kelamin Penduduk Menurut Provinsi, 2019. **2019**. <https://www.bps.go.id>. Diakses tanggal 29 September 2020.
- Budiarjo A 2006 Evacuation shelter building planning for tsunami-prone area; a case study of Meulaboh City, Indonesia *Thesis* Intrenational Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede Nedherlands
- Cormen TH. Introduction to Algorithms, *2nd Edition*. *The MIT Press, Cambridge, London*, **2003**.
- Dewi R.S. A-GIS Based Approach to the Selection of Evacuation Shelter Buildings and Routes Tsunami Risk Reduction: a Case study of Cilacap Coastal Area, Indonesia, Thesis, *Gadjah Mada University, University of Twente*, **2010**.
- Dewi R.S. A-Gis Based Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction. *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, **2012**, 2, 2, 108-139.
- Fanani L, Adams JEM, Wicaksono SA. Rancang Bangun Aplikasi Web Pencarian Rute Terpendek Antar Gedung di Kampus Menggunakan Algoritma Flyod-Warshall. *Journal Basic Science and Technology*, **2012**, 1, 2, 30-34.
- Fauzi Y, Suwarsono, Mayasari Z.M. Perancangan Sistem Informasi Kebencanaan Tsunami Melalui Penyusunan Peta Kerawanan Dan Jalur Evakuasi Bencana Di Pesisir Kota Bengkulu, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, LPPM Universitas Bengkulu, **2014**, Tidak dipublikasikan.
- Fauzi Y, Suwarsono, Mayasari Z.M. The Run Up Modelling in Bengkulu Using the Spatial Interpolation of Kriging Technique. *Forum Geografi*, **2014**, 28, 2, 103-112.
- Mayasari Z.M. *Pemodelan Matematika untuk Optimasi Proses Evakuasi dengan Model Makroskopik*, Prosiding Semirata Bidang MIPA BKS-PTN-Barat, **2014**, 591-596.
- Mayasari Z.M. Swita. B., Rafflesia. U., Pemodelan Problem Evakuasi Bencana Tsunami Melalui Pendekatan *Maximum Dynamic Flow Problem* (MDFP) (Studi

kasus : Kelurahan Berkas Kota Bengkulu). Laporan Penelitian Dosen Pemula Dana BOPTN FMIPA, LPPM Universitas Bengkulu, **2013**, Tidak dipublikasikan.

Munir R. Matematika Diskrit. *Informatika, Bandung, 2005*.

Najoan, T.F., dan Budiman. A, Peta Zonasi Tsunami Indonesia, *Jurnal Teknik Sipil, 2006*, 2, 2, 74-147

Post J, Wegscheider S, Muck M, Zosseder K, Kiefl R, Steinmetz T, Struns G. Assesment of human immediate response capability related to tsunami threats in Indonesia at a sub-national scale, *Natural Hazard Earth System Science, 2009*, 9, 1075-1086.

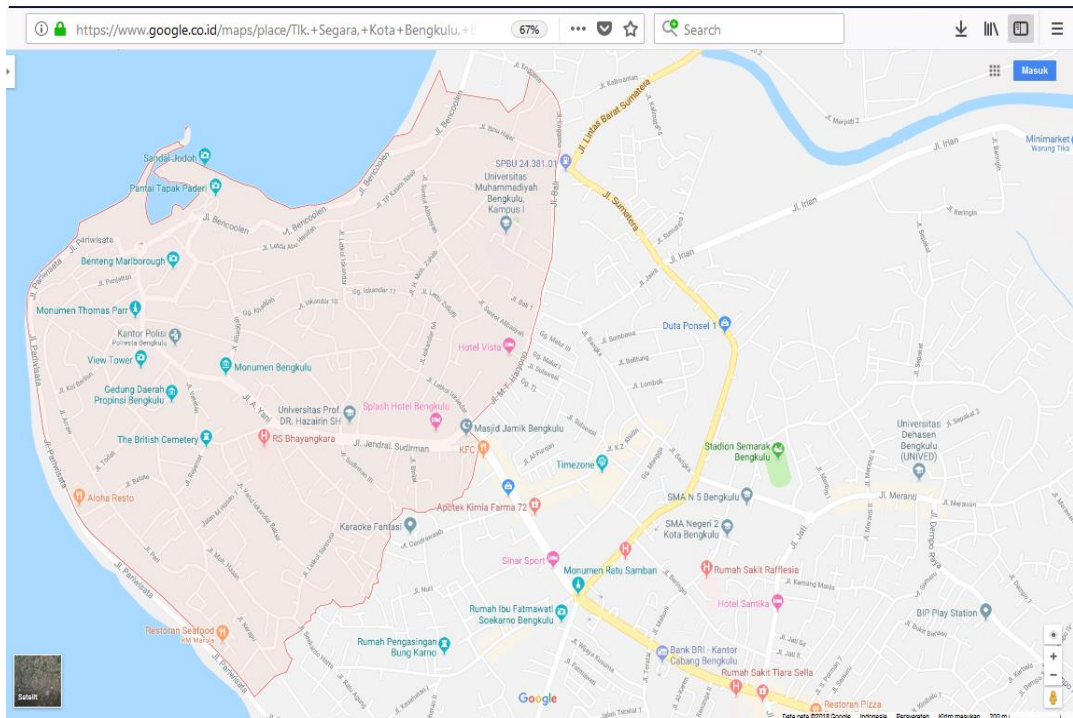
Siang J.J. Matematika Diskrit dan Aplikasinya pada Ilmu Komputer, *Amikom, Yogyakarta, 2002*.

Sudarsana I.W, Mendi S, Abdullah, Hendra A, Sahari A. Model Matematika untuk Sistem Evakuasi Kota Palu (SET_KP) Berbasis Jalur Terpendek dan Waktu Evakuasi Minimum. *Online Jurnal of Natural Science, 2013*, 2, 3, 39-53.

Suwarsono, 2003, Tingkat Pengetahuan Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami Ibu Rumah Tangga di Kota Bengkulu, *Jurnal Akselaras Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Vol. IX No. 5*.

Yunarto, Anwar H.Z, Wibowo Y.S. Perencanaan Evakuasi Vertikal di Pulau Sarangan Propinsi Bali Sebagai Alternatif Pengurangan Risiko Bahaya Tsunami. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, 2015*, 6, 2, 107-118.

Lampiran 1. Jaringan Jalan Kecamatan Teluk Segara



Lampiran 2. Daftar Panjang dan Lebar Jalan di Wilayah Penelitian

No	Nama Jalan	Jenis Jalan	Panjang Jalan (m)	Lebar Jalan (m)
1.	A. Yani	Arteri	800	10
2.	Bali	Arteri	450	13,5
3.	Irian	Arteri	5610	7,8
4.	MT. Haryono	Arteri	400	13,5
5.	Abu Hanifah	Lokal 2	700	6
6.	Arraw	Lokal 2	418	4
7.	Belato	Lokal 2	250	4
8.	Enggano	Lokal 2	1310	3
9.	Kerapu	Lokal 2	610	4
10.	Letkol Santoso	Lokal 2	725	4
11.	Pari	Lokal 2	580	4
12.	Pratu Aidit	Lokal 2	466	4
13.	Siti Khadijah	Lokal 2	386	4,5
14.	Teluk Segara	Lokal 2	800	7
15.	Todak	Lokal 2	258	5
16.	Tongkol	Lokal 2	232	7
17.	TP. Kasim Nasir	Lokal 2	400	4
18.	Veteran	Lokal 2	615	6
19.	KH. Dahlan	Lokal 2	558	3
20.	Indra Cahya	K3	155	12
21.	Kolonel Burlian	K3	400	5
22.	Prof. Dr. Hazairin	K3	600	6
23.	Jawa	K3	410	13
24.	RH. Hadi	K3	185	9
25.	Rejamat	K3	225	5
26.	Tenggiri	K3	150	10
27.	Belitung	Lokal 4	280	3,5
28.	BRI	Lokal 4	110	4
29.	Burniat	Lokal 4	363	3
30.	Kebun Dahri	Lokal 4	1800	4
31.	Lombok	Lokal 4	553	3,5
32.	Merpati	Lokal 4	200	3
33.	Pasar Ikan	Lokal 4	232	4
34.	Salim Batu Bara	Lokal 4	1500	4
35.	Sulawesi	Lokal 4	495	3
36.	Sumbawa	Lokal 4	317	4

No	Nama Jalan	Jenis Jalan	Panjang Jalan (m)	Lebar Jalan (m)
37.	Van Iskandar Bahsir	Lokal 4	548	4
38.	Ahmad Yani 1-2	Lokal 4	340	3
38.	Bali 1	Lokal 4	400	4,5
40.	Bali 2	Lokal 4	160	2,5
41.	Bali 3	Lokal 4	90	3
42.	Bangka 1	Lokal 4	400	3
43.	Bangka 2	Lokal 4	300	3
44.	Bawal 1	Lokal 4	171	6
45.	Berlian 1	Lokal 4	150	3
46.	Cendrawasih 1	Lokal 4	513	3
47.	Cendrawasih 2	Lokal 4	165	3
48.	Cendrawasih 3	Lokal 4	430	3
49.	DR. Muchtar	Lokal 4	150	4
50.	Enggano 1	Lokal 4	602	3
51.	Enggano 1 ^a	Lokal 4	696	3
52.	Bangka	Lokal 1	700	3
53.	Kapten Syahrial	Lokal 1	311	4
54.	Letkol Iskandar	Lokal 1	920	4
55.	M. Hasan	Lokal 1	700	5
56.	Nusirwan ZAinul	Lokal 1	1150	5
57.	Pendakian	Lokal 1	250	4
58.	Sentot Alibasyah	Lokal 1	1000	4

Sumber : Dinas Tata Kota Pemerintah Kota Bengkulu

Lampiran 3. *Running* Program Penentuan Jalur Terpendek

Hasil Running Program Matlab

A =

1.0e+03 *

Columns 1 through 8

0	0.1853	0.4616	0.4973	0.5992	0.5565	0.8551	0.7880
0.1853	0	0.2763	0.3120	0.4139	0.7418	0.7507	0.9733
0.4616	0.2763	0	0.0357	0.1376	0.9973	0.6987	1.0390
0.4973	0.3120	0.0357	0	0.1733	1.0330	0.7344	1.0747
0.5992	0.4139	0.1376	0.1733	0	0.8597	0.5611	0.9014
0.5565	0.7418	0.9975	1.0332	0.8599	0	0.2986	0.2315
0.8551	0.7507	0.6989	0.7346	0.5613	0.2986	0	0.3403
1.1954	1.0910	1.0392	1.0749	0.9016	0.6389	0.3403	0
0.6579	0.4726	0.4208	0.4565	0.2832	0.5767	0.2781	0.6184
0.6628	0.8481	0.8912	0.9269	0.7536	0.1063	0.1923	0.3378
1.0889	0.9036	0.6273	0.6630	0.4897	1.0822	0.7836	1.1239
1.3244	1.1391	1.0769	1.1126	0.9393	1.0354	0.7368	1.0771
0.8706	0.6853	0.6335	0.6692	0.4959	0.5816	0.2830	0.6233
1.1230	0.9377	0.8755	0.9112	0.7379	0.8340	0.5354	0.8757
1.1230	0.9377	0.8859	0.9216	0.7483	0.8340	0.5354	0.8757
1.2505	1.0652	1.0134	1.0491	0.8758	0.7342	0.6629	0.9657
1.0208	1.2061	1.2492	1.2849	1.1116	0.4643	0.5503	0.6958
1.2101	1.1458	1.0940	1.1297	0.9564	0.6536	0.7396	0.8851
1.1870	1.0017	0.9499	0.9856	0.8123	0.8533	0.5994	0.9397
2.4890	2.3037	2.2519	2.2876	2.1143	2.0747	1.9014	2.2417
2.3469	2.1616	2.1098	2.1455	1.9722	1.9326	1.7593	2.0996
2.8196	2.6343	2.5825	2.6182	2.4449	2.4053	2.2320	2.5723
3.0133	2.8280	2.7762	2.8119	2.6386	2.5990	2.4257	2.7660
2.7073	2.5220	2.4702	2.5059	2.3326	2.2930	2.1197	2.4600
3.1471	2.9618	2.9100	2.9457	2.7724	2.7328	2.5595	2.8998
3.3853	3.2000	3.1482	3.1839	3.0106	2.9710	2.7977	3.1380
3.2386	3.0533	3.0015	3.0372	2.8639	2.8243	2.6510	2.9913
3.0927	2.9074	2.8556	2.8913	2.7180	2.6784	2.5051	2.8454
3.1750	2.9897	2.9379	2.9736	2.8003	2.7607	2.5874	2.9277
3.4695	3.2842	3.2324	3.2681	3.0948	3.0552	2.8819	3.2222
2.8995	2.7142	2.6624	2.6981	2.5248	2.4852	2.3119	2.6522
2.5766	2.3913	2.3395	2.3752	2.2019	2.1623	1.9890	2.3293
2.8818	2.6965	2.6447	2.6804	2.5071	2.4675	2.2942	2.6345
2.4378	2.2525	2.2007	2.2364	2.0631	2.0235	1.8502	2.1905
2.6968	2.5115	2.4597	2.4954	2.3221	2.2825	2.1092	2.4495
2.9085	2.7232	2.6714	2.7071	2.5338	2.4942	2.3209	2.6612
3.1560	2.9707	2.9189	2.9546	2.7813	2.7417	2.5684	2.9087
2.9492	2.7639	2.7121	2.7478	2.5745	2.5349	2.3616	2.7019
3.1836	2.9983	2.9465	2.9822	2.8089	2.7693	2.5960	2.9363
2.8238	2.6385	2.5867	2.6224	2.4491	2.4095	2.2362	2.5765
2.0031	1.8178	1.7660	1.8017	1.6284	1.5888	1.4155	1.7558
2.2522	2.0669	2.0151	2.0508	1.8775	1.8379	1.6646	2.0049
3.3258	3.1405	3.0887	3.1244	2.9511	2.9115	2.7382	3.0785

3.5003	3.3150	3.2632	3.2989	3.1256	3.0860	2.9127	3.2530
3.5070	3.3217	3.2699	3.3056	3.1323	3.0927	2.9194	3.2597
3.1689	2.9836	2.9318	2.9675	2.7942	2.7546	2.5813	2.9216
3.0707	2.8854	2.8336	2.8693	2.6960	2.6564	2.4831	2.8234
3.3574	3.1721	3.1203	3.1560	2.9827	2.9431	2.7698	3.1101
0.3432	0.2729	0.5492	0.5849	0.6868	0.8997	1.0236	1.1312
2.8612	2.6759	2.6241	2.6598	2.4865	2.4469	2.2736	2.6139
3.9120	3.7267	3.6749	3.7106	3.5373	3.4977	3.3244	3.6647
3.3095	3.1242	3.0724	3.1081	2.9348	2.8952	2.7219	3.0622
3.3936	3.2083	3.1565	3.1922	3.0189	2.9793	2.8060	3.1463
1.2273	1.0420	0.9902	1.0259	0.8526	0.8130	0.6397	0.9800
1.1222	1.3075	1.3506	1.3863	1.2130	0.5657	0.6517	0.7972

Columns 9 through 16

0.6579	0.6628	1.0889	1.3244	0.8706	1.1230	1.1134	1.2505
0.4726	0.8481	0.9036	1.1391	0.6853	0.9377	0.9281	1.0652
0.4206	0.8910	0.6273	1.0769	0.6333	0.8755	0.8761	1.0132
0.4563	0.9267	0.6630	1.1126	0.6690	0.9112	0.9118	1.0489
0.2830	0.7534	0.4897	0.9393	0.4957	0.7379	0.7385	0.8756
0.5767	0.1063	1.0822	1.0354	0.5816	0.8340	0.8244	0.7340
0.2781	0.1923	0.7836	0.7368	0.2830	0.5354	0.5258	0.4354
0.6184	0.5326	1.1239	1.0771	0.6233	0.8757	0.8661	0.7757
0	0.4704	0.7133	0.6665	0.2127	0.4651	0.4555	0.5926
0.4704	0	0.9759	0.9291	0.4753	0.7277	0.7181	0.6277
0.7133	0.9759	0	0.4496	0.5006	0.2482	0.4797	0.6628
0.6665	0.9291	0.4496	0	0.4538	0.2014	0.4329	0.6160
0.2127	0.4753	0.5006	0.4538	0	0.2524	0.2428	0.3799
0.4651	0.7277	0.2482	0.2014	0.2524	0	0.2315	0.4146
0.4651	0.7277	0.4797	0.4329	0.2524	0.2315	0	0.1831
0.5926	0.6279	0.6629	0.6161	0.3799	0.4147	0.1832	0
0.8284	0.3580	0.9328	0.8860	0.6498	0.6846	0.4531	0.2699
0.6732	0.5473	0.7435	0.6967	0.4605	0.4953	0.2638	0.0806
0.5291	0.7470	0.5437	0.4969	0.3164	0.2955	0.0640	0.1191
1.8311	1.9684	1.8457	1.7989	1.6184	1.5975	1.3660	1.3405
1.6890	1.8263	1.7036	1.6568	1.4763	1.4554	1.2239	1.1984
2.1617	2.2990	2.1763	2.1295	1.9490	1.9281	1.6966	1.6711
2.3554	2.4927	2.3700	2.3232	2.1427	2.1218	1.8903	1.8648
2.0494	2.1867	2.0640	2.0172	1.8367	1.8158	1.5843	1.5588
2.4892	2.6265	2.5038	2.4570	2.2765	2.2556	2.0241	1.9986
2.7274	2.8647	2.7420	2.6952	2.5147	2.4938	2.2623	2.2368
2.5807	2.7180	2.5953	2.5485	2.3680	2.3471	2.1156	2.0901
2.4348	2.5721	2.4494	2.4026	2.2221	2.2012	1.9697	1.9442
2.5171	2.6544	2.5317	2.4849	2.3044	2.2835	2.0520	2.0265
2.8116	2.9489	2.8262	2.7794	2.5989	2.5780	2.3465	2.3210
2.2416	2.3789	2.2562	2.2094	2.0289	2.0080	1.7765	1.7510
1.9187	2.0560	1.9333	1.8865	1.7060	1.6851	1.4536	1.4281
2.2239	2.3612	2.2385	2.1917	2.0112	1.9903	1.7588	1.7333
1.7799	1.9172	1.7945	1.7477	1.5672	1.5463	1.3148	1.2893
2.0389	2.1762	2.0535	2.0067	1.8262	1.8053	1.5738	1.5483
2.2506	2.3879	2.2652	2.2184	2.0379	2.0170	1.7855	1.7600
2.4981	2.6354	2.5127	2.4659	2.2854	2.2645	2.0330	2.0075

2.2913	2.4286	2.3059	2.2591	2.0786	2.0577	1.8262	1.8007
2.5257	2.6630	2.5403	2.4935	2.3130	2.2921	2.0606	2.0351
2.1659	2.3032	2.1805	2.1337	1.9532	1.9323	1.7008	1.6753
1.3452	1.4825	1.3598	1.3130	1.1325	1.1116	0.8801	0.8546
1.5943	1.7316	1.6089	1.5621	1.3816	1.3607	1.1292	1.1037
2.6679	2.8052	2.6825	2.6357	2.4552	2.4343	2.2028	2.1773
2.8424	2.9797	2.8570	2.8102	2.6297	2.6088	2.3773	2.3518
2.8491	2.9864	2.8637	2.8169	2.6364	2.6155	2.3840	2.3585
2.5110	2.6483	2.5256	2.4788	2.2983	2.2774	2.0459	2.0204
2.4128	2.5501	2.4274	2.3806	2.2001	2.1792	1.9477	1.9222
2.6995	2.8368	2.7141	2.6673	2.4868	2.4659	2.2344	2.2089
0.7455	1.0060	1.1765	1.4120	0.9582	1.2106	1.2010	1.3381
2.2033	2.3406	2.2179	2.1711	1.9906	1.9697	1.7382	1.7127
3.2541	3.3914	3.2687	3.2219	3.0414	3.0205	2.7890	2.7635
2.6516	2.7889	2.6662	2.6194	2.4389	2.4180	2.1865	2.1610
2.7357	2.8730	2.7503	2.7035	2.5230	2.5021	2.2706	2.2451
0.5694	0.7067	0.5840	0.5372	0.3567	0.3358	0.1043	0.0788
0.9298	0.4594	1.0342	0.9874	0.7512	0.7860	0.5545	0.3713

Columns 17 through 24

1.0208	1.2099	1.1774	1.5921	1.7342	2.3782	2.5719	2.2659
1.2061	1.1055	0.9921	1.4068	1.5489	2.1929	2.3866	2.0806
1.2428	1.0535	0.9401	1.3446	1.4867	2.1409	2.3346	2.0286
1.2785	1.0892	0.9758	1.3803	1.5224	2.1766	2.3703	2.0643
1.1052	0.9159	0.8025	1.2070	1.3491	2.0033	2.1970	1.8910
0.4643	0.6534	0.8532	1.3031	1.4452	2.0540	2.2477	1.9417
0.5441	0.3548	0.5546	1.0045	1.1466	1.7554	1.9491	1.6431
0.8844	0.6951	0.8949	1.3448	1.4869	2.0957	2.2894	1.9834
0.8222	0.6329	0.5195	0.9342	1.0763	1.7203	1.9140	1.6080
0.3580	0.5471	0.7469	1.1968	1.3389	1.9477	2.1414	1.8354
0.9327	0.7434	0.5437	0.7173	0.8594	1.7445	1.9382	1.6322
0.8859	0.6966	0.4969	0.2677	0.4098	1.5701	1.7638	1.4578
0.6498	0.4605	0.3068	0.7215	0.8636	1.5076	1.7013	1.3953
0.6845	0.4952	0.2955	0.4691	0.6112	1.4963	1.6900	1.3840
0.4530	0.2637	0.0640	0.7006	0.8427	1.2648	1.4585	1.1525
0.2699	0.0806	0.1192	0.8838	1.0259	1.3200	1.5137	1.2077
0	0.1893	0.3891	1.1537	1.2958	1.5899	1.7836	1.4776
0.1893	0	0.1998	0.9644	1.1065	1.4006	1.5943	1.2883
0.3890	0.1997	0	0.7646	0.9067	1.2008	1.3945	1.0885
1.6104	1.4211	1.3020	0	0.1421	1.3024	1.4961	1.1901
1.4683	1.2790	1.1599	0.1421	0	1.1603	1.3540	1.0480
1.9410	1.7517	1.6326	2.3972	2.5393	0	0.1937	0.1123
2.1347	1.9454	1.8263	2.5909	2.7330	0.1937	0	0.3060
1.8287	1.6394	1.5203	2.2849	2.4270	0.1123	0.3060	0
2.2685	2.0792	1.9601	2.7247	2.8668	0.3275	0.1338	0.4398
2.5067	2.3174	2.1983	2.9629	3.1050	0.5657	0.3720	0.6780
2.3600	2.1707	2.0516	2.8162	2.9583	0.6255	0.4318	0.7378
2.2141	2.0248	1.9057	2.6703	2.8124	0.4796	0.2859	0.5919
2.2964	2.1071	1.9880	2.7526	2.8947	0.3554	0.1617	0.4677
2.5909	2.4016	2.2825	3.0471	3.1892	1.1359	0.9788	1.0236
2.0209	1.8316	1.7125	2.4771	2.6192	0.8309	0.8207	0.7186

1.6980	1.5087	1.3896	2.1542	2.2963	0.2430	0.4367	0.1307
2.0032	1.8139	1.6948	2.4594	2.6015	0.8258	1.0195	0.7135
1.5592	1.3699	1.2508	2.0154	2.1575	0.3818	0.5755	0.2695
1.8182	1.6289	1.5098	2.2744	2.4165	0.6408	0.8345	0.5285
2.0299	1.8406	1.7215	2.4861	2.6282	0.5749	0.5647	0.4626
2.2774	2.0881	1.9690	2.7336	2.8757	0.8224	0.8122	0.7101
2.0706	1.8813	1.7622	2.5268	2.6689	0.6156	0.6054	0.5033
2.3050	2.1157	1.9966	2.7612	2.9033	1.1150	1.1048	1.0027
1.9452	1.7559	1.6368	2.4014	2.5435	0.7678	0.9615	0.6555
1.1245	0.9352	0.8161	1.5807	1.7228	0.8165	1.0102	0.7042
1.3736	1.1843	1.0652	1.8298	1.9719	1.0656	1.2593	0.9533
2.4472	2.2579	2.1388	2.9034	3.0455	1.2698	1.4635	1.1575
2.6217	2.4324	2.3133	3.0779	3.2200	1.4443	1.5187	1.3320
2.6284	2.4391	2.3200	3.0846	3.2267	1.4510	1.4475	1.3387
2.2903	2.1010	1.9819	2.7465	2.8886	1.1129	1.1094	1.0006
2.1921	2.0028	1.8837	2.6483	2.7904	1.0147	1.0112	0.9024
2.4788	2.2895	2.1704	2.9350	3.0771	1.2888	1.2786	1.1765
1.3640	1.3784	1.2650	1.6797	1.8218	2.4658	2.6595	2.3535
1.9826	1.7933	1.6742	2.4388	2.5809	0.5276	0.5174	0.4153
3.0334	2.8441	2.7250	3.4896	3.6317	1.8560	1.9304	1.7437
2.4309	2.2416	2.1225	2.8871	3.0292	1.2409	1.2307	1.1286
2.5150	2.3257	2.2066	2.9712	3.1133	1.0600	1.0498	0.9477
0.3487	0.1594	0.0403	0.8049	0.9470	1.2411	1.4348	1.1288
0.1014	0.2907	0.4905	1.2551	1.3972	1.6913	1.8850	1.5790

Columns 25 through 32

2.7057	2.9439	2.7972	2.6513	2.7336	3.3442	2.4581	2.1352
2.5204	2.7586	2.6119	2.4660	2.5483	3.1589	2.2728	1.9499
2.4684	2.7066	2.5599	2.4140	2.4963	3.1069	2.2208	1.8979
2.5041	2.7423	2.5956	2.4497	2.5320	3.1426	2.2565	1.9336
2.3308	2.5690	2.4223	2.2764	2.3587	2.9693	2.0832	1.7603
2.3815	2.6197	2.4730	2.3271	2.4094	3.0200	2.1339	1.8110
2.0829	2.3211	2.1744	2.0285	2.1108	2.7214	1.8353	1.5124
2.4232	2.6614	2.5147	2.3688	2.4511	3.0617	2.1756	1.8527
2.0478	2.2860	2.1393	1.9934	2.0757	2.6863	1.8002	1.4773
2.2752	2.5134	2.3667	2.2208	2.3031	2.9137	2.0276	1.7047
2.0720	2.3102	2.1635	2.0176	2.0999	2.7105	1.8244	1.5015
1.8976	2.1358	1.9891	1.8432	1.9255	2.5361	1.6500	1.3271
1.8351	2.0733	1.9266	1.7807	1.8630	2.4736	1.5875	1.2646
1.8238	2.0620	1.9153	1.7694	1.8517	2.4623	1.5762	1.2533
1.5923	1.8305	1.6838	1.5379	1.6202	2.2308	1.3447	1.0218
1.6475	1.8857	1.7390	1.5931	1.6754	2.2860	1.3999	1.0770
1.9174	2.1556	2.0089	1.8630	1.9453	2.5559	1.6698	1.3469
1.7281	1.9663	1.8196	1.6737	1.7560	2.3666	1.4805	1.1576
1.5283	1.7665	1.6198	1.4739	1.5562	2.1668	1.2807	0.9578
1.6299	1.8681	1.7214	1.5755	1.6578	2.2684	1.3823	1.0594
1.4878	1.7260	1.5793	1.4334	1.5157	2.1263	1.2402	0.9173
0.3275	0.5657	0.5099	0.4796	0.3554	1.0569	0.8309	0.2430
0.1338	0.3720	0.3162	0.2859	0.1617	0.8632	0.8207	0.4367
0.4398	0.6780	0.6222	0.5919	0.4677	1.1692	0.7186	0.1307
0	0.2382	0.1824	0.2328	0.2955	0.7294	0.7676	0.5705

0.2382	0	0.4206	0.4710	0.5337	0.9676	1.0058	0.8087
0.3787	0.6169	0	0.1459	0.2701	0.5470	0.6807	0.6620
0.2328	0.4710	0.1459	0	0.1242	0.6929	0.5348	0.5161
0.2955	0.5337	0.2701	0.1242	0	0.8171	0.6590	0.5984
0.9257	1.1639	0.5470	0.6929	0.8171	0	0.9116	0.8929
0.7676	1.0058	0.6807	0.5348	0.6590	1.0303	0	0.5879
0.5705	0.8087	0.6620	0.5161	0.5984	1.2090	0.5879	0
1.0154	1.2536	0.9285	0.7826	0.9068	1.4097	0.3794	0.5828
0.7093	0.9475	0.8008	0.6549	0.7372	1.3478	0.4617	0.1388
0.8059	1.0441	0.7190	0.5731	0.6973	1.2330	0.2027	0.3978
0.5116	0.7498	0.4247	0.2788	0.4030	0.9717	0.2560	0.3319
0.7591	0.9973	0.6722	0.5263	0.6505	0.3135	0.5981	0.5794
0.5523	0.7905	0.4654	0.3195	0.4437	1.0124	0.3913	0.3726
1.0517	1.2899	0.9648	0.8189	0.9431	0.7456	0.2841	0.8720
1.0953	1.3335	1.1868	1.0409	1.1232	1.7338	0.8477	0.5248
1.1440	1.3822	1.2355	1.0896	1.1719	1.7825	0.8964	0.5735
1.3931	1.6313	1.4846	1.3387	1.4210	2.0316	1.1455	0.8226
1.4594	1.6976	1.3725	1.2266	1.3508	1.8537	0.8234	1.0268
1.4656	1.7038	1.3787	1.2328	1.3570	1.7283	0.6980	1.2013
1.3944	1.6326	1.3075	1.1616	1.2858	1.5632	0.6268	1.2080
1.0563	1.2945	0.9694	0.8235	0.9477	1.2251	0.2887	0.8699
0.9581	1.1963	0.8712	0.7253	0.8495	1.2208	0.1905	0.7717
1.2255	1.4637	1.1386	0.9927	1.1169	0.9194	0.4579	1.0458
2.7933	3.0315	2.8848	2.7389	2.8212	3.4318	2.5457	2.2228
0.4643	0.7025	0.3774	0.2315	0.3557	0.9244	0.3033	0.2846
1.8773	2.1155	1.7904	1.6445	1.7687	2.1400	1.1097	1.6130
1.1776	1.4158	1.0907	0.9448	1.0690	0.8715	0.4100	0.9979
0.9967	1.2349	0.9098	0.7639	0.8881	0.5511	0.8357	0.8170
1.5686	1.8068	1.6601	1.5142	1.5965	2.2071	1.3210	0.9981
2.0188	2.2570	2.1103	1.9644	2.0467	2.6573	1.7712	1.4483

Columns 33 through 40

2.4649	1.9964	2.2554	2.4671	3.1749	2.5078	2.7428	2.3824
2.2796	1.8111	2.0701	2.2818	2.9896	2.3225	2.5575	2.1971
2.2276	1.7591	2.0181	2.2298	2.9376	2.2705	2.5055	2.1451
2.2633	1.7948	2.0538	2.2655	2.9733	2.3062	2.5412	2.1808
2.0900	1.6215	1.8805	2.0922	2.8000	2.1329	2.3679	2.0075
2.1407	1.6722	1.9312	2.1429	2.8507	2.1836	2.4186	2.0582
1.8421	1.3736	1.6326	1.8443	2.5521	1.8850	2.1200	1.7596
2.1824	1.7139	1.9729	2.1846	2.8924	2.2253	2.4603	2.0999
1.8070	1.3385	1.5975	1.8092	2.5170	1.8499	2.0849	1.7245
2.0344	1.5659	1.8249	2.0366	2.7444	2.0773	2.3123	1.9519
1.8312	1.3627	1.6217	1.8334	2.5412	1.8741	2.1091	1.7487
1.6568	1.1883	1.4473	1.6590	2.3668	1.6997	1.9347	1.5743
1.5943	1.1258	1.3848	1.5965	2.3043	1.6372	1.8722	1.5118
1.5830	1.1145	1.3735	1.5852	2.2930	1.6259	1.8609	1.5005
1.3515	0.8830	1.1420	1.3537	2.0615	1.3944	1.6294	1.2690
1.4067	0.9382	1.1972	1.4089	2.1167	1.4496	1.6846	1.3242
1.6766	1.2081	1.4671	1.6788	2.3866	1.7195	1.9545	1.5941
1.4873	1.0188	1.2778	1.4895	2.1973	1.5302	1.7652	1.4048
1.2875	0.8190	1.0780	1.2897	1.9975	1.3304	1.5654	1.2050

1.3891	0.9206	1.1796	1.3913	2.0991	1.4320	1.6670	1.3066
1.2470	0.7785	1.0375	1.2492	1.9570	1.2899	1.5249	1.1645
0.8503	0.3818	0.6408	0.5749	1.3704	0.6156	1.1156	0.7678
1.0440	0.5755	0.8345	0.5647	1.1767	0.6054	1.1054	0.9615
0.7380	0.2695	0.5285	0.4626	1.4354	0.5033	1.0033	0.6555
1.1470	0.7093	0.9683	0.5116	1.0429	0.5523	1.0523	1.0953
1.3852	0.9475	1.2065	0.7498	1.2811	0.7905	1.2905	1.3335
1.0601	0.8008	0.8834	0.4247	0.8605	0.4654	0.9654	1.1868
0.9142	0.6549	0.7375	0.2788	1.0064	0.3195	0.8195	1.0409
1.0384	0.7372	0.8617	0.4030	1.1306	0.4437	0.9437	1.1232
1.2910	1.0317	1.1143	0.6556	0.3135	0.5203	0.7456	1.4177
0.3794	0.4617	0.2027	0.2560	0.7168	0.3913	0.2847	0.8477
0.6073	0.1388	0.3978	0.3319	1.3047	0.3726	0.8726	0.5248
0	0.4440	0.2095	0.5038	1.0962	0.6391	0.6641	0.8300
0.4685	0	0.2590	0.4707	1.1785	0.5114	0.7464	0.3860
0.2095	0.2590	0	0.2943	0.9195	0.4296	0.4874	0.6450
0.6354	0.4707	0.4587	0	0.9728	0.1353	0.5407	0.8567
0.9775	0.7182	0.8008	0.3421	0	0.2068	0.4321	1.1042
0.7707	0.5114	0.5940	0.1353	1.1081	0	0.6760	0.8974
0.6635	0.7458	0.4868	0.5401	0.4321	0.6389	0	1.1318
0.8545	0.3860	0.6450	0.8567	1.5645	0.8974	1.1324	0
0.9032	0.4347	0.6937	0.9054	1.6132	0.9461	1.1811	0.8207
1.1523	0.6838	0.9428	1.1545	1.8623	1.1952	1.4302	1.0698
0.4440	0.8880	0.6535	0.9478	1.5402	1.0831	1.1081	1.2740
0.6185	1.0625	0.8280	0.9540	1.4148	1.0893	0.9827	1.4485
0.6252	1.0692	0.8295	0.8828	1.2497	1.0181	0.8176	1.4552
0.2871	0.7311	0.4914	0.5447	0.9116	0.6800	0.4795	1.1171
0.1889	0.6329	0.3932	0.4465	0.9073	0.5818	0.4752	1.0189
0.5928	0.9196	0.6606	0.7139	0.6059	0.8127	0.1738	1.3056
2.5525	2.0840	2.3430	2.5547	3.2625	2.5954	2.8304	2.4700
0.6827	0.4234	0.5060	0.0473	1.0201	0.0880	0.5880	0.8094
1.0302	1.4742	1.2397	1.3657	1.8265	1.5010	1.3944	1.8602
0.6407	0.8717	0.6127	0.6660	0.5580	0.7648	0.1259	1.2577
1.2151	0.9558	1.0384	0.5797	0.2376	0.4444	0.6697	1.3418
1.3278	0.8593	1.1183	1.3300	2.0378	1.3707	1.6057	1.2453
1.7780	1.3095	1.5685	1.7802	2.4880	1.8209	2.0559	1.6955

Columns 41 through 48

1.5617	1.8110	3.2878	3.1561	3.0849	2.7468	2.6486	2.9166
1.3764	1.6257	3.1025	2.9708	2.8996	2.5615	2.4633	2.7313
1.3244	1.5737	3.0505	2.9188	2.8476	2.5095	2.4113	2.6793
1.3601	1.6094	3.0862	2.9545	2.8833	2.5452	2.4470	2.7150
1.1868	1.4361	2.9129	2.7812	2.7100	2.3719	2.2737	2.5417
1.2375	1.4868	2.9636	2.8319	2.7607	2.4226	2.3244	2.5924
0.9389	1.1882	2.6650	2.5333	2.4621	2.1240	2.0258	2.2938
1.2792	1.5285	3.0053	2.8736	2.8024	2.4643	2.3661	2.6341
0.9038	1.1531	2.6299	2.4982	2.4270	2.0889	1.9907	2.2587
1.1312	1.3805	2.8573	2.7256	2.6544	2.3163	2.2181	2.4861
0.9280	1.1773	2.6541	2.5224	2.4512	2.1131	2.0149	2.2829
0.7536	1.0029	2.4797	2.3480	2.2768	1.9387	1.8405	2.1085
0.6911	0.9404	2.4172	2.2855	2.2143	1.8762	1.7780	2.0460

0.6798	0.9291	2.4059	2.2742	2.2030	1.8649	1.7667	2.0347
0.4483	0.6976	2.1744	2.0427	1.9715	1.6334	1.5352	1.8032
0.5035	0.7528	2.2296	2.0979	2.0267	1.6886	1.5904	1.8584
0.7734	1.0227	2.4995	2.3678	2.2966	1.9585	1.8603	2.1283
0.5841	0.8334	2.3102	2.1785	2.1073	1.7692	1.6710	1.9390
0.3843	0.6336	2.1104	1.9787	1.9075	1.5694	1.4712	1.7392
0.4859	0.7352	2.2120	2.0803	2.0091	1.6710	1.5728	1.8408
0.3438	0.5931	2.0699	1.9382	1.8670	1.5289	1.4307	1.6987
0.8165	1.0658	1.6732	1.5289	1.4577	1.1196	1.0214	1.2894
1.0102	1.2595	1.6932	1.5187	1.4475	1.1094	1.0112	1.2792
0.7042	0.9535	1.5609	1.4166	1.3454	1.0073	0.9091	1.1771
1.1440	1.3933	1.6401	1.4656	1.3944	1.0563	0.9581	1.2261
1.3822	1.6315	1.8783	1.7038	1.6326	1.2945	1.1963	1.4643
1.2355	1.4848	1.5532	1.3787	1.3075	0.9694	0.8712	1.1392
1.0896	1.3389	1.4073	1.2328	1.1616	0.8235	0.7253	0.9933
1.1719	1.4212	1.5315	1.3570	1.2858	0.9477	0.8495	1.1175
1.4664	1.7157	1.7841	1.6096	1.5384	1.2003	1.1021	0.9194
0.8964	1.1457	0.8725	0.6980	0.6268	0.2887	0.1905	0.4585
0.5735	0.8228	1.4302	1.2859	1.2147	0.8766	0.7784	1.0464
0.8787	1.1280	0.8709	0.6964	0.6252	0.2871	0.1889	0.5928
0.4347	0.6840	1.2914	1.1597	1.0885	0.7504	0.6522	0.9202
0.6937	0.9430	1.0752	0.9007	0.8295	0.4914	0.3932	0.6612
0.9054	1.1547	1.1285	0.9540	0.8828	0.5447	0.4465	0.7145
1.1529	1.4022	1.4706	1.2961	1.2249	0.8868	0.7886	0.6059
0.9461	1.1954	1.2638	1.0893	1.0181	0.6800	0.5818	0.8498
1.1805	1.4298	1.1566	0.9821	0.8176	0.4795	0.4746	0.1738
0.8207	1.0700	0.9054	1.0799	1.3009	1.1364	1.0382	1.3062
0	0.2493	1.7261	1.5944	1.5232	1.1851	1.0869	1.3549
0.2491	0	1.9752	1.8435	1.7723	1.4342	1.3360	1.6040
1.3227	1.5720	0	0.1745	0.3955	0.7311	0.6329	1.0368
1.4972	1.7465	0.1745	0	0.2210	0.5591	0.5075	0.8648
1.5039	1.7532	1.1183	0.9438	0	0.3381	0.4363	0.6438
1.1658	1.4151	0.7802	0.6057	0.3381	0	0.0982	0.3057
1.0676	1.3169	0.6820	0.5075	0.4363	0.0982	0	0.4039
1.3543	1.6036	1.0859	0.9114	0.6438	0.3057	0.4039	0
1.6493	1.8986	3.3754	3.2437	3.1725	2.8344	2.7362	3.0042
0.8581	1.1074	1.1758	1.0013	0.9301	0.5920	0.4938	0.7618
1.9089	2.1582	0.5862	0.4117	0.6327	0.9708	0.9192	1.2765
1.3064	1.5557	1.1338	0.9593	0.6917	0.3536	0.4518	0.0479
1.3905	1.6398	1.7082	1.5337	1.4625	1.1244	1.0262	0.8435
0.4246	0.6739	2.1507	2.0190	1.9478	1.6097	1.5115	1.7795
0.8748	1.1241	2.6009	2.4692	2.3980	2.0599	1.9617	2.2297

Columns 49 through 55

0.3432	2.4198	3.5678	2.8687	3.4125	1.2177	1.1222
0.2729	2.2345	3.3825	2.6834	3.2272	1.0324	1.3075
0.5492	2.1825	3.3305	2.6314	3.1752	0.9804	1.3442
0.5849	2.2182	3.3662	2.6671	3.2109	1.0161	1.3799
0.6868	2.0449	3.1929	2.4938	3.0376	0.8428	1.2066
0.8997	2.0956	3.2436	2.5445	3.0883	0.8129	0.5657
1.0236	1.7970	2.9450	2.2459	2.7897	0.5143	0.6455

1.3639	2.1373	3.2853	2.5862	3.1300	0.8546	0.9858
0.7455	1.7619	2.9099	2.2108	2.7546	0.5598	0.9236
1.0060	1.9893	3.1373	2.4382	2.9820	0.7066	0.4594
1.1765	1.7861	2.9341	2.2350	2.7788	0.5840	1.0341
1.4120	1.6117	2.7597	2.0606	2.6044	0.5372	0.9873
0.9582	1.5492	2.6972	1.9981	2.5419	0.3471	0.7512
1.2106	1.5379	2.6859	1.9868	2.5306	0.3358	0.7859
1.2106	1.3064	2.4544	1.7553	2.2991	0.1043	0.5544
1.3381	1.3616	2.5096	1.8105	2.3543	0.0789	0.3713
1.3640	1.6315	2.7795	2.0804	2.6242	0.3488	0.1014
1.4187	1.4422	2.5902	1.8911	2.4349	0.1595	0.2907
1.2746	1.2424	2.3904	1.6913	2.2351	0.0403	0.4904
2.5766	1.3440	2.4920	1.7929	2.3367	1.2617	1.7118
2.4345	1.2019	2.3499	1.6508	2.1946	1.1196	1.5697
2.9072	0.5276	1.9406	1.2415	1.6080	1.5923	2.0424
3.1009	0.5174	1.9304	1.2313	1.4143	1.7860	2.2361
2.7949	0.4153	1.8283	1.1292	1.6730	1.4800	1.9301
3.2347	0.4643	1.8773	1.1782	1.2805	1.9198	2.3699
3.4729	0.7025	2.1155	1.4164	1.5187	2.1580	2.6081
3.3262	0.3774	1.7904	1.0913	1.0981	2.0113	2.4614
3.1803	0.2315	1.6445	0.9454	1.2440	1.8654	2.3155
3.2626	0.3557	1.7687	1.0696	1.3682	1.9477	2.3978
3.5571	0.6083	2.0213	0.8715	0.5511	2.2422	2.6923
2.9871	0.3033	1.1097	0.4106	0.9544	1.6722	2.1223
2.6642	0.2846	1.6976	0.9985	1.5423	1.3493	1.7994
2.9694	0.5511	1.1081	0.6407	1.3338	1.6545	2.1046
2.5254	0.4234	1.5714	0.8723	1.4161	1.2105	1.6606
2.7844	0.3416	1.3124	0.6133	1.1571	1.4695	1.9196
2.9961	0.0473	1.3657	0.6666	1.2104	1.6812	2.1313
3.2436	0.2948	1.7078	0.5580	0.2376	1.9287	2.3788
3.0368	0.0880	1.5010	0.8019	1.3457	1.7219	2.1720
3.2712	0.5874	1.3938	0.1259	0.6697	1.9563	2.4064
2.9114	0.8094	1.4916	1.2583	1.8021	1.5965	2.0466
2.0907	0.8581	2.0061	1.3070	1.8508	0.7758	1.2259
2.3398	1.1072	2.2552	1.5561	2.0999	1.0249	1.4750
3.4134	0.9951	0.5862	1.0847	1.7778	2.0985	2.5486
3.5879	1.0013	0.4117	0.9127	1.6524	2.2730	2.7231
3.5946	0.9301	1.3555	0.6917	1.4873	2.2797	2.7298
3.2565	0.5920	1.0174	0.3536	1.1492	1.9416	2.3917
3.1583	0.4938	0.9192	0.4518	1.1449	1.8434	2.2935
3.4450	0.7612	1.3231	0.0479	0.8435	2.1301	2.5802
0	2.5074	3.6554	2.9563	3.5001	1.3053	1.4654
2.9488	0	1.4130	0.7139	1.2577	1.6339	2.0840
3.9996	1.4130	0	1.3244	2.0641	2.6847	3.1348
3.3971	0.7133	1.3710	0	0.7956	2.0822	2.5323
3.4812	0.5324	1.9454	0.7956	0	2.1663	2.6164
1.3149	1.2827	2.4307	1.7316	2.2754	0	0.4501
1.4654	1.7329	2.8809	2.1818	2.7256	0.4502	0

>>

Lampiran 4. Bukti *Accepted Paper*

24/10/2020

Email Universitas Bengkulu - (ICMSDS 2020) Editor Decision



Zulfa Memi Mayasari <zulflamm@unib.ac.id>

[ICMSDS 2020] Editor Decision

1 pesan

Secretariat of ICMSDS 2020 <statsid.journals@gmail.com>

21 September 2020 10:06

Kepada: Zulfa Memi Mayasari <zulflamm@unib.ac.id>, Mulla Astuti <mulla_astuti@unib.ac.id>, Nur Afandi <af_fan@yahoo.com>

Dear Zulfa Memi Mayasari, Mulla Astuti, Nur Afandi:

We are pleased to inform you that your abstract with the following details:

Paper ID : 96

Author(s) : Zulfa Memi Mayasari, Mulla Astuti, Nur Afandi

Title : Vertical Evacuation Planning to Reduce a Risk of a Tsunami Disaster in Teluk Segara District, Bengkulu City

It is accepted to be presented to International Conference on Mathematics, Statistics, and Data Science 2020, and your full paper will be included in the selection for proceeding. For full paper submission, you should submit using our OJS on "<https://icmsds.stats.id/reg/index.php/icmsds/authorDashboard/submission/96>". Please kindly by scrolling down the page, you will find a panel for Revisions. Use the "Upload File" link to upload your manuscript.

In addition, you may now proceed with the payment. Your registration fee can be seen on <https://icmsds.stats.id/> or it should be equal to 350.000 IDR if you transfer until September 30, 2020 (early bird). Please note that there will be an additional 900.000 IDR publication fee for IOP Proceeding (optional).

You are welcome to pay the publication fee along with the registration fee, or later upon the acceptance notification on the IOP proceeding. Furthermore, the publication fee paid on registration will be refunded if the paper is not published in the IOP proceeding.

The fees shall be transferred to:

Name of Bank : Bank BNI

Account Number : 3898498

Holder : Rektor IPB c.q. Kerjasama FMIPA

SWIFT Code : BINIDJABGR

Please kindly upload your proof of payment and student/ISI/IndoMS/ICORA ID (if you haven't uploaded it at the previous pre-registration form) using your OJS account.

Please do not hesitate to contact us if you need further assistance. Looking forward to seeing you soon at ICMSDS 2020.

Kindly regards,

Secretariat of ICMSDS 2020

International Conference on Mathematics, Statistics, and Data Science 2020

Lampiran 5. Sertifikat Seminar

Department of Statistics
Department of Mathematics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
IPB University

Supported by :

ICMSDS-2020
<https://icmsds.stats.id>

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

This is to certify that :




Zulfia Memi Mayasari


has participated as :


Contributing Speaker (Oral Presenter)

in

**INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICS,
STATISTICS AND DATA SCIENCE**
Optimal Data Utilization to Reach Brighter Future
November 11-12, 2020

  
digitally signed
ICMSDS-2020
<https://icmsds.stats.id>
Dr. Agus M. Soleh, M.T
The Chairman of ICMSDS


Dr. Anang Kurnia, M.Si
Head of Department of Statistics


Dr. Ir. Endar H. Nugrahani, M.S
Head of Department of Mathematics

Vertical evacuation planning to reduce a risk of a tsunami disaster in teluk segara district, bengkulu city

Zulfia Memi Mayasari¹, Mulia Astuti¹, Nur Afandi¹ and Yulian Fauzi¹

¹Universitas Bengkulu, Jl. WR Supratman, Bengkulu 38125, Indonesia

E-mail: zulfiamm@unib.ac.id; yulianfauzi@unib.ac.id

Abstract. Bengkulu Province is classified as a province that is very prone to earthquakes and tsunamis. In order to minimize the impact of the tsunami hazard, preparedness to mitigate the tsunami hazard is needed. One of the ways is by providing information about the optimal evacuation route, assembly points and evacuation shelter buildings (ESB) and ESB capacity. The purpose of this study is to obtain an optimal evacuation route model to minimize the impact of the tsunami hazard in Teluk Segara District, Bengkulu City. The determination of the minimum evacuation route using the Floyd Warshall algorithm based on the minimum time of evacuation. In determining the minimum evacuation time, several factors are considered i.e. road width, road density, road capacity, walking speed of evacuees and group walking speed. This research produces the horizontal and vertical tsunami evacuation routes equipped with ESB capacities.

1. Introduction

Bengkulu Province is located on the west coast of Sumatra Island with Bengkulu as the capital. The location of Bengkulu Province between the junction of two very active plates in the world, namely the Eurasian Continent plate and the Indo-Australian Ocean plate along the west coast of Sumatra. This is why Bengkulu Province is classified as a province that is very prone to earthquakes and tsunamis. Bengkulu Province has experienced several earthquakes with the potential for a tsunami, including earthquakes in 1811 and 1833 with a magnitude of 8.8 on the Richter scale [1]. In the decade 2000-2010, there have been twice a large magnitude earthquake and potential for a tsunami, on June 4th, 2000 with a magnitude of 7.3 Mw and on September 12th, 2007 with a magnitude of 7.9 Mw [2]. From this data it can be concluded that Bengkulu is very vulnerable to tsunami hazards so that it is one reason that tsunami hazard mitigation readiness is urgently needed.

In evacuating the tsunami hazard, there are two methods that can be done: (a) horizontal evacuation, moving residents to a safe place based on the distance or higher areas such as hills, (b) vertical evacuation, evacuating people to the nearest taller building which is safe from the tsunami, known as the Evacuation Shelter Building (ESB) [3], [4].

Research on evacuation planning in Bengkulu City has produced a horizontal evacuation route model in some coastal areas of Bengkulu City [5]. Based on the results of this study, there are several locations that require a long evacuation time to reach predetermined assembly points. In the coastal area of Bengkulu, especially Teluk Segara District, there are 5 clusters of 48 clusters that take more than 15 minutes to the assembly point where 15 minutes is the time available after the tsunami early warning set by the government to arrive at a safe place [5]. Some of these clusters are located in Sumur Melele and Kampung Kelawi Subdistrict in Teluk Segara District, where Sumur Melele is included in the high risk category tsunami hazard, densely populated and directly adjacent to the Indian Ocean [6]. Therefore, a vertical evacuation location that can be reached in a shorter time is needed.

In this study, a vertical evacuation plan was made to complement the horizontal evacuation in [5] by providing information about ESB and its capacity to accommodate the surrounding

community in facing the tsunami hazard in Teluk Segara District, where Teluk Segara is a district in the city of Bengkulu which is prone to tsunami disaster [7].

2. Basic Theory

2.1. Floyd Warshall algorithm

One algorithm that is quite popular for finding the shortest path is the Floyd Warshall algorithm. This algorithm is quite popular because the level of accuracy always shows a value of 100%, but this algorithm is quite complicated because the number of iterations that must be done depends on the number of points on the path, so the use of this algorithm for a large number of points must be accompanied by the help of computer programming [8]. This algorithm calculates the smallest weight of all paths connecting a pair of points and does it all at once for all point-by-point pairs until it reaches the destination point with the minimum number of weights [9]. The steps in the Floyd Warshall algorithm can be seen in [5].

2.2. Tsunami evacuation methods

In evacuation, the important principle is to ensure the safety of the people when moving from a dangerous place to a safe place [10]. In essence, the main strategy in evacuation is to save. There are two methods of evacuating from a dangerous tsunami zone to a safe place, namely: horizontal evacuation and vertical evacuation [3], [4]. Horizontal evacuation is carried out if the time available between tsunami early warning and arrival is sufficient for the community to evacuate to higher ground. In addition, the topography of the area where there are many hills also allows for horizontal evacuation. In coastal area, as an alternative to horizontal evacuation, we need vertical evacuation. This is because usually the population and building density are high and limited available evacuation time in coastal area [4], [10]. In vertical evacuation against tsunami hazards, people are directed to the nearest evacuation building in their vicinity by walking or running through a network of roads, pedestrian paths, or passages within the limited evacuation time. One alternative that can be used as a vertical evacuation location is the Evacuation Shelter Building (ESB), the building as a destination for people to save from tsunami in vertical evacuation.

In planning and determining the ESB, the most important thing to pay attention is that the building must be earthquake resistant and have the floor that is higher than the tsunami inundation level. The ESB should be located within accessible distance to the community and along a road that is accessible to the community. ESB must have the following conditions [4]:

1. The structure of the building must be earthquake and tsunami resistant because this building is expected to last until after the tsunami.
2. The building usually a multi-storey, so that the height of the floor building is higher than the height of the wave.
3. Design function, because the tsunami period is quite long, there is no building that functions only as an ESB in order to save space and costs.
4. The building must be large enough to accommodate many people.
5. Horizontal access, the buildings should be located in such a place that all refugees can reach it within the time available.
6. Vertical access, the buildings must have adequate vertical access such as stairs or inclines.

2.3. Building capacity

The ESB capacity can be calculated based on the following calculations and table [4], [11] :

$$ESBC = (CS \times BA \times NrF) / SpP \quad (1)$$

Information:

ESBC : Capacity of evacuation shelter building (number of person)

CS : Score capacity (%)

BA : Area of building (m^2)

NrF : Number of floor

SpP : Spaces needed for one person (m^2)

Table 1. The capacity of evacuation shelter building types

Building type	Capacity of Evacuation Shelter Building
Mosque/worship	78% * BA/ $1m^2$
School	30% * BA/ $1m^2$
Office	23,6% * BA/ $1m^2$
Market building/mall	23% * BA/ $1m^2$
Hotel	26,3% * BA/ $1m^2$
Hall/gallery	100% * BA/ $1m^2$

Source:[4], [11]

2.4. Tsunami Early Warning System-TEWS

Tsunami Early Warning System (TEWS) is a system for detecting tsunamis and announcing warnings to prevent loss of life and property [10]. TEWS has been developed by the Indonesian government with assistance from donor countries [6]. TEWS in Indonesia is known as InaTEWS which is directly controlled by the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) in Jakarta. Using this InaTEWS, BMKG can send a tsunami warning in case of an earthquake that has the potential to cause a tsunami. This tsunami warning system only provides a short time for residents to search for and reach the evacuation site.

2.5. Evacuation time

Evacuation time is defined as the remaining time it takes for refugees to evacuate from the time BMKG officially announces a tsunami early warning until the tsunami waves arrive at the coastline [12]. The more refugees who can reach a safe place during this evacuation time, the more people who can be saved from the tsunami disaster. Based on various study documents, as well as the ability of the tsunami early warning system, the average response time of the community to carry out an evacuation is 7 minutes after an earthquake occurs [4], [10]. In this study, the calculation of evacuation time is influenced by several factors including: road width, road density, number of pedestrians in groups and the walking speed of refugees. Determination of the walking speed of refugees based on the Institute of Fire Safety & Disaster Preparedness (1987) after Sugimoto et al, (2003) in [10] uses the following formula:

$$V = (C0/C1) \times Vs \quad (2)$$

$$C0 = W/S \text{ (round-in value)} \quad (3)$$

$$C1 = W/S \text{ (round-up value)} \quad (4)$$

Information:

$C0$: The road base capacity

$C1$: The road actual capacity during disaster

V : Walking actual speed during disaster (m/sec)

Vs : Walking speed a group of elderly person during disaster ($0,751 m/sec$)

W : The road width (m)

S : Person space requirement ($0,625 m^2$)

3. Results and discussion

3.1. Road network graph

In this study, there are 48 clusters (cluster 1,2, ..., 48) and 3 assembly points (A, B, C), data of road networks and horizontal evacuation routes with equipped with travel time were obtained from [5] as shown in the following figure.

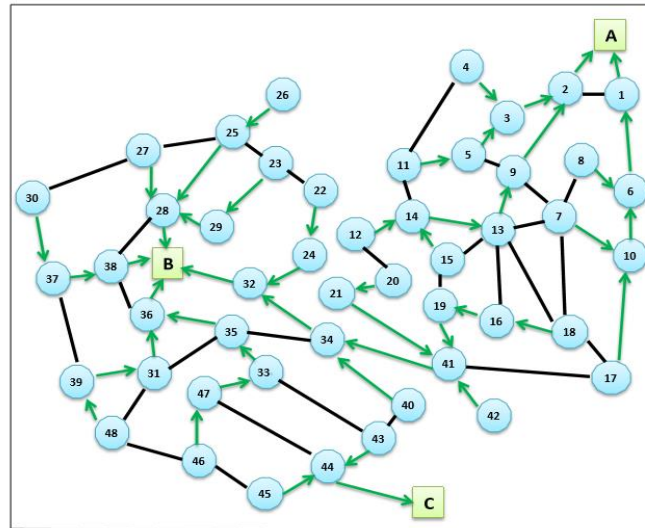


Figure 1. Horizontal evacuation route
Source [5]

From each cluster to the assembly point, the travel time is calculated using the Floyd Warshall algorithm. The following table shows the travel time in Figure 1.

Table 2. Travel time

C	Assembly Point	Travel time (min)	C	Assembly Point	Travel time (min)	C	Assembly point	Travel time (min)	C	Assembly point	Travel time (min)
1	A	3,44	13	A	10,10	25	B	5,23	37	B	3,58
2	A	2,73	14	A	12,63	26	B	7,79	38	B	0,99
3	A	5,69	15	A	14,93	27	B	4,47	39	B	6,47
4	A	6,01	16	B	16,15	28	B	2,90	40	B	9,56
5	A	7,18	17	A	15,64	29	B	4,23	41	B	10,74
6	A	12,15	18	B	17,01	30	B	6,95	42	B	13,86
7	A	12,62	19	B	14,87	31	B	3,42	43	C	6,63
8	A	12,6	20	B	15,71	32	B	3,56	44	C	4,76
9	A	7,80	21	B	14,17	33	B	6,10	45	C	7,16
10	A	11,36	22	B	6,22	34	B	5,30	46	B	6,86
11	A	12,43	23	B	5,96	35	B	3,85	47	B	5,80
12	A	17,04	24	B	4,99	36	B	0,53	48	B	8,34

Information:
C : Cluster

3.2. Horizontal evacuation route analysis

Bengkulu Province has the potential for a tsunami event with a maximum height of 8m with a tsunami arrival time of 20 minutes [12]. Assuming that the community response to carry out an evacuation is 7 minutes after the earthquake occurred [4], [10], this means that the community only has 13 minutes to evacuate to a safe place. Based on Table 2, it can be seen that there are 9 clusters that require an evacuation time of more than 13 minutes to reach an assembly point so that an alternative assembly place is needed for these nine clusters in order to reach a safe place in less than 13 minutes. The clusters are 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 and 42.

3.3. Determination and analysis of buildings and buildings location that can be used as ESB and their capacities.

Determination and analysis of buildings and buildings location that can be used as ESB and ESB location and their capacities are carried out based on data of multi-storey buildings in the study area.

Based on a survey conducted in the area around the 9 clusters (clusters 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 and 42), there are several storey buildings located around the 9 clusters, but by considering the building requirements that can be used as ESB based on [4], one of the buildings that can be used as an ESB is the SMPN 3 building in Bengkulu City.

The SMPN 3 building is a two-floors school building which area of a floor approximately $\pm 950m^2$. This building looks strong and located on the main road making it easier for horizontal access, and there are stairs that can be used to get to the 2nd floor so vertical access is very easy to do. Based on Table 1, the scoring capacity of the school building is 30% and according to [3], to accommodate 1 person it takes an area of $1m^2$, then using equation 1 can be calculated the capacity of the SMPN 3 building is $\left(\frac{0,3 \times 950m^2 \times (2-1)}{1m^2}\right) = 285$. This means that the capacity of the SMPN 3 building is 285 people. However, assuming full capacity and to accommodate 1 person, an area of $1m^2$ is required, then the capacity of the SMPN 3 building can accommodate $\frac{950m^2}{1m^2/orang} = 950$ people.

3.4. Designing a road network graph model and vertical evacuation route in the research area

Analysis and study of road networks, assembly points and ESB are modeled using graph theory. The road network graph and horizontal evacuation route obtained from [5], with the addition the ESB that have been determined as a vertex and road network infrastructure as edges, are made into a new road network graph. Between the adjacent vertices is weighted with the travel time. In calculating the travel time from each cluster to ESB, several factors which are taken into consideration include: road width, road density, number of pedestrians in groups and the walking speed of refugees which are applied to equations (2), (3) and (4). The determination of evacuation routes from 9 clusters to ESB (denoted as S1) uses the Floyd Warshall algorithm. The travel time and evacuation routes from 9 clusters to ESB are as shown in the following table.

Table 3. Travel time and evacuation route

No	C	ESB	Distance (m)	Travel time (min)	Evacuation route
1	12	S1	415,37	10,75	12 → 15 → 19 → 16 → S1
2	15	S1	215,58	5,58	15 → 19 → 16 → S1
3	16	S1	40,42	1,05	16 → S1
4	17	S1	230,90	5,98	17 → 18 → S1
5	18	S1	113,47	2,94	18 → S1
6	19	S1	166,21	4,30	19 → 16 → S1
7	20	S1	252,37	6,53	20 → 16 → S1
8	21	S1	431,54	11,17	21 → 20 → 16 → S1
9	42	S1	541,47	12,87	42 → 17 → 18 → S1

The following figure shows the clusters, the assembly points and ESB in research area.

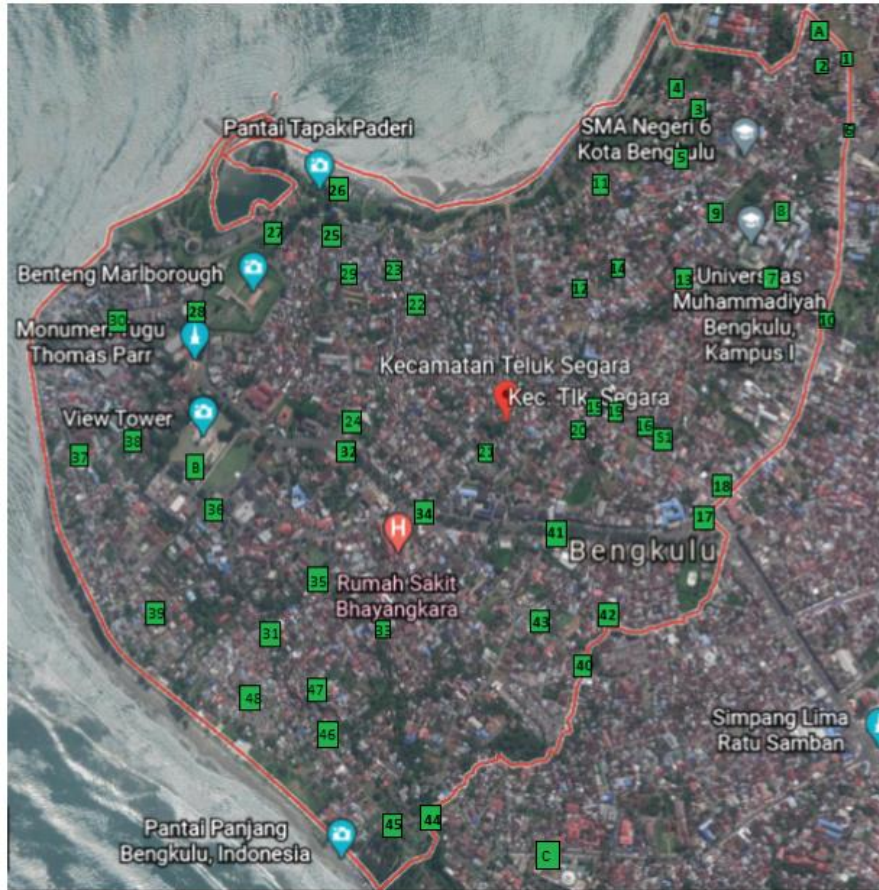


Figure 2. Clusters, assembly points and ESB in research area

The horizontal and vertical evacuation route models in Teluk Segara District, Bengkulu City are equipped with the required minimum evacuation time as shown in the following table.

Table 4. Horizontal and vertical evacuation route

No	C	AP/ESB	Travel time (min)	Evacuation route
1	1	A	3,44	1 → A
2	2	A	2,73	2 → A
3	3	A	5,69	3 → 2 → A
4	4	A	6,01	4 → 3 → 2 → A
5	5	A	7,18	5 → 3 → 2 → A
6	6	A	12,15	6 → 1 → A
7	7	A	12,62	7 → 10 → 6 → 1 → A
8	8	A	12,60	8 → 6 → 1 → A
9	9	A	7,80	9 → 2 → A
10	10	A	11,36	10 → 6 → 1 → A
11	11	A	12,43	11 → 5 → 3 → 2 → A
12	12	S1	10,75	12 → 15 → 19 → 16 → S1
13	13	A	10,10	13 → 9 → 2 → A
14	14	A	12,63	14 → 13 → 9 → 2 → A
15	15	S1	5,58	15 → 19 → 16 → S1
16	16	S1	1,05	16 → S1
17	17	S1	5,98	17 → 18 → S1
18	18	S1	2,94	18 → S1

19	19	S1	4,30	19 → 16 → S1
20	20	S1	6,53	20 → 16 → S1
21	21	S1	11,17	21 → 20 → 16 → S1
22	22	B	6,22	22 → 24 → 32 → B
23	23	B	5,96	23 → 29 → 28 → B
24	24	B	4,99	24 → 32 → B
25	25	B	5,23	25 → 28 → B
26	26	B	7,79	26 → 25 → 28 → B
27	27	B	4,47	27 → 28 → B
28	28	B	2,90	28 → B
29	29	B	4,23	29 → 28 → B
30	30	B	6,95	30 → 37 → 38 → B
31	31	B	3,42	31 → 36 → B
32	32	B	3,56	32 → B
33	33	B	6,10	33 → 35 → 36 → B
34	34	B	5,30	34 → 32 → B
35	35	B	3,85	35 → 36 → B
36	36	B	0,53	36 → B
37	37	B	3,58	37 → 38 → B
38	38	B	0,99	38 → B
39	39	B	6,47	39 → 31 → 36 → B
40	40	B	9,56	40 → 34 → 32 → B
41	41	B	10,74	41 → 34 → 32 → B
42	42	S1	12,87	42 → 17 → 18 → S1
43	43	C	6,63	43 → 44 → C
44	44	C	4,76	44 → C
45	45	C	7,16	45 → 44 → C
46	46	B	6,86	46 → 47 → 33 → 35 → 36 → B
47	47	B	5,80	47 → 33 → 35 → 36 → B
48	48	B	8,34	48 → 39 → 31 → 36 → B

Information:

C : Cluster

AP : Assembly point

According to Table 4, the horizontal and vertical evacuation route models in Teluk Segara District, Bengkulu City can be seen in Figure 3.



Figure 3. The horizontal and vertical evacuation route models in Teluk Segara District, Bengkulu City

4. Conclusion

The evacuation route resulting from this study is an evaluation of the evacuation route in [5]. In [5] obtained a horizontal evacuation route, where there are clusters that require an evacuation time of more than 13 minutes. This time of 13 minutes is assumed to be based on the time of arrival of the tsunami after deducting the average response time of the community to carry out an evacuation is 7 minutes after the earthquake occurred. The vertical and horizontal evacuation routes produced in this study indicate that no cluster takes more than 13 minutes to reach the assembly point or ESB.

5. Acknowledgements

Thank you very much to the Universitas Bengkulu which has funded this research through the Penelitian Unggulan Universitas scheme with contract number 1979/UN30.15/PG/2020.

References

- [1] BPBD Propinsi Bengkulu 2010 *Atlas Peta Resiko Bencana Propinsi Bengkulu* (Bengkulu: BPBD)
- [2] BNPB 2016 *Risiko Bencana Indonesia (RBI)* (Jakarta: BNPB)
- [3] Dewi RS 2012 A-Gis based approach of an evacuation model for tsunami risk reduction *Journal of integrated disaster risk Management* 2 108

- [4] Budiarjo A 2006 Evacuation shelter building planning for tsunami-prone area; a case study of Meulaboh City, Indonesia *Thesis* International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede Netherlands
- [5] Mayasari ZM, Rafflesia U, Astuti M and Fauzi Y 2019 Mathematical modeling approach of an evacuation model for tsunami risk reduction in Bengkulu *J. Phys.: Conf. Ser.* **1188** 012094
- [6] Triatmadja R and Nasution SS 2014 Evaluation of tsunami evacuation routes at Bengkulu City Indonesia using numerical simulations *ASEAN Engineering Journal* **3** 2
- [7] Fauzi Y, Suwarsono and Mayasari ZM 2014 The run up modelling in Bengkulu using the spatial interpolation of kriging technique *Forum Geografi* **28** 103
- [8] Fanani L, Adams JEM and Wicaksono SA 2012 Rancang bangun aplikasi web pencarian rute terpendek antar gedung di kampus menggunakan algoritma Floyd-Warshall *Journal Basic Science and Technology* **1** 30
- [9] Siang JJ 2002 *Matematika Diskrit dan Aplikasinya pada Ilmu Komputer* (Yogyakarta: Amikom)
- [10] Dewi RS 2010 A-Gis based approach to the selection of evacuation shelter buildings and routes tsunami risk reduction: a case study of Cilacap coastal area Indonesia *Thesis* Gadjah Mada University University of Twente
- [11] Yunarto, Anwar HZ and Wibowo YS 2015 Perencanaan evakuasi vertikal di Pulau Sarangan Propinsi Bali sebagai alternatif pengurangan risiko bahaya tsunami *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* **6** 107
- [12] BNPB 2011 *Kajian risiko bencana tsunami* (Jakarta: BNPB)

DRAFT BUKU

Hasil Penelitian Unggulan Universitas 2020

**Pengembangan Model Matematika untuk
Perencanaan Evakuasi Tsunami Sebagai
Upaya Mitigasi Bencana di Kecamatan Teluk
Segara Kota Bengkulu**

Tim Penyusun

Zulfia Memi Mayasari, Mulia Astuti, Nur Afandi

Edi Alamsyah, Ariento Surya

**Universitas Bengkulu
2020**

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL
KATA PENGANTAR
DAFTAR ISI

BAB I. GAMBARAN UMUM MENGENAI PERENCANAAN MITIGASI BENCANA

- 1.1. Pengertian Bencana
- 1.2. Mitigasi Bencana
- 1.3. Kebijakan dan Strategi Mitigasi Bencana
 - 1.3.1. Kebijakan mitigasi bencana
 - 1.3.2. Strategi mitigasi bencana
- 1.4. Mitigasi Terhadap Bencana Tsunami
 - 1.4.1. Tsunami
 - 1.4.2. Tanda-tanda bencana tsunami
 - 1.4.3. Dampak bahaya tsunami
 - 1.4.4. Langkah-langkah dalam mitigasi bencana tsunami

BAB II. *GRAPH*

- 2.1. Pengertian *Graph*
- 2.2. Jenis-Jenis *Graph*
- 2.3. Terminologi *Graph*

BAB III. PERSOALAN LINTASAN TERPENDEK

- 3.1. Pengertian Lintasan Terpendek
- 3.2. Macam-Macam Persoalan Lintasan Terpendek
- 3.3. Faktor-Faktor yang Memengaruhi dalam Penentuan Lintasan Terpendek

BAB IV. METODE-METODE UNTUK MENYELESAIKAN PERSOALAN LINTASAN TERPENDEK

- 4.1. Algoritma Floyd Warshall
- 4.2. Algoritma Dijkstra
- 4.3. Algoritma Bellman Ford
- 4.4. Algoritma Fuzzy Dijkstra

BAB V. MODEL MATEMATIKA UNTUK PERENCANAAN EVAKUASI TSUNAMI

BAB VI. BEBERAPA CONTOH KASUS DALAM PERENCANAAN EVAKUASI TSUNAMI

- 6.1. Contoh Kasus 1
- 6.2. Contoh Kasus 2
- 6.3. Contoh Kasus 3

BAB I

GAMBARAN UMUM MENGENAI PERENCANAAN MITIGASI BENCANA

Pada bagian ini dijelaskan mengenai pengertian bencana, mitigasi bencana serta kebijakan dan strategi mitigasi bencana. Selain itu diberikan pula penjelasan mendalam mengenai mitigasi terhadap bencana tsunami

1.1. Pengertian Bencana

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), bencana adalah sesuatu yang menyebabkan (menimbulkan) kesusahan, kerugian atau penderitaan. Bencana juga diartikan sebagai kejadian mendadak yang menyebabkan banyak kerusakan, seperti kebakaran, badai atau kecelakaan yang sangat buruk. Berdasarkan situs resmi Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam, faktor nonalam maupun faktor manusia. Bencana dapat mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Berdasarkan UU No. 24 Tahun 2007, bencana dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Bencana alam, adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa/serangkaian peristiwa oleh alam. Bencana alam dapat berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan dan tanah longsor.
2. Bencana nonalam, adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa/serangkaian peristiwa nonalam. Bencana nonalam dapat berupa kegagalan teknologi, kegagalan modernisasi, epidemi dan wabah penyakit.
3. Bencana sosial, adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa/serangkaian peristiwa oleh manusia. Bencana sosial dapat berupa konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat dan teror.

Berdasarkan situs resmi *The World Confederation for Physical Therapy (WCPT)*, bencana dapat dibedakan menjadi empat jenis yaitu:

1. Bencana alam (*natural disaster*), termasuk banjir, angin topan, gempa bumi dan letusan gunung berapi yang berdampak langsung pada kesehatan manusia dan dampak sekunder yang menyebabkan kematian lebih lanjut dan menderita misalnya banjir, tanah longsor, kebakaran dan tsunami.
2. Keadaan darurat lingkungan (*environmental emergencies*), termasuk kecelakaan teknologi atau industri, biasanya melibatkan produksi, penggunaan atau transportasi material berbahaya dan terjadi dimana material ini diproduksi, digunakan atau diangkut dan kebakaran hutan yang disebabkan oleh manusia.
3. Keadaan darurat kompleks (*complex emergencies*), melibatkan perusakan otoritas, penjarahan dan serangan terhadap instalasi strategis, termasuk situasi konflik perang.
4. Kedaruratan pandemik (*pandemic emergencies*), yaitu kondisi tiba-tiba timbul penyakit menular yang memengaruhi kesehatan, mengganggu layanan bisnis, membawa biaya ekonomi dan sosial.

Bencana alam yang terjadi di Indonesia, disebabkan oleh berbagai faktor di antaranya:

1. Posisi geografis Indonesia yang diapit oleh dua samudera besar yaitu Samudra Hindia dan Samudra Pasifik.
2. Posisi geologis Indonesia pada pertemuan tiga lempeng utama dunia yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik.
3. Kondisi permukaan wilayah Indonesia (*relief*) yang sangat beragam.

1.2. Mitigasi Bencana

Mitigasi didefinisikan sebagai upaya yang ditujukan untuk mengurangi dampak dari bencana. Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (UU No. 24 Tahun 2007).

Tujuan dilakukannya mitigasi bencana antara lain:

1. Mengurangi dampak yang ditimbulkan, khususnya bagi penduduk.
2. Sebagai landasan (pedoman) untuk perencanaan pembangunan.
3. Meningkatkan pengetahuan masyarakat dalam menghadapi serta mengurangi dampak/resiko bencana, sehingga masyarakat dapat hidup dan bekerja dengan aman.

Menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 33 Tahun 2006, ada empat hal penting dalam mitigasi bencana, yaitu :

1. Tersedia informasi dan peta kawasan rawan bencana untuk tiap jenis bencana.
2. Sosialisasi untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat dalam menghadapi bencana, karena bermukim di daerah rawan bencana.
3. Mengetahui apa yang perlu dilakukan dan dihindari, serta mengetahui cara penyelamatan diri jika bencana timbul.
4. Pengaturan dan penataan kawasan rawan bencana untuk mengurangi ancaman bencana.

Dalam upaya mitigasi bencana, berbagai prinsip yang harus diperhatikan antara lain:

1. Memahami bahwa bencana dapat diprediksi secara alamiah dan saling berkaitan antara satu bencana dengan bencana lainnya sehingga perlu dievaluasi terus-menerus.
2. Upaya mitigasi bencana harus memiliki persepsi yang sama baik dari aparat pemerintahan ataupun masyarakatnya.
3. Upaya preventif harus diutamakan untuk meminimalisir dampak bencana.
4. Upaya mitigasi bencana terkoordinir secara terpadu bagi aparat ataupun masyarakatnya.

1.3. Kebijakan dan Strategi Mitigasi Bencana

1.3.1. Kebijakan mitigasi bencana

Berbagai kebijakan yang perlu ditempuh dalam mitigasi bencana antara lain :

1. Dalam setiap upaya mitigasi bencana perlu membangun persepsi yang sama bagi semua pihak baik jajaran aparat pemerintah maupun segenap unsur masyarakat yang ketentuan langkahnya diatur dalam pedoman umum, petunjuk pelaksanaan dan prosedur tetap yang dikeluarkan oleh instansi yang bersangkutan sesuai dengan bidang tugas unit masing-masing.
2. Pelaksanaan mitigasi bencana dilaksanakan secara terpadu terkoordinir yang melibatkan seluruh potensi pemerintah dan masyarakat.
3. Upaya preventif harus diutamakan agar kerusakan dan korban jiwa dapat diminimalkan.

4. Penggalangan kekuatan melalui kerjasama dengan semua pihak, melalui pemberdayaan masyarakat serta kampanye.

1.3.2.Strategi mitigasi bencana

Untuk melaksanakan kebijakan dikembangkan beberapa strategi sebagai berikut:

1. Pemetaan.

Dalam strategi mitigasi, langkah yang pertama harus dilakukan adalah pemetaan daerah rawan bencana. Saat ini peta rawan bencana telah dikembangkan pada berbagai sektor. Peta rawan bencana tersebut sangat berguna bagi pengambil keputusan terutama dalam antisipasi kejadian bencana alam. Meskipun demikian sampai saat ini penggunaan peta ini belum dioptimalkan karena beberapa hal. Kurang optimalnya penggunaan peta rawan bencana ini disebabkan oleh: a. Belum seluruh wilayah di Indonesia telah dipetakan, b. Peta yang dihasilkan belum tersosialisasi dengan baik, c. Peta bencana belum terintegrasi, d. Peta bencana yang dibuat memakai peta dasar yang berbeda-beda sehingga menyulitkan dalam proses integrasinya.

2. Pemantauan.

Jika sewaktu-waktu terjadi bencana, penyelamatan dapat dilakukan dengan mudah jika tingkat kerawanan telah diketahui secara dini. Pemantauan di daerah vital dan strategis secara jasa dan ekonomi dilakukan di beberapa kawasan rawan bencana.

3. Penyebaran informasi.

Informasi yang sudah ada, harus disebarluaskan dengan tujuan meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana geologi di suatu kawasan tertentu. Penyebaran informasi dapat dilakukan melalui berbagai cara, misalnya dengan memberikan poster dan leaflet tentang tata cara mengenali, mencegah dan penanganan bencana kepada pemerintah kabupaten/kota dan provinsi di seluruh Indonesia yang rawan bencana. Cara lain yang dapat dilakukan adalah memberikan informasi ke media cetak dan elektronik. Koordinasi pemerintah daerah dalam hal penyebaran informasi diperlukan mengingat negara Indonesia yang sangat luas.

4. Sosialisasi dan penyuluhan.

Sosialisasi dan penyuluhan tentang segala aspek kebencanaan kepada SATKOR-LAK PB, SATLAK PB, dan masyarakat bertujuan meningkatkan kewaspadaan dan kesiapan menghadapi bencana jika sewaktu-waktu terjadi. Hal penting yang perlu diketahui masyarakat dan pemerintah daerah ialah mengenai hidup harmonis dengan

alam di daerah bencana, apa yang perlu ditakukan dan dihindarkan di daerah rawan bencana, dan mengetahui cara menyelamatkan diri jika terjadi bencana.

5. Pelatihan/Pendidikan

Pelatihan difokuskan kepada tata cara pengungsian dan penyelamatan jika terjadi bencana. Tujuan latihan lebih ditekankan pada alur informasi dari petugas lapangan, pejabat teknis, SATKORLAK PB, SATLAK PB dan masyarakat sampai ke tingkat pengungsian dan penyelamatan korban bencana. Dengan pelatihan ini terbentuk kesiagaan tinggi menghadapi bencana akan terbentuk.

6. Peringatan Dini

Peringatan dini dimaksudkan untuk memberitahukan tingkat kegiatan hasil pengamatan secara kontinu di suatu daerah rawan dengan tujuan agar persiapan secara dini dapat dilakukan guna mengantisipasi jika sewaktu-waktu terjadi bencana. Peringatan dini tersebut disosialisasikan kepada masyarakat melalui pemerintah daerah dengan tujuan memberikan kesadaran masyarakat dalam menghindari diri dari bencana. Peringatan dini dan hasil pemantauan daerah rawan bencana berupa saran teknis dapat berupa antara lain pengalihan jalur jalan (sementara atau seterusnya), pengungsian dan atau relokasi, dan saran penanganan lainnya.

1.4. Mitigasi Terhadap Bencana Tsunami

1.4.1. Tsunami

Kata tsunami berasal dari bahasa Jepang, “tsu” berarti pelabuhan dan “name” berarti gelombang sehingga secara umum diartikan sebagai gelombang/ombak yang besar di pelabuhan. Tsunami dapat diartikan sebagai gelombang laut yang disebabkan oleh gempa bumi dengan pusat di bawah laut, letusan gunung api bawah laut, longsor di bawah laut, dan/atau hantaman meteor di laut. Tsunami disebabkan oleh berbagai hal antara lain: gempa bumi yang berpusat di laut diikuti dengan dislokasi/perpindahan masa tanah/batuan yang sangat besar di bawah air (laut/danau), longsor di bawah laut, letusan gunung api di bawah laut/gunung api pulau dan hantaman meteor di laut.

1.4.2. Tanda-tanda bencana tsunami

Pada dasarnya tsunami bisa diprediksi dengan tanda-tanda alam yang terjadi sebelum tsunami. Dengan mengetahui tanda-tanda akan terjadinya tsunami, hal ini bisa meminimalisir korban yang terjadi akibat bencana tersebut. Beberapa tanda akan terjadinya tsunami, antara lain:

1. Suara gemuruh

Jika mendengar suara gemuruh tiba-tiba, perlu diwaspadai akan bahaya tsunami yang akan terjadi. Suara gemuruh ini terjadi akibat adanya pergeseran lempeng bumi di bawah laut.

2. Surutnya air laut

Pada proses awalnya, tsunami ditandai dengan surutnya air laut secara tiba-tiba. Hal ini disebabkan terbukanya lempengan bumi di bawah laut, otomatis air laut akan mengisi ruang yang dibuat oleh lempeng bumi yang terbuka. Inilah yang terjadi ketika Tsunami Aceh pada tahun 2004. Ketika air laut surut, orang-orang pantai berkumpul untuk mengumpulkan ikan. Namun beberapa menit sejak air laut surut, gelombang besar muncul dan mengejutkan orang-orang tersebut.

3. Tanda dari Hewan

Tanda berikutnya adalah tanda-tanda hewan yang tidak lazim dari biasanya. Terdapat aktivitas burung-burung camar yang biasanya muncul di area laut. Binatang akan cenderung menjauhi laut karena insting tajam mereka akan bahaya yang terjadi.

4. Aktivitas laut yang berbeda

Laut akan otomatis memberikan tanda terjadinya tsunami. Beberapa menit sebelum adanya gelombang besar, akan ada gelombang-gelombang kecil yang menandai kembalinya air laut. Larilah menuju dataran tinggi, pegunungan, ataupun perbukitan untuk menyelamatkan diri dari sapuan gelombang tsunami.

Jika kita memahami tanda-tanda tsunami ini, misalnya merasakan, melihat atau mendengar tanda-tanda yang tsunami ini, maka yang perlu dilakukan adalah segera memberitahu orang-orang di sekitar, jangan menunggu peringatan tsunami resmi, dan bergegas menyelamatkan diri dengan cara menjauhi daerah pesisir laut dan mencari dataran atau bangunan kokoh yang lebih tinggi serta menjauhi sungai.

1.4.3. Dampak bencana tsunami

Sama halnya dengan bencana alam lainnya, bencana tsunami juga menimbulkan banyak dampak, di antaranya adalah:

1. Terjadi kerusakan sarana dan prasarana sehingga menyebabkan berbagai aktivitas terganggu.

2. Lahan pertanian dan perkebunan rusak. Aliran air akibat tsunami di daratan juga dapat mengikis top soil lahan pertanian maupun perkebunan sehingga lahan akan tergradasi.
3. Dampak terhadap perekonomian, bencana alam tsunami dapat mempengaruhi harga komoditas pangan dan energi yang tentunya akan memicu terjadinya inflasi.

1.4.4. Langkah-langkah dalam mitigasi bencana tsunami

Dalam upaya mitigasi terhadap bahaya tsunami, langkah-langkah yang dapat dilakukan antara lain:

1. Peningkatan kewaspadaan dan kesiapsiagaan terhadap bahaya tsunami.
2. Pendidikan kepada masyarakat tentang karakteristik dan pengenalan bahaya tsunami.
3. Pembangunan *Tsunami Early Warning System* (TEWS).
4. Pembangunan tembok penahan tsunami pada garis pantai yang berisiko.
7. Penanaman mangrove serta tanaman lainnya sepanjang garis pantai untuk meredam gaya air tsunami.
8. Pembangunan tempat-tempat evakuasi yang aman di sekitar daerah pemukiman. Tempat/bangunan ini harus cukup tinggi dan mudah diakses untuk menghindari ketinggian tsunami.
9. Pembangunan sistem peringatan dini tsunami, khususnya di Indonesia.
10. Pembangunan rumah yang tahan terhadap bahaya tsunami.
11. Mengenal karakteristik dan tanda-tanda bahaya tsunami di lokasi sekitarnya.
10. Memahami cara penyelamatan jika terlihat tanda-tanda tsunami.
11. Meningkatkan kewaspadaan dan kesiapsiagaan dalam menghadapi tsunami.
12. Memberikan laporan sesegera mungkin jika mengetahui tanda-tanda akan terjadinya tsunami kepada petugas yang berwenang: Kepala Desa, Polisi, Stasiun radio, SATLAK PB dan lain-lain.
13. Melengkapi diri dengan alat komunikasi.