

**LAPORAN HASIL PENELITIAN
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS BENGKULU
TAHUN ANGGARAN 2012**



JUDUL PENELITIAN
**PENATAAN RUANG WILAYAH PESISIR BERBASIS MITIGASI
BENCANA SEBAGAI UPAYA MEMINIMALISIR DAMPAK RESIKO
BENCANA TSUNAMI BAGI MASYARAKAT KOTA BENGKULU**

PENELITI :

- 1. Yulian Fauzi, S.Si, M.Si**
- 2. Drs. Suwarsono, MS**
- 3. Jose Rizal, S.Si, M.Si**

**DIBIYAI OLEH DANA DIPA UNIVERSITAS BENGKULU
MOMOR : 0824/023-04.2.16/08/2012, Tanggal 9 Desember 2011
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENUGASAN
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS BENGKULU
NOMOR : 2752/UN30/HK/2012, Tanggal 29 Maret 2012**

**FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS BENGKULU
TAHUN ANGGARAN 2012**

**LAPORAN HASIL PENELITIAN
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS BENGKULU
TAHUN ANGGARAN 2012**



JUDUL PENELITIAN

**PENATAAN RUANG WILAYAH PESISIR BERBASIS MITIGASI
BENCANA SEBAGAI UPAYA MEMINIMALISIR DAMPAK RESIKO
BENCANA TSUNAMI BAGI MASYARAKAT KOTA BENGKULU**

PENELITI :

- 1. Yulian Fauzi, S.Si, M.Si**
- 2. Drs. Suwarsono, MS**
- 3. Jose Rizal, S.Si, M.Si**

**DIBIYAI OLEH DANA DIPA UNIVERSITAS BENGKULU
NOMOR : 0824/023-04.2.16/08/2012, Tanggal 9 Desember 2011
SESUAI DENGAN SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENUGASAN
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS BENGKULU
NOMOR : 2752/UN30/HK/2012, Tanggal 29 Maret 2012**

**FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS BENGKULU
TAHUN ANGGARAN 2012**

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul Usulan : **Penataan Ruang Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Sebagai Upaya Meminimalisir Dampak Resiko Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu**

2. Ketua Peneliti

- a. Nama lengkap : Yulian Fauzi, S.Si, M.Si
- b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
- c. NIP : 197207271998021001
- d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
- e. Jabatan Struktural : -
- f. Bidang Keahlian : Matematika Komputasi
- g. Fakultas/Jurusan : MIPA / Matematika
- h. Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
- i. Tim Peneliti

No	Nama dan gelar Akademik	Bidang keahlian	Fakultas / Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Yulian Fauzi, S.Si, M.Si	Matematika Komputasi	Jur Matematika FMIPA	Universitas Bengkulu
2.	Drs. Suwarsono, MS	Geofisika	Jur Fisika FMIPA	Universitas Bengkulu
3.	Jose Rizal, S.Si, M.Si	Matematika	Jur Matematika FMIPA	Universitas Bengkulu

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 3 (Tiga) Tahun
- b. Biaya Total yang diusulkan Tahun I : Rp. 51.205.000,-
- c. Biaya yang disetujui tahun I : Rp. 51.205.000,-



Mengetahui
Dekan FMIPA

Totok Eka Suharto
Dr. rer. nat. Totok Eka Suharto
NIP. 195905031986021001

Bengkulu, November 2012
Ketua Peneliti

Yulian Fauzi
Yulian Fauzi, S.Si, M.Si
NIP. 197207271998021001



Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian

Saryit Sarwono
Drs. Saryit Sarwono, M.Hum
NIP. 195811121986031002



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BENGKULU
LEMBAGA PENELITIAN**

Jalan W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371 A
Telp (0736) 21170, 342584 Fax (0736) 342584
Email: lembaga.penelitian.unib@gmail.com

SURAT KETERANGAN

Nomor: 927 /UN30.10/LT/2012

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Drs. Sarwit Sarwono, M.Hum.
NIP : 19581112 198603 1 002
Jabatan : Ketua Lembaga Penelitian
: Universitas Bengkulu

Dengan ini menerangkan bahwa :

NO	Nama	NIP	Jabatan	Fakultas
1.	Yulian Fauzi,S.Si,M.Si	19720727 199802 1 001	Ketua Peneliti	MIPA
2.	Drs.Suwarsono,MS	19590214 198601 1 001	Anggota	MIPA
3	Jose Rizal,S.Si,M.Si	19800606 200604 1 004	Anggota	MIPA

Benar-benar telah melaksanakan/mengadakan Penelitian UNGGULAN UNIVERSITAS dengan judul :
"Penataan Ruang Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Sebagai Upaya Meminimalisir Dampak Resiko Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu."

Jangka Waktu Penelitian : 8 (Delapan Bulan)

Hasil penelitian tersebut telah dikoreksi oleh Tim Pertimbangan Penelitian Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu dan memenuhi syarat.

Demikian surat keterangan kami buat dengan sebenar-benarnya dan dapat dipergunakan untuk keperluan yang bersangkutan sebagai tenaga edukatif

Bengkulu, 6 Desember 2012
Ketua,

Drs. Sarwit Sarwono, M.Hum.
NIP. 19581112 198603 1 002

RINGKASAN DAN SUMMARY

Dalam proses persiapan pembuatan kebijakan lokal terhadap penanggulangan bencana yang diintegrasikan dengan kegiatan pembangunan wilayah pesisir maka perlu dibuat perencanaan tata ruang wilayah pesisir berbasis manajemen bencana. Untuk mengimplementasikan perencanaan tersebut diperlukan model spasial dan model simulasi matematis untuk dijadikan sebagai acuan dalam menyusun zonasi wilayah pesisir yang didukung dengan data-data spasial berupa citra satelit, peta dan data atribut yang diekstrak melalui teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG).

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang model tata ruang wilayah berbasis manajemen bencana di Kota Bengkulu sehingga bila terjadi bencana dapat mengurangi resiko yang ditimbulkan oleh khususnya bagi masyarakat pesisir Kota Bengkulu serta dijadikan sebagai landasan (pedoman) untuk perencanaan pembangunan Kota Bengkulu. Tujuan khusus yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah Menyusun model genangan bencana tsunami di wilayah pesisir Kota Bengkulu yang didasarkan pada model matematis dan model spasial.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi teknik penginderaan jauh dan pemodelan spasial dengan sistem informasi geografis. Interpretasi data penginderaan jauh menggunakan citra *google earth* dengan perekaman tahun 2009. Citra *google earth* di unduh dan *dimosaic* dengan bantuan *software Photoshop*. Dari data penginderaan jauh di ekstraksi tutupan lahan dan penggunaan lahan yang kemudian di konversi menjadi kekasaran permukaan yang dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan dan tujuan dalam penelitian.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi teknik penginderaan jauh dan pemodelan spasial dengan sistem informasi geografis. Pemodelan spasial kelas genangan tsunami mengacu pada persamaan penurunan ketinggian air daratan dihitung dengan menggunakan persamaan McSaveney dan Rattenbury (2000) dalam Berryman (2006) :

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

dimana

- H_{loss} = penurunan ketinggian air permeter dari jarak genangan
 n = koefisien kekasaran permukaan
 H_0 = ketinggian air pada garis pantai
 S = kelerengan

Pemodelan daerah tergenang disimulasikan dengan menghitung perambatan genangan tsunami dengan mempertimbangkan kemiringan, koefisien kekasaran permukaan, dan ketinggian gelombang. Parameter kekasaran permukaan dan kemiringan lereng dimasukkan kedalam persamaan (1) di daratan dengan simulasi ketinggian tsunami 5 meter, 15 meter, dan 30 meter. Hasil dari persamaan (1) menghasilkan titik-titik penurunan ketinggian tsunami didaratan. Titik-titik ketinggian yang didapat kemudian diinterpolasi dengan menggunakan interpolasi *Kriging* untuk mendapatkan zonasi daerah genangan yang mungkin terjadi.

Estimasi tsunami berdasarkan variasi ketinggian *run-up* dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan spasial dengan teknik interpolasi *Kriging*. *Semivariogram* interpolasi *Kriging* yang terbaik berdasarkan data titik-titik ketinggian di lokasi penelitian adalah *Semivariogram Circular* yang ditandai dengan rentang nilai varians yang kecil. Hasil pemodelan menunjukkan pengaruh hambatan faktor kekasaran permukaan lahan terhadap genangan tsunami yang sampai kedaratan. Kekasaran permukaan yang mempunyai nilai koefisien tinggi mampu menghadang genangan tsunami, sebaliknya kekasaran permukaan yang mempunyai nilai koefisien kecil memiliki faktor hambatan kecil juga terhadap genangan tsunami yang masuk kedaratan. Hasil pemodelan tingkat resiko bencana tsunami pada Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh dan Berkas diketahui bahwa Kelurahan Berkas merupakan kelurahan yang memiliki tingkat resiko tinggi terhadap bencana tsunami dari berbagai skenario *run-up*. Luas wilayah genangan yang bisa terjadi di kelurahan ini pada skenario *run-up* 30 meter hampir separuh dari wilayah akan tergenang tsunami yaitu seluas 11,22 (Ha) atau 41.24 % dari luas wilayah Kelurahan Berkas.

SUMMARY

In the process of preparation of local policies on disaster management, integrated coastal development activities needs to be created coastal planning based disaster management. To implement this plan required spatial models and mathematical simulation models to be used as reference in drafting zoning coastal areas supported with spatial data such as satellite imagery, maps and attribute data are extracted through remote sensing techniques and geographic information systems (GIS).

This research is aimed to design a model of spatial-based disaster management in Kota Bengkulu so that when disaster strikes to reduce the risk caused by coastal communities, especially for the Kota Bengkulu and serve as the basis (guidelines) for planning the of Kota Bengkulu. Specific objective to be achieved in this research is the Develop model of tsunami inundation in the coastal Kota Bengkulu is based on a mathematical model and a spatial model.

The research method used in this study is the integration of remote sensing technique and spatial modeling with geographic information systems. Interpretation of remote sensing using google earth image with a recording in 2009. Google earth image in the download and mosaic with the help of Photoshop software. From the remote sensing data on the extraction of land cover and land use are then converted to surface roughness is modified according to the needs and objectives of the research. The research method used in this study is the integration of remote sensing technique and spatial modeling with geographic information systems. Spatial modeling tsunami inundation class refers to the decline in water levels on land equation is calculated using the equation McSaveney and Rattenbury (2000) in Berryman (2006):

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

Where

- H_{loss} = decrease in water level per meter of distance puddle
- n = coefficient of surface roughness
- H_0 = height of the water at the shoreline
- S = slope

Modeling the simulated flooded area by calculating the propagation of tsunami inundation by considering slope, surface roughness coefficient, and wave height. The parameters of surface roughness and slope inserted into equation in the mainland with simulated tsunami height of 5 meters, 15 meters and 30 meters. The results of equation produces a decrease points tsunami heights on land. The points gained altitude then interpolated using Kriging interpolation to obtain zoning possible inundation areas.

Estimation based tsunami run-up height variations can be done by using spatial modeling techniques Kriging interpolation. Kriging interpolation Semivariogram the best based on the data points in the study site elevation Semivariogram Circular is characterized by a small range of variance values. Modeling results show the influence of land surface roughness factor barriers against tsunami inundation. Surface roughness has a high coefficient can block the tsunami inundation, whereas the surface roughness has a small coefficient has little resistance factor is also the incoming tsunami inundation. The results of modeling tsunami risk level kelurahan Malabero, Kelurahan Sumur Melelah and Kelurahan Berkas. Kelurahan Berkas is with a high level of risk from the tsunami run-up scenarios. The total area of inundation that could happen in this village in the run-up scenario 30 yards nearly half of the area will be inundated by the tsunami area of 11.22 (Ha) or 41.24% of the area of Kelurahan Berkas.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat_Nya peneliti dapat menyelesaikan laporan penelitian Unggulan Universitas Bengkulu dengan judul : Penataan Ruang Wilayah Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana Sebagai Upaya Meminimalisir Dampak Resiko Bencana Tsunami Bagi Masyarakat Kota Bengkulu Penelitian ini dilaksanakan untuk menyusun model genangan tsunami di wilayah Pesisir Kota Bengkulu yang didasarkan pada model matematis dan model spasial.

Laporan penelitian ini disusun sesuai dengan keterbatasan dan kemampuan peneliti miliki. Peneliti merasakan banyak sekali kekurangan khususnya yang berkaitan dengan keberadaan data spasial yang *up to date* (citra satelit) yang belum ditemukan, tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan data dan dokumen yang tersedia (citra *google earth*). Untuk itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan laporan penelitian ini kemudian.

Atas selesainya laporan ini peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada:

1. Ketua Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu yang telah mempercayai peneliti untuk melaksanakan penelitian ini dan memberikan kemudahan dalam proses administrasi di Lembaga Penelitian.
2. Dekan FMIPA Universitas Bengkulu, yang telah memberikan iklim kondusif bagi kemajuan penelitian bagi dosen-dosen muda dilingkungan FMIPA Universitas Bengkulu.
3. Ketua Jurusan Matematika FMIPA Universitas Bengkulu, yang telah banyak membantu dan memberikan saran serta dorongan dari mulai penyusunan proposal, penulisan serta penyelesaian laporan penelitian ini.
4. Mahasiswa Prodi Teknik Informatika Fak. Teknik Universitas Bengkulu yang terlibat dalam pemetaan spasial menggunakan SIG di Laboratorium Komputasi.
5. Rekan-rekan staf pengajar Matematika FMIPA Universitas Bengkulu serta pihak-pihak yang terkait yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

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

Bengkulu, November 2012
peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN DAN SUMMARY	ii
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pesisir Kota Bengkulu	5
2.2. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG)	6
2.3. Tsunami	7
2.3.1 Mitigasi Tsunami	9
2.4. Pemodelan dan Teknik Analisis Spasial Dalam Menentukan Daerah Rawan Tsunami	13
2.4.1 Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi dan Tsunami	14
2.4.2 Resiko Gempa bumi di Kota Bengkulu	17
2.4.3 Kawasan Rawan Bencana Tsunami	19
2.5 Road Map Penelitian	25
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	28
3.1. Tujuan Penelitian	28
3.2. Manfaat Penelitian	29
BAB IV. METODE PENELITIAN	33
4.1. Wilayah Studi	33
4.2. Pelaksanaan Kegiatan	34
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
5.1. Kondisi Umum Kota Bengkulu	41
5.1.1 Letak Geografis dan Luas Wilayah	41

5.1.2 Topografi	42
5.2. Kondisi Umum Daerah Penelitian	43
5.2.1 Profil Kelurahan Penelitian	45
5.3. Pemodelan Genangan Tsunami	48
5.3.1 Interpretasi Citra <i>Google Earth</i>	48
5.3.2 Koefisien Kekasaran Permukaan	50
5.3.3 Analisis Genangan Tsunami	50
5.4 Pembahasan	58
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1.	Skala <i>Modified Mercalli Intensity</i> (MMI)	14
Tabel 2.2.	Lokasi Berkumpul dan Jalur Evakuasi di Kota Bengkulu	23
Tabel 4.1	Tahapan Kegiatan Penelitian Unggulan Universitas Bengkulu	33
Tabel 4.2	Hubungan antara magnitudo tsunami (m), ketinggian tsunami (meter), dan skala kerugian	36
Tabel 5.1.	Kemiringan Lereng Kota Bengkulu	43
Tabel 5.2	Jarak Kantor Kelurahan ke Kecamatan dan Ke Pusat Kota Bengkulu	46
Tabel 5.3	Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, Dan Kepadatan	46
Tabel 5.4.	Komposisi Penggunaan Lahan Daerah Penelitian	50
Tabel 5.5	Koefisien kekasaran permukaan dengan modifikasi	50
Tabel 5.6	Nilai Variansi dan Semivariogram Interpolasi Kriging	53
Tabel 5.7	Luas Daerah Rawan Resiko Bencana Tsunami Berdasarkan Skenario Tinggi <i>Run-up</i>	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Wilayah pesisir (coastal area) mencakup pesisir (coast), gisik (beach) atau pantai (shore) dan zona dekat pantai (near shore zone). Sumber : Dahuri 1996.	16
Gambar 3.1.	Peta Indeks Resiko Bencana Tsunami Indonesia (Sumber: BNPB, 2010)	30
Gambar 4.1	Digram Alir Penelitian	40
Gambar 5.1	Peta Lereng Kota Bengkulu	42
Gambar 5.2	Kawasan Perdagangan Kecamatan Teluk Segara	44
Gambar 5.3	Peta Citra Kelurahan Malabero	47
Gambar 5.4	Peta Citra Kelurahan Sumur Meleleh	47
Gambar 5.5	Peta Citra Kelurahan Berkas	48
Gambar 5.6	Penggunaan Lahan di Wilayah Penelitian	49
Gambar 5.7	Kriging Interpolator 3,2 SA	51
Gambar 5.8	Peta Genangan Tsunami Kelurahan Malabero Hasil Simulasi Model <i>run up</i> 5 meter, 15 meter, dan 30 meter	55
Gambar 5.9	Peta Genangan Tsunami Kelurahan Sumur Meleleh Hasil Simulasi Model <i>run up</i> 5 meter, 15 meter, dan 30 meter	56
Gambar 5.10	Peta Genangan Tsunami Kelurahan Berkas Hasil Simulasi Model <i>run up</i> 5 meter, 15 meter, dan 30 meter	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Riwayat Hidup Peneliti

Lampiran 2. Draft Artikel Ilmiah

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara ekologis wilayah pesisir Kota Bengkulu memberikan sumberdaya alam yang berkelanjutan bagi kehidupan masyarakat yang ada disekitarnya. Wilayah tersebut telah menyediakan lahan kering, rawa-rawa, estuarina, hutan mangrove, perairan laut dan payau dan terumbu karang (Bappeda, 2004). Dengan demikian, wilayah pesisir adalah ekosistem alami yang memberikan empat fungsi terhadap kebutuhan dasar masyarakat dan pengembangan ekonomi yaitu: 1). Dukungan kegiatan untuk kehidupan, 2) keindahan, 3) bahan baku, 4) penampungan limbah. Pesisir merupakan wilayah yang dinamis dan memiliki lingkungan yang dipengaruhi oleh ekosistem lautan dan daratan. Wilayah pesisir yang mempunyai potensi ekonomi sangat besar untuk dikembangkan sebagai pusat produksi, wisata, perikanan, pertanian, perindustrian dan pemukiman.

Potensi dan keanekaragaman yang tinggi wilayah pesisir dapat dikembangkan sesuai dengan peruntukannya seperti perikanan, pariwisata, penelitian khususnya pada zona pemanfaatan (Fauzi, dkk, 2009). Namun sayangnya informasi atau data-data mengenai wilayah pesisir dan laut khususnya di Kota Bengkulu masih sangat terbatas dan belum terorganisir dengan baik. Khususnya yang berkaitan dengan dampak bencana tsunami yang bisa mengancam semua ekosistem yang ada. Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Nasional Propinsi Bengkulu, khususnya Kota Bengkulu termasuk wilayah yang rawan terhadap ancaman bencana tsunami.

Bencana tsunami merupakan gelombang panjang yang muncul sebagai akibat terjadinya gangguan terhadap permukaan dan dasar laut oleh gerakan kerak bumi karena

gempa bawah laut. Periode tsunami umumnya berkitas antara beberapa menit sampai puluhan menit. Tinggi gelombang tsunami yang terjadi adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dengan titik nol muka laut, yang selanjutnya akan membesar pada saat gelombang tsunami menjalar mendekati pantai. Tinggi gelombang tsunami akan mencapai maksimum di pantai-pantai yang berbentuk seperti huruf U atau V, misalnya di teluk atau muara sungai. Karakteristik gempa bawah laut yang menimbulkan tsunami adalah gempa yang terjadi di zona subduksi yang mempunyai magnitute lebih dari 6 skala Richter, dengan kedalaman kurang dari 100 km. Kota Bengkulu merupakan daerah yang berpotensi terjadi bencana tsunami karena berdekatan dengan zona subduksi (BPBD Prop. Bengkulu 2010). Berdasarkan hal tersebut Kota Bengkulu sangat perlu mempersiapkan model penanggulangan bencana tsunami yang terintegrasi dengan baik .

Penanggulangan bencana tsunami saat ini yang ada di Kota Bengkulu khususnya di BPBD Propinsi Bengkulu masih ditekankan pada *'saat'* dan *'setelah'* terjadinya bencana. Sedangkan pada tahap *'sebelum'* terjadinya bencana masih terbatas pada tahapan pencegahan, yaitu dengan menghindari pemanfaatan kawasan yang *'rawan bencana'* untuk dikembangkan sebagai kawasan budidaya. Kebijakan yang ada juga belum memadukan berbagai program pembangunan daerah pesisir yang berwawasan keamanan dan keselamatan penduduk pesisir dari bencana yang mungkin terjadi. Saat ini persiapan Kota Bengkulu pada tahap sebelum bencana/prabencana telah menentukan zona bahaya tsunami seperti yang terlihat dalam tabel berikut:

ZONA BAHAYA TSUNAMI

ZONA 1 (Zona Bahaya / Resiko Tinggi)	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai resiko sangat tinggi terlanda tsunami • Karakteristik pantai berpasir, pocket beach, sea wall, morfologi landai, relief rendah, geometri pantai berteluk • Fungsi lahan sebagai pemukiman padat (perkampungan nelayan), hotel, cottage, kawasan wisata permukiman < 100 meter dari garis pantai • Meliputi pasar Bengkulu, Rawa Makmur, Kampung kelawi, Kampung Cina, Pondok Besi Pasar Pantai, Malabero, Sumur Meleleh, Berkas, Anggut Bawah, Penurunan, Kuala Lempung, Kawasan Wisata Pantai Panjang, RT. 8 (Lokalisasi), Teluk Sepang.
ZONA 2 (Zona Waspada / Resiko Kecil)	<ul style="list-style-type: none"> • Mempunyai resiko kecil apabila terjadi tsunami • Karakteristik pantai berpasir, morfologi landai, relief rendah, geometri pantai memanjang. • Fungsi lahan sebagai lahan kosong, hutan cemara, kebun kelapa, pemukiman jarang, terletak > 100 meter dari garis pantai (di sela - sela perkebunan). • Meliputi Sungai Hitam, Muara Air Lempuing
ZONA 3 (Zona Aman)	<ul style="list-style-type: none"> • Hampir tidak mempunyai resiko jika terjadi tsunami • Karakteristik pantai berpasir, bertebing curam-landai, relief tinggi-berbukit, geometri pantai memanjang, memiliki muara pantai / spli, terdapat terumbu karang • Fungsi lahan sebagai hutan lindung, kebun kelapa, sawah, kawasan wisata dengan jalur hijau, lahan kosong pemukiman > 300 meter dari garis pantai • Meliputi hutan lindung/wisara, Pulau Baai Ujung

Selain itu juga disadari bahwa kebijakan nasional penanggulangan bencana yang ada masih mengandung beberapa kelemahan yang cukup esensial, selain dalam hal substansinya (yang masih sangat umum, tidak khusus untuk perkotaan yang jauh lebih rentan), juga pada tingkat kemungkinan dari kebijaksanaan tersebut di dalam tataran praktik sesuai dengan kondisi dan situasi yang ada. Untuk itu perlu dibuat kebijakan lokal oleh pemerintah daerah khususnya Kota Bengkulu dalam memanfaatkan wilayah pesisir yang harus mempertimbangkan resiko terhadap bencana tsunami (BNPB, 2010). Sebagai konsekuensi pertumbuhan penduduk global, daerah pesisir yang rawan tsunami berkembang dengan cepat. Karena tidak mungkin untuk menghentikan pembangunan, sebaiknya dilakukan pencegahan pembangunan fasilitas umum pada zona rawan bencana tsunami, seperti sekolah, polisi, pemadam kebakaran dan rumah sakit yang memiliki arti penting bagi populasi ketika bahaya sewaktu-waktu terjadi. Sebagai tambahan, hotel dan penginapan juga perlu ditempatkan pada lokasi yang sesuai dengan prosedur evakuasi untuk memberikan keamanan kepada para tamunya.

Dalam proses persiapan pembuatan kebijakan lokal terhadap penanggulangan bencana yang diintegrasikan dengan kegiatan pembangunan wilayah pesisir maka perlu dibuat perencanaan tata ruang wilayah pesisir berbasis manajemen bencana. Untuk mengimplementasikan perencanaan tersebut diperlukan model spasial dan model simulasi matematis untuk dijadikan sebagai acuan dalam menyusun zonasi wilayah pesisir yang didukung dengan data-data spasial berupa citra satelit, peta dan data atribut yang diekstrak melalui teknik penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG).

Berdasarkan uraian diatas melalui penelitian ini akan diawali dengan membuat pemodelan *run up* tsunami di Kota Bengkulu dengan mengambil studi kasus pada Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh dan Berkas yang secara administrasi termasuk kedalam wilayah Kecamatan Teluk Segara Kota Bengkulu. Pemodelan ini telah mengintegrasikan antara model matematis dengan model spasial yang di buat dalam software Arcview.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pesisir Kota Bengkulu

Secara geografis, Kota Bengkulu terletak pada koordinat $30^{\circ}45'$ – $30^{\circ}59'$ Lintang Selatan dan $102^{\circ}14'$ – $102^{\circ}22'$ Bujur Timur. Posisi geografis tersebut terletak di pantai bagian Barat Pulau Sumatera yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia.

Berdasarkan letak geografis tersebut, Kota Bengkulu mempunyai lingkungan pantai yang berhadapan dengan rezim energi (gelombang) kuat, yang dipengaruhi oleh *swell* dan diperkirakan menimbulkan erosi alami pantai akibat gelombang besar tersebut. Erosi alami pantai atau abrasi pantai ini berpotensi untuk menimbulkan sedimen pada garis pantai dan hal ini akan diperparah oleh suplai sedimen dari das besar yang terletak di sekitar Kota Bengkulu. Kondisi ini perlu dicermati sebagai potensi dan masalah yang harus diantisipasi agar pembangunan kota ke depan benar-benar dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya, dan mereduksi kemungkinan dampak/pengaruh negatif yang akan ditimbulkan.

Secara administratif, Kota Bengkulu mempunyai luas wilayah daratan sekitar $151,7 \text{ km}^2$, ditambah 1 pulau dengan luas 2 Ha dan lautan seluas $387,6 \text{ Km}^2$ yang terdiri dari 9 kecamatan dan 67 kelurahan, dengan batas administratif sebagai berikut :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Bengkulu Tengah;
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Seluma;

- Sebelah Timur berbatasan Kabupaten Bengkulu Tengah;
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.

Secara administratif dalam hirarki pemerintahan kota, terdapat satuan wilayah administrasi yang lebih rendah yaitu wilayah kelurahan pesisir. Kriteria kelurahan pesisir adalah kelurahan yang wilayahnya memiliki ekosistem pesisir atau berbatasan langsung dengan perairan laut, dan memiliki garis pantai.

Berdasarkan kriteria wilayah kelurahan yang memiliki ekosistem pesisir atau berbatasan langsung dengan perairan laut, maka di Kota Bengkulu terdapat 17 kelurahan pesisir yaitu : Kelurahan Beringin Raya, Rawa Makmur, Pasar Bengkulu, Bajak, Tengah Padang, Pondok Besi, Pondok Keling, Kampung Cina, Malabero, Sumur Meleh, Berkas, Anggut Bawah, Penurunan, Kebun Beler, Lempuing, Kandang dan Sumber Jaya.

2.2. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG)

Penggunaan SIG sering kali didukung dengan penggunaan data penginderaan jauh seperti citra satelit yang dapat digunakan untuk memetakan keberagaman informasi karakteristik area seperti tumbuh-tumbuhan, air, geologi baik dalam ruang dan waktu. Citra satelit dapat memberikan gambaran dan menyediakan informasi lingkungan yang sangat berguna dari area dengan skala bervariasi dari keseluruhan benua sampai area yang sangat kecil (Fauzi, 2004). Banyak jenis bencana seperti banjir, gempa bumi dan bencana lainnya mempunyai tanda-tanda yang dapat dideteksi oleh satelit. Penginderaan jauh juga memungkinkan pengawasan (*monitoring*) kejadian bencana ketika bencana tersebut terjadi.

Bidang aplikasi SIG pada bidang kelautan sangat luas mulai dari pemetaan batimetri, sedimentasi, *shoreline* dan lain-lain, penanganan pekerjaan tersebut

dilakukan secara terpadu dan multi-disiplin (Roxing, dkk, 1998). SIG juga sangat berguna dalam penanganan bencana jika digunakan secara efektif dan efisien. Berikut ini adalah beberapa pemanfaatan SIG selama siklus bencana:

1. Pada fase *mitigation*, SIG digunakan untuk mengelola data berukuran besar yang dibutuhkan untuk memperkirakan adanya resiko atau bahaya yang dapat berpotensi menjadi bencana.
2. Pada fase *preparedness*, SIG digunakan untuk perencanaan rute evakuasi, membantu dalam desain pusat operasi penanganan bencana, dan untuk integrasi data satelit dengan data relevan lainnya yang berhubungan yang digunakan untuk sistem peringatan dini.
3. Pada fase *response*, SIG dikombinasikan dengan GPS (*Global Positioning System*) dapat digunakan dalam pencarian dan operasi penyelamatan di area yang telah hancur dan sulit untuk mencari pergerakan seseorang.
4. Pada fase *recovery*, SIG digunakan untuk mengelola informasi kerusakan dan informasi sesudah bencana dan untuk evaluasi berbagai area untuk rekonstruksi. SIG mengelola data spasial oleh karena itu dengan semakin berkembangnya pemanfaatan SIG, maka pengadaan data spasial pun meningkat.

2.3 Tsunami

Tsunami adalah suatu sistem gelombang gravitasi yang terbentuk akibat tubuh airlaut mengalami gangguan dalam skala besar dan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Ketika gaya gravitasi berperan dalam proses air laut mencapai kembali kondisi equilibrium, suatu seri gerakan osilasi tubuh air laut terjadi baik pada permukaan laut

maupun dibawahnya dan tsunami terbentuk dengan arah rambat keluar dari daerah sumber gangguan

Tsunami bergerak keluar dari daerah sumber sebagai suatu seri gelombang. Kecepatannya tergantung pada kedalaman air, sehingga gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan ketika melintasi kedalaman yang berbeda-beda. Proses ini juga menyebabkan perubahan arah rambat sehingga energi gelombang dapat menjadi fokus atau de-fokus. Pada laut dalam, gelombang tsunami dapat bergerak dengan kecepatan sekitar 500 hingga 1000 km/jam. Ketika mendekati pantai, rambatan tsunami menjadi lebih lambat hingga hanya beberapa puluh km/jam. Ketinggian gelombang tsunami juga tergantung pada kedalaman air. Gelombang tsunami yang ketinggian hanya satu meter pada laut dalam bisa berkembang menjadi puluhan meter pada garis pantai. Tidak seperti gelombang laut yang umumnya digerakkan oleh angin yang hanya mengganggu permukaan laut, energi gelombang tsunami mampu mencapai dasar laut. Pada daerah dekat pantai, energi tersebut terkonsentrasi pada arah vertikal akibat berkurangnya kedalaman air dan pada arah horisontal akibat pemendekan panjang gelombang karena perlambatan gerak gelombang. Tsunami memiliki rentang periode (waktu untuk satu siklus gelombang) dari hanya beberapa menit hingga lebih dari satu jam.

Pada daerah pesisir, tsunami dapat memiliki berbagai bentuk ekspresi tergantung pada ukuran dan periode gelombang, variasi kedalaman dan bentuk garis pantai, kondisi pasang-surut, dan faktor-faktor lainnya. Pada beberapa kasus tsunami dapat berupa gelombang pasang naik yang terjadi sangat cepat yang langsung membanjiri daerah pesisir rendah. Pada kasus lainnya tsunami dapat datang sebagai *bore* – suatu dinding

vertikal air yang bersifat turbulen dengan daya rusak tinggi. Arus laut yang kuat dan tidak lazim biasanya juga menemani tsunami berskala kecil.

Berdasarkan jarak sumber penyebab tsunami dan daerah yang terancam bahaya, tsunami dapat dikelompokkan menjadi dua: tsunami lokal (jarak dekat) dan tsunami distan (jarak jauh).

Daya hancur tsunami tergantung pada 3 faktor: inundasi (penggenangan), kekuatan bangunan/struktur, dan erosi. Tsunami dapat menyebabkan erosi pada fondasi bangunan dan menghancurkan jembatan dan *seawall* (struktur penahan gelombang yang sejajar garis pantai). Daya apung dan daya seret dapat memindahkan rumah dan membalik mobil-mobil. Benda-benda yang dibawa oleh tsunami tersebut juga menjadi “peluru” yang sangat berbahaya sebab bisa menghantam bangunan atau benda lainnya. Kebakaran bisa pula terjadi sebagai bahaya sekunder dan menyebabkan kerugian yang lebih besar lagi. Kerusakan sekunder lainnya adalah polusi fisik atau kimia akibat kerusakan yang telah terjadi.

2.3.1 Mitigasi Tsunami

Mitigasi meliputi segala tindakan yang mencegah bahaya, mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya, dan mengurangi daya rusak suatu bahaya yang tidak dapat dihindarkan. Mitigasi adalah dasar manajemen situasi darurat, Mitigasi adalah usaha yang dilakukan oleh segala pihak terkait pada tingkat negara, masyarakat dan individu.

Untuk mitigasi bahaya tsunami atau untuk bencana alam lainnya, sangat diperlukan ketepatan dalam menilai kondisi alam yang terancam, merancang dan menerapkan teknik peringatan bahaya, dan mempersiapkan daerah yang terancam untuk

mengurangi dampak negatif dari bahaya tersebut. Perencanaan evakuasi tsunami berurusan dengan rentang waktu sebelum dan selama peristiwa tsunami. Ketika menghadapi ancaman tsunami lokal, prosedur evakuasi sangat mungkin berkarakter upaya “melarikan diri”. Tujuan utama adalah membawa sebanyak mungkin orang keluar dari jangkauan dampak gelombang ke daerah yang aman atau “relative aman”. Karena pendeknya waktu peringatan, orang tidak boleh berharap menerima banyak dukungan selama proses evakuasi dari lembaga pemerintah dan rancangan perlindungan diri sendiri memainkan peran penting. Karena itu, semua langkah yang diperlukan harus diambil. Ketiga langkah penting tersebut: 1) **penilaian bahaya** (*hazard assessment*), 2) **peringatan** (*warning*), dan 3) **persiapan** (*preparedness*) adalah unsur utama model mitigasi.

a. Penilaian Bahaya

Unsur pertama untuk mitigasi yang efektif adalah penilaian bahaya. Untuk setiap komunitas pesisir, penilaian bahaya tsunami diperlukan untuk mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam, dan tingkat ancaman (*level of risk*). Penilaian ini membutuhkan pengetahuan tentang karakteristik sumber tsunami, probabilitas kejadian, karakteristik tsunami dan karakteristik morfologi dasar laut dan garis pantai. Untuk beberapa komunitas, data dari tsunami yang pernah terjadi dapat membantu kuantifikasi faktor-faktor tersebut. Untuk komunitas yang tidak atau hanya sedikit memiliki data dari masa lalu, model numerik tsunami dapat memberikan perkiraan. Seringkali karena rekaman data minimal, satu-satunya jalan untuk menentukan daerah potensi bahaya adalah menggunakan pemodelan numerik. Model dapat dimulai dari skenario terburuk. Informasi ini kemudian menjadi dasar pembuatan peta evakuasi tsunami dan

prosedurnya. Dewasa ini, pusat peringatan mulai mempergunakan data dari model numerik untuk memberikan panduan dalam prediksi tingkat bahaya tsunami berdasarkan parameter gempabumi dan data muka airlaut tertentu. Tahapan ini umumnya menghasilkan **peta potensi bahaya tsunami** yang sangat penting untuk memotivasi dan merancang kedua unsur mitigasi lainnya, peringatan dan persiapan.

b. Peringatan

Unsur kunci kedua untuk mitigasi tsunami yang efektif adalah suatu sistem peringatan untuk memberi peringatan kepada komunitas pesisir tentang bahaya tsunami yang tengah mengancam. Sistem peringatan didasarkan kepada data gempabumi sebagai peringatan dini, dan data perubahan muka airlaut untuk konfirmasi dan pengawasan tsunami. Sistem peringatan juga mengandalkan berbagai saluran komunikasi untuk menerima data seismik dan perubahan muka airlaut, dan untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang. Pusat peringatan (*warning center*) haruslah: 1) **cepat** – memberikan peringatan secepat mungkin setelah pembentukan tsunami potensial terjadi, 2) **tepat** – menyampaikan pesan tentang tsunami yang berbahaya seraya mengurangi peringatan yang keliru, dan 3) **dipercaya** – bahwa sistem bekerja terus-menerus, dan pesan mereka disampaikan dan diterima secara langsung dan mudah dipahami oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

c. Persiapan

Kegiatan kategori ini tergantung pada penilaian bahaya dan peringatan. Persiapan yang layak terhadap peringatan bahaya tsunami membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bahaya (peta inundasi tsunami) dan pengetahuan tentang sistem peringatan untuk mengetahui kapan harus mengevakuasi

dan kapan saatnya kembali ketika situasi telah aman. Tanpa kedua pengetahuan akan muncul kemungkinan kegagalan mitigasi bahaya tsunami. Tingkat kepedulian publik dan pemahamannya terhadap tsunami juga sangat penting. Jenis persiapan lainnya adalah perencanaan tata ruang yang menempatkan lokasi fasilitas vital masyarakat seperti sekolah, kantor polisi dan pemadam kebakaran, rumah sakit berada diluar zona bahaya. Usaha-usaha keteknikan untuk membangun struktur yang tahan terhadap tsunami, melindungi bangunan yang telah ada dan menciptakan *breakwater* penghalang tsunami juga termasuk bagian dari persiapan.

Rencana evakuasi dan prosedurnya umumnya dikembangkan untuk tingkat lokal, karena rencana ini membutuhkan pengetahuan detil tentang populasi dan fasilitas yang terancam bahaya, dan potensi lokal yang dapat diterapkan untuk mengatasi masalah. Tsunami lokal hampir tidak menyediakan waktu yang cukup untuk peringatan formal dan disertai gempa bumi, sementara tsunami distan mungkin memberi waktu beberapa jam untuk persiapan sebelum gelombang yang pertama tiba. Zona evakuasi dan rute pengungsian harus ditentukan secara aman, masyarakat harus cukup diberi pengarahan tentang bahaya tsunami dan prosedur evakuasi, sehingga mereka tidak tetap berada di tempat tinggal ketika tsunami datang atau telah kembali ketika ancaman masih belum berakhir. Evakuasi yang tidak perlu harus dikurangi untuk menjaga kepercayaan publik terhadap sistem. Sehingga persiapan evakuasi dan prosedurnya harus disiapkan untuk kedua skenario tersebut.

Mitigasi tsunami harus mengandung rencana untuk meningkatkan pemahaman dan pengetahuan oleh masyarakat luas, pemerintah lokal, dan para pembuat kebijakan tentang sifat-sifat tsunami, kerusakan dan bahaya yang disebabkan dan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi bahaya. Pendidikan publik yang dilaksanakan akan

efektif bila ikut memperhitungkan bahasa dan budaya lokal, ada-istiadat, praktek keagamaan, hubungan masyarakat dengan kekuasaan, dan pengalaman tsunami masa lalu.

2.5. Pemodelan dan Teknik Analisis Spasial Dalam Menentukan Daerah Rawan Tsunami

Penentuan daerah rawan tsunami dan jalur evakuasi di Kota Bengkulu akan dirancang melalui analisis spasial yang dipertimbangkan atas beberapa faktor :

1. Faktor fisik: dilihat dari sisi fisik yaitu daerah Kota Bengkulu merupakan daerah yang terletak sepanjang pesisir pantai dan merupakan pertemuan lempeng Eurasia dan *Indo-australia* yang membuat daerah Kota Bengkulu rawan gempa dengan skala kuat yang berpotensi terjadinya tsunami
2. Faktor air: kualitas air yang terdapat di daerah Kota Bengkulu sebagian besar merupakan air pantai yang kemudian di olah untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Oleh karena itu pertimbangan dalam penanggulangan apabila suatu saat terjadi tsunami sangat dibutuhkan bagi masyarakat.
3. Faktor biologi: dengan penentuan daerah rawan tsunami bahaya tsunami dapat diminimasi dengan menanam vegetasi-vegetasi pantai berupa tanaman pinus, mangrove, nipah, bakau dan lain-lain. Vegetasi pantai ini selain dapat mengurangi hempasan gelombang tsunami juga dapat memperindah pantai untuk menjadi kawasan objek wisata.
4. Faktor sosial ekonomi: pergerakan sosial ekonomi di Bengkulu akan berkembang dengan dibangunnya pusat perbelanjaan di dekat pantai, hanya saja apabila hasil dari penentuan menyimpulkan bahwa daerah tersebut rawan terhadap tsunami, maka investor harus meninjau ulang atau berfikir lebih jauh dalam menghitung untung-

rugi pembangunan tersebut.

2.5.1. Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi dan Tsunami

Untuk mengatasi resiko pada kawasan rawan bencana gempa bumi dan tsunami perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada kawasan sepanjang jalur patahan, pengembangan kawasan budidaya dilakukan dengan memberikan porsi yang lebih besar untuk ruang terbuka hijau dan fasilitas olahraga, yang selain difungsikan sebagai fasilitas umum dan sosial, juga dapat dimanfaatkan sebagai ruang evakuasi pada saat terjadi guncangan.
2. Untuk pengembangan kegiatan terbangun, perlu diatur intensitas bangunan dan jenis konstruksi yang tahan gempa, atau jenis-jenis bahan bangunan yang ringan.

Penanganan kawasan rawan bencana gempa bumi diprioritaskan pada konsistensi pengendalian pemanfaatan kawasan atau lingkungan yang rentan terhadap bencana terutama kawasan yang berada pada jalur patahan. Propinsi Bengkulu termasuk pada wilayah pusat gempa bumi merusak dengan kedalaman dangkal hingga menengah (0-150 km) bagian Barat Sumatera, zona antara 0,25 - 0,35 g dengan besaran gempa > 5,6 Skala *Richter* (SR). Dengan menggunakan Skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI), pantai pesisir Bengkulu termasuk pada zona kategori nilai intensitas V hingga IX.

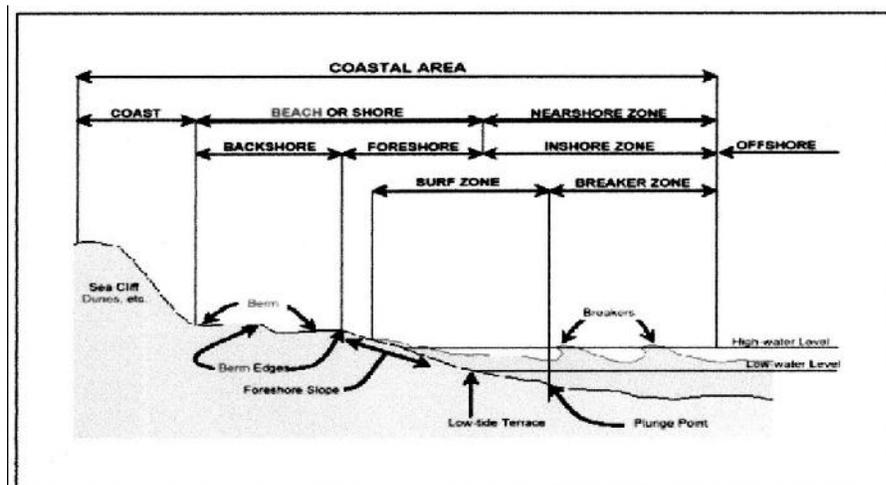
Tabel 2. 1. Skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI)

Skala	Keterangan
I	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luar biasa oleh orang tertentu saja

Skala	Keterangan
II	Getaran dirasakan orang tertentu, benda-benda ringan yang bergantung
III	Getaran dirasakan nyata di dalam, terasa seakan-akan truk lewat
IV	Pada siang hari dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, di luar hanya oleh orang tertentu saja. Barang pecah belah, jendela, pintu gemerincing dinding berbunyi karena pecah-pecah
V	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk. Barang pecah belah, jendela dan sebagainya pecah, barang-barang terpelanting pohon, tiang dan lain-lain tampak goyang, bandul lonceng jam dapat terhenti
VI	Getaran dirasakan oleh semua orang, kebanyakan terkejut dan lari keluar. Plaster dinding jatuh dan cerobong asap pabrik rusak ringan
VII	Semua orang ke luar rumah, kerusakan ringan pada rumah dan bangunan yang konstruksinya tidak baik maupun yang baik. Cerobong asap pecah atau retak-retak. Getaran dapat dirasakan oleh orang yang naik kendaraan
VIII	Kerusakan ringan pada bangunan-bangunan yang konstruksinya baik. Retak-retak pada bangunan-bangunan yang kuat. Dinding dapat lepas dari kerangka rumah, cerobong asap pabrik dan monument roboh, air menjadi keruh
IX	Kerusakan pada bangunan-bangunan yang rangkanya kuat, rumah menjadi tidak tegak (lurus). Banyak retakan pada bangunan-bangunan yang konstruksinya kuat, bangunan rumah bergeser dari pondasinya, pipa di dalam tanah putus
X	Bangunan-bangunan dari kayu kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondasinya, tanah terbelah, rel melengkung, tanah lengser di tebing dan di tanah yang curam. Terjadi gelombang pasang atau tsunami
XI	Hancur sama sekali. Gelombang gempa tampak pada permukaan tanah, pemandangan gelap, benda-benda terlempar ke udara

Peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi di Provinsi Bengkulu (Rahardiawan, dalam BPBD Propinsi Bengkulu, 2010), yaitu pada 1963-1975 terjadi 3-16 kali gempa/tahun, 1984 sebanyak 2 kali, 1992 terjadi sebanyak 26 kali dan 1995 terjadi sebanyak 2 kali. Gempa-gempa tersebut sebagian besar menunjukkan mekanisme sesar naik, sedangkan sebagian lagi adalah sesar normal, mendatar *oblique* dan sesar mendatar. Arah kompresi maksimum umumnya Timur Laut - Barat Daya dan Barat Laut - Tenggara dengan dominasi sesar naik yang memiliki *magnitude* besar (>7).

Pemicu tsunami di Bengkulu adalah akibat gempa bumi yang terjadi di dasar laut pada zona busur muka patahan Mentawai dan zona seismik *Benioff*. Sejarah peristiwa bencana tsunami di Pantai Bengkulu (Rahardiawan, 2000 dalam BPBD Prop. Bengkulu 2010) adalah : tahun 1777, 1833, 1861, 1906, 1931 dan 1958. Untuk memperkecil resiko serangan tsunami, dapat dibuat jalur hijau dari tanaman keras ± 200 m dari pantai, pelestarian hutan bakau, tidak dirusaknya terumbu karang dan pembuatan rumah bertiang.



Gambar 2.1. Wilayah pesisir (coastal area) mencakup pesisir (coast), gisik (beach) atau pantai (shore) dan zona dekat pantai (near shore zone). Sumber : Dahuri, dkk, 2001.

2.4.2 Resiko Gempa bumi di Kota Bengkulu

Resiko gempa bumi terhadap bangunan, prasarana umum dan prasarana vital kehidupan dapat dilakukan berdasarkan hasil kajian bahaya gempa bumi dan kajian kerentanan yang ada. Peta-peta potensi bahaya seperti peta mikrozonasi, peta potensi likuifaksi, peta potensi tanah retak dan peta longgsor dikombinasikan/digabungkan dengan peta-peta kerentanan yang beberapa peta kepadatan penduduk, peta jaringan infrastruktur akan didapat peta risiko bencana. Diidentifikasi penduduk, bangunan, sarana jaringan infrastuktur (jaringan jalan & jembatan, jaringan telekomunikasi, jaringan listrik dan jaringan air bersih) yang terletak pada zona bahaya yang tinggi atau pada potensi likuifaksi tinggi merupakan daerah dengan tingkat risiko bencana yang tinggi.

Berdasarkan studi awal dari berbagai penelitian tentang risiko bencana gempa bumi untuk kota Bengkulu dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Review terhadap beberapa referensi hasil studi yang telah dilakukan terdahulu menunjukkan hasil percepatan gempa di batuan dasar kota Bengkulu sangat bervariasi, yaitu berkisar antara 0.30 g sampai 0.40 g untuk periode ulang gempa 500 tahun. Nilai ini jauh lebih besar dari gempa 4 Juni 2000 yang pernah menyebabkan kerusakan-kerusakan kota Bengkulu dimana percepatan maksimum batuan dasar di kota Bengkulu hanya mencapai nilai antara 0.10 g – 0.15 g
- Studi-studi terdahulu yang dipakai di dalam menentukan zona wilayah gempa untuk kota Bengkulu berdasarkan pada besarnya percepatan gempa di batuan

dasar sekitar 0.10 g sampai 0.15 g untuk periode ulang gempa 200 tahun. Sementara hasil-hasil studi beberapa tahun terakhir menunjukkan besarnya percepatan gempa di batuan dasar untuk periode ulang 200 tahun sekitar 0.25 g dan sebesar 0.30 g sampai 0.40 g untuk periode ulang gempa 500 tahun,

- Hasil kajian awal bahaya gempa bumi di kota Bengkulu menunjukkan adanya variasi tingkat bahaya dari rendah sampai sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya variasi kondisi tanah yaitu dari kondisi tanah keras sampai tanah lunak dan tanah pasir jenuh. Tingkat bahaya yang tinggi diidentifikasi umumnya berada di pesisir pantai dimana juga diperkirakan rawan terhadap bahaya likuifaksi. Hasil kajian awal bahaya gempa kota Bengkulu ini disajikan dalam bentuk peta mikrozonasi dan peta-peta potensi likuifaksi, potensi tanah retak dan tanah longsor.
- Kajian awal terhadap kerentanan kota telah difokuskan pada kerentanan penduduk, bangunan, fasilitas umum/sosial maupun jaringan-jaringan infrastruktur kota Bengkulu.
- Hasil kajian awal risiko kota Bengkulu terhadap bencana dapat menggambarkan secara garis besar daerah-daerah yang mempunyai tingkat risiko yang relatif tinggi. Daerah-daerah tersebut antara lain meliputi : daerah-daerah dengan tingkat kepadatan bangunan dan permukiman yang relatif tinggi dan terletak pada zona bahaya sedang-tinggi dan zona bahaya tinggi. Daerah permukiman berisiko tinggi di wilayah barat daya meliputi Perumnas Lempuing, permukiman baru di sekitar Pelabuhan Pulau Baai, sedangkan di wilayah barat laut meliputi sebagian kecamatan Teluk Segara, Kelurahan Rawa Makmur dan Kelurahan

Bentiring. Di samping itu daerah dengan tingkat risiko tinggi dapat dilihat pada daerah-daerah yang mempunyai fasilitas umum/sosial yang vital dan fasilitas maupun jaringan infrastruktur yang terletak pada zona bahaya sedang-tinggi dan zona bahaya tinggi, seperti Pelabuhan Pulau Baai. Fasilitas vital dan infrastruktur yang berisiko tinggi selain Pelabuhan Samudra Pulau Baai adalah WTP lama yang terletak di Kelurahan Surabaya, 2 jembatan yang menghubungkan Pelabuhan Pulau Baai dengan kota yang merupakan salah satu akses keluar/masuk kota Bengkulu. Sedangkan fasilitas vital dan infratraktur lainnya seperti PLTD Sukamerindu, 2 STO yang lama terletak di daerah yang relatif berisiko rendah, tetapi perlu dicatat di wilayah tersebut ada patahandi daerah Tanah Patah yang sangat rentan terhadap potensi retak (*fracturing*), maka jaringan air bersih, listrik dan telepon kemungkinan juga dapat berisiko tinggi untuk gagal. Demikian juga fasilitas sosial/umum seperti rumah sakit M. Yunus juga terletak pada daerah berisiko rendah, perlu juga memperhatikan adanya potensi keretakan tanah pada daerah Tanah Patah.

2.4.3 Kawasan Rawan Bencana Tsunami

Untuk mengurangi korban jiwa dan dampak kerusakan dari gejala alam ini diperlukan sebuah kajian mitigasi bencana yang diwujudkan ke dalam pemetaan rawan bencana, rencana penetapan bangunan penyelamat (*escape building*), rencana jalur penyelamatan/evakuasi (*escape road*), dan rencana lokasi penyelamatan darurat (*shelter*). Dengan demikian diharapkan dampak dari bencana tersebut paling tidak dapat diminimalisir sedini mungkin, baik pada saat kejadian maupun pada saat pasca kejadian. Dengan demikian maka perlu dilakukan kajian untuk : (1) Identifikasi daerah bahaya berdasarkan kemungkinan tingkat kerusakan yang akan terjadi; (2) Identifikasi bangunan

umum terdekat yang dapat dijadikan sebagai bangunan perlindungan (*escape building*); dan (3) Identifikasi jalur-jalur jalan yang dapat digunakan untuk menyelamatkan diri (*escape road*) menuju bangunan perlindungan.

Morfologi tanah Kota Bengkulu pada umumnya bergelombang. Di satu sisi kondisi ini menguntungkan karena akan menghambat/mereduksi kekuatan gelombang tsunami. Di sisi lain morfologi tanah yang bergelombang menciptakan adanya cekungan-cekungan tanah yang akan menjebak air tsunami. Pengalaman di Banda Aceh menunjukkan bahwa rendaman air tsunami menyebabkan tanaman dan hewan mati, bahkan orang yang menghirup air tersebut bila tidak segera ditolong akan tewas dalam jangka waktu beberapa hari.

Dalam upaya untuk mitigasi bencana tsunami maka di dalam RTRW kota Bengkulu dilakukan penetapan zona-zona bahaya yang menjadi dasar untuk mengarahkan pemanfaatan ruang selanjutnya.

Konsep penetapan zona bahaya dilakukan sebagai berikut :

- Zona bahaya didasarkan atas permukiman yang berada di sekitar pantai dengan ketinggian di bawah 10 m diperkirakan akan hancur diterjang gelombang tsunami. Selanjutnya kawasan ini disebut sebagai kawasan bahaya I.
- Permukiman (dengan konstruksi permanen) yang berada pada ketinggian di atas 10 m diperkirakan juga akan terkena gelombang tsunami, namun tidak sampai hancur. Kawasan ini selanjutnya disebut sebagai Kawasan Bahaya II.
- Kekuatan gelombang tsunami pada saat mencapai kawasan ini diperkirakan sudah berkurang hingga di bawah 50% karena sudah terhambat oleh bangunan-bangunan yang berada di kawasan Bahaya I. Permukiman yang berada di daerah cekungan kemungkinan akan terendam selama beberapa waktu oleh air tsunami yang

terjebak di dalamnya beserta dengan berbagai material yang dibawanya. Air tsunami ini akan mematikan semua jenis tanaman, hewan dan bahkan orang yang sempat menghirupnya. Sehubungan dengan itu kawasan seperti ini selanjutnya akan disebut sebagai Kawasan Bahaya Ib.

- Setelah melalui Kawasan Bahaya II kekuatan gelombang tsunami terus menurun namun masih akan mengalir ke arah pedalaman seperti air banjir biasa. Pengalaman di Banda Aceh yang morfologinya sangat datar, air banjir seperti ini mencapai jarak 2,6 Km dari garis pantai. Di Kota Bengkulu diperkirakan air banjir seperti ini akan mengalir hingga 1,5 Km dari pantai.

Untuk mengurangi korban jiwa dan dampak kerusakan dari gejala alam ini diperlukan sebuah kajian mitigasi bencana yang diwujudkan ke dalam pemetaan rawan bencana, rencana penetapan bangunan penyelamat (*escape building*), rencana jalur penyelamatan/evakuasi (*escape road*), dan rencana lokasi penyelamatan darurat (*shelter*). Dengan demikian diharapkan dampak dari bencana tersebut paling tidak dapat diminimalisir sedini mungkin, baik pada saat kejadian maupun pada saat pasca kejadian. Dengan demikian maka perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi Identifikasi daerah bahaya berdasarkan kemungkinan tingkat kerusakan yang akan terjadi, Mengidentifikasi bangunan umum terdekat yang dapat dijadikan sebagai bangunan perlindungan (*escape building*), dan Mengidentifikasi jalur-jalur jalan yang dapat digunakan untuk menyelamatkan diri (*escape road*) menuju bangunan perlindungan. Morfologi tanah Kota Bengkulu pada umumnya bergelombang. Di satu sisi kondisi ini menguntungkan karena akan menghambat/mereduksi kekuatan gelombang tsunami. Di sisi lain morfologi tanah yang bergelombang menciptakan adanya cekungan-cekungan tanah yang akan menjebak air tsunami.

Dalam upaya untuk mitigasi bencana tsunami maka didalam RTRW kota ini perlu dilakukan penetapan zona zona bahaya yang menjadi dasar untuk mengarahkan pemanfaatan ruang selanjutnya.

Penetapan zona bahaya dilakukan sebagai berikut :

- Zona bahaya didasarkan atas Permukiman yang berada di sekitar pantai dengan ketinggian di bawah 10 m diperkirakan akan hancur diterjang gelombang tsunami. Selanjutnya kawasan ini disebut sebagai kawasan bahaya I.
- Permukiman (dengan konstruksi permanen) yang berada pada ketinggian di atas 10 m diperkirakan juga akan terkena gelombang tsunami, namun tidak sampai hancur. Kawasan ini selanjutnya disebut sebagai Kawasan Bahaya II.
- Kekuatan gelombang tsunami pada saat mencapai kawasan ini diperkirakan sudah berkurang hingga di bawah 50% karena sudah terhambat oleh bangunan-bangunan yang berada di kawasan Bahaya I. Permukiman yang berada di daerah cekungan kemungkinan akan terendam selama beberapa waktu oleh air tsunami yang terjebak di dalamnya beserta dengan berbagai material yang dibawanya. Air tsunami ini akan mematikan semua jenis tanaman, hewan dan bahkan orang yang sempat menghirupnya. Sehubungan dengan itu kawasan seperti ini selanjutnya akan disebut sebagai Kawasan Bahaya II.
- Setelah melalui Kawasan Bahaya II kekuatan gelombang tsunami terus menurun namun masih akan mengalir ke arah pedalaman seperti air banjir biasa. Pengalaman di Banda Aceh yang morfologinya sangat datar, air banjir seperti ini mencapai jarak 2,6 Km dari garis pantai. Di Kota Bengkulu diperkirakan air banjir seperti ini akan mengalir hingga 1,5 Km dari pantai.

Bahaya utama gelombang tsunami timbul dari gelombang yang datang secara frontal terhadap bangunan yang ada dimuka pantai. Selain itu ada bahaya lateral yang datang dari adanya aliran gelombang tsunami yang mengalir melalui jalur jalan raya atau sungai yang posisinya tegak lurus terhadap pantai. Peristiwa tsunami di Kota Banda Aceh menunjukkan ketinggian air di tepi pantai mencapai 15 m. Setelah mengalir melalui jalan raya ketinggiannya menurun menjadi 2 m pada jarak 3 km dari pantai dan menurun menjadi 20 cm pada jarak 4 km dari pantai Sedangkan gelombang tsunami yang masuk melalui aliran sungai menurun menjadi 5 m pada jarak 8 Km dari pantai melalui sungai yang berkelok-kelok.

Dalam RTRW Kota Bengkulu telah direkomendasikan tempat-tempat yang menjadi tempat berkumpul dan jalur evakuasinya, sebagaimana tertera dalam tabel berikut.

Tabel 2.2. Lokasi Berkumpul dan Jalur Evakuasi di Kota Bengkulu

No.	Lokasi Titik Berkumpul	Ketinggian	Cakupan Wilayah Evakuasi	Jalur Evakuasi
1	Kampus Universitas Bengkulu	15 – 20 m dpl	Kel. Rawa Makmur Permai Kel. Rawa Makmur Kel. Beringin Jaya	Jl. UNIB Raya Jl. Kandang Limun Jl. Bandar Raya
2	Kampung Kelawi	14 m dpl	Kel. Pasar Bengkulu Kel. Kampung Bali Kel. Kampung Kelawi Kel. Tanjung Agung Kel. Tanjung Jaya	Jl. Pasar Bengkulu-Jl. Kalimantan-Jl. Enggano
3	Lapangan Merdeka	15 m dpl	Kel. Pondok Besi Kel. Malabero Kel. Sumur Meleleh Kel. Berkas	Jl. Pendakian-Jl. Depan Benteng Jl. Depan Lapas-Jl. SMP Carolus

No.	Lokasi Titik Berkumpul	Ketinggian	Cakupan Wilayah Evakuasi	Jalur Evakuasi
			Kel. Kebon Keling Kel. Tengah Padang	Jl. Pasar Barau-Jl. Dalam Pasar Baru Koto II
4	Mesjid At-Taqwa	14 m dpl	Kel. Penurunan Kel. Anggut Bawah	Jl. Pasar Baru-Jl. Nala Jl. Putri Gading Cempaka
5	Simpang Empat Pantai	12,5 m dpl	Kel. Penurunan Kel. Kebun Beler	Jl. Sedap Malam Jl. Kebun Beler
6	STM Negeri	13 m dpl	Kel. Lempuing	Jl. Batanghari Jl. Kampar Jl. Pembangunan
7	Lapangan Sepakbola Kemuning	10,5 m dpl	Kel. Lempuing Kel. Lingkar Barat	Jl. Pariwisata Jl. Ciliwung Jl. Serayur
8	Balai Buntar	19 m dpl	Kel. Lempuing Kel. Padang Harapan	Jl. Cimanuk Jl. Kap. Tendeau Jl. Natadirja
9	Lapangan Pagar Dewa	15 dpl	Kel. Muara Dua Kel. Kandang Mas Kel. Bumi Ayu Kel. Kandang	Jl. Ir. Rustandi Sugiarto
10	Lapangan Pesantren Pancasila	20 m dpl	Kel. Jembatan Kecil Kel. Sawah Lebar Kel. Kebun Tebeng	Jl. Jembatan Kecil Jl. Gunung Bungkok Jl. Merapi Jl. Danau
11	Terminal Betungan	20 m dpl	Kel. Padang Serai Kel. Sumber Jaya Kel. Bumi Ayu Kel. Teluk Sepang	Jl. Raya Betungan Jl. Dua Jalur Simpang Kandis
12	Simpang Empat Nakau	21 m dpl	Kel. Tanjung Agung Kel. Tanjung Jaya Kel. Semarang Kel. Surabaya	Jl. Irian Jl. Halmahera Jl. Danau

Sumber : Dinas Tata Kota dan Pengawasan Bangunan Kota Bengkulu, dalam BPBD Propinsi Bengkulu (2010)

2.5 Road Map Penelitian

Serangkaian penelitian pendahuluan yang pengusul lakukan pada 5 tahun terakhir menunjukkan bahwa data dan informasi wilayah pesisir Kota Bengkulu telah tersedia, tetapi data dan informasi tersebut masih bersifat sektoral dan banyak terjadi duplikasi data dan secara khusus semua data tersebut belum mengacu pada standar nasional yang ditetapkan oleh Bakosurtanal (Fauzi, 2006b). Melalui penelitian DIPA Universitas Bengkulu yang peneliti lakukan pada tahun 2006, telah merancang *design* basisdata spasial (SIG) yang mengacu pada sistem standar nasional dengan pendekatan ekologi yang terdiri dari aspek abiotik, biotik dan culture. *Design* basisdata yang dibuat baru merupakan kerangka basisdata dan masih sebatas rancangan awal dimana masing-masing aspek belum didefinisikan dan belum dicari datanya.

Pada tahun yang sama melalui penelitian Program Mitra Bahari bekerjasama dengan Dinas Kelautan dan Perikanan Propinsi Bengkulu, peneliti telah merancang dan mengembangkan sistem basisdata wilayah pesisir, dengan cara menyusun *design* basisdata dengan pendekatan *Hyrib* dimana data spasial dan data non-spasial (attribut) dibuat dalam format yang berbeda. Pada penelitian ini juga telah dianalisis tentang keberadaan dan ketersediaan data dari masing-masing kabupaten yang terdapat di Propinsi Bengkulu. Penelitian ini juga telah menghasilkan perangkat survey berupa daftar *cheklist* basisdata wilayah pesisir. Kajian tentang wilayah pesisir khususnya pesisir Kota Bengkulu, peneliti kembangkan kembali melalui penelitian Hibah Bersaing DP2M Dikti (Tahun 2008-2009), dimana dalam penelitian ini dikembangkan model pengelolaan wilayah pesisir dan analisis kesesuaian lahan pesisir di Kota Bengkulu dengan pemodelan spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Hasil penelitian Hibah Bersaing akan dijadikan sebagai basisdata wilayah pesisir yang merupakan input data

bagi penelitian yang diajukan ini. Salahsatu hasil penelitian ini adalah peta kawasan konservasi di wilayah pesisir Kota Bengkulu yang di penuh dengan hutan pinus dan hutan mangrove. Kawasan hutan seperti merupakan salah satu faktor penting untuk mengurangi dampak bencana tsunami di wilayah pesisir.

Penelitian-penelitian lain telah peneliti lakukan yang sangat menunjang penelitian unggulan Universitas Bengkulu tahun 2012 adalah penelitian dalam bidang pengolahan citra digital khususnya pada analisis citra penginderaan jauh. Topik penelitian dalam bidang ini dititik beratkan pada pengembangan sistem pengolahan dan analisis citra digital penginderaan jauh, khususnya pada teknik pengolahan dan penajaman citra dengan memanipulasi kenampakan spasial yaitu dengan menggunakan filter-filter digital. Penajaman citra bertujuan untuk meningkatkan mutu citra yaitu menguatkan kontras kenampakan atau informasi yang tergambar dalam citra penginderaan jauh. Dalam upaya menggali informasi tentang objek-objek yang terekam dalam citra penginderaan jauh diperlukan teknik ekstraksi yang baik, salah satu tekniknya adalah dengan cara merancang filter-filter digital baru. Penelitian yang telah dilakukan oleh Fauzi (2004), dikembangkan lagi oleh Fauzi (2007) melalui penelitian dosen Muda yang berjudul “Penggunaan Teknik *Filtering* Morfologi Matematik dalam Mengekstraksi Jaringan Jalan dari Citra Satelit” . Penelitian ini bertujuan untuk ingin mengembangkan teori-teori morfologi matematik dalam aplikasinya pada pengolahan citra digital, khususnya dalam proses ekstraksi kenampakan jaringan jalan yang terekam pada citra satelit. Secara khusus permasalahan yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan algoritma *filtering* morfologi matematik dalam mengekstraksi kenampakan jaringan jalan yang terekam pada sebuah citra satelit, sehingga kenampakan jaringan jalan dapat diperjelas.

Hasil-hasil penelitian yang telah dilaksanakan oleh pengusul baik penelitian dalam bidang pengolahan citra dan aplikasi SIG pada daerah pesisir sangat mendukung sekali terhadap **Usulan Penelitian Unggulan Universitas Bengkulu tahun 2012** yang akan diajukan ini. Hal ini menjadi salahsatu indikator bahwa pengusul mampu untuk mengintegrasikan teknik penginderaan jauh dan SIG dalam menyusun tata ruang wilayah pesisir Kota Bengkulu berbasis manajemen bencana.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk merancang model tata ruang wilayah berbasis manajemen bencana di Kota Bengkulu sehingga bila terjadi bencana dapat mengurangi resiko/dampak yang ditimbulkan oleh khususnya bagi masyarakat pesisir Kota Bengkulu serta dijadikan sebagai landasan (pedoman) untuk perencanaan pembangunan Kota khususnya wilayah pesisir Kota Bengkulu. Beberapa tujuan khusus yang hendak dicapai dalam penelitian ini meliputi:

1. Menyusun model genangan bencana tsunami di wilayah pesisir Kota Bengkulu yang didasarkan pada model matematis dan model spasial.
2. Menyusun peta zonasi kawasan aman serta merancang desain tata ruang wilayah pesisir Kota Bengkulu berbasis manajemen bencana.
3. Meningkatkan pengetahuan masyarakat perkotaan dalam menghadapi serta mengurangi dampak/resiko bencana, sehingga masyarakat dapat hidup dan bekerja dengan aman.

Output akhir yang diharap dari penelitian adalah dihasilkannya desain tata ruang wilayah pesisir berbasis manajemen bencana tsunami di Kota Bengkulu. Penelitian ini akan dikerjakan selama 3 (tiga) tahun dengan output setiap tahun penelitian diuraikan sebagai berikut:

1. Model dampak resiko bencana tsunami wilayah pesisir Kota Bengkulu.
2. Peta Zonasi kawasan aman dan Model Tata Ruang wilayah Kota Bengkulu berbasis manajemen bencana.

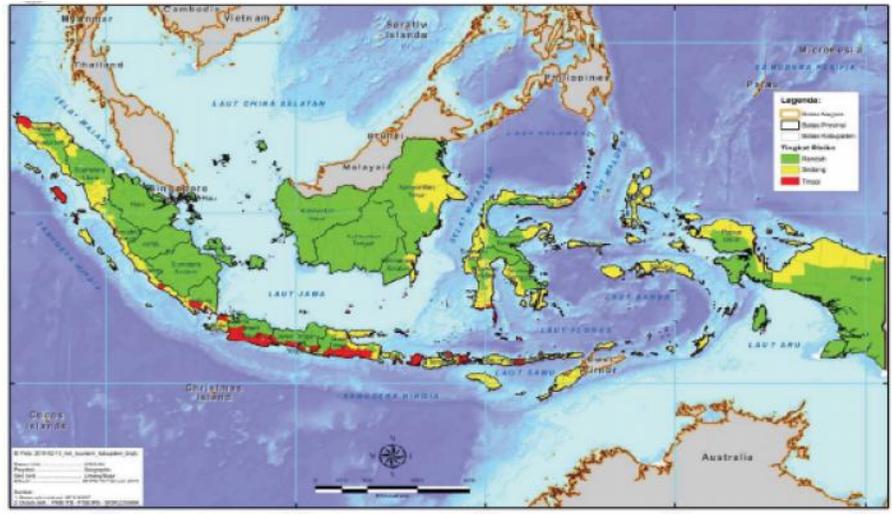
3. Model perilaku masyarakat pesisir Kota Bengkulu terhadap bencana tsunami dan WebGIS Manajemen Bencana Tsunami Kota Bengkulu

Target lain yang akan dicapai adalah: (a). Dihasilkannya artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam jurnal nasional (akreditasi), (b). Terlibatnya mahasiswa S-1 (sedikitnya dua orang) dari Program Studi Teknik Informatika dan Program Studi Matematika dalam penelitian awal khususnya pada pemodelan matematis dan spasial resiko tsunami, pengolahan citra penginderaan jauh, dan penyusunan peta zonasi wilayah pesisir berbasis SIG sehingga mereka dapat menyelesaikan skripsi lebih cepat dan tanpa dana, dan (c). Kontribusi pada pembangunan Kota Bengkulu adalah tersusunnya desain tata ruang wilayah pesisir sebagai dokumen arahan kebijakan bagi pengambil keputusan di kota ini dalam mengelola dan memanfaatkan wilayah pesisir, sehingga pemanfaatan lahan di wilayah pesisir dapat dikembangkan sesuai dengan potensi dan tingkat resiko bencana yang mungkin akan terjadi.

3.2. Manfaat Penelitian

Propinsi Bengkulu khususnya Kota Bengkulu merupakan salahsatu daerah rawan bencana tsunami, hal ini dapat dilihat dari peta indeks resiko bencana tsunami wilayah Indonesia, seperti yang terlihat dalam gambar 1.

Berdasarkan peta zonasi tsunami yang terdapat dalam gambar 1, Kota Bengkulu tergolong daerah yang patut diwaspadai terhadap bahaya gempa dan tsunami. Hal ini juga didukung oleh penelitian Suwarsono (2003) mengungkapkan bahwa terdapat 4 kecamatan dari 8 kecamatan di Kota Bengkulu tergolong rawan terhadap bencana tsunami.



Gambar 3.1. Peta Indeks Resiko Bencana Tsunami Indonesia
(Sumber: BPBD Propinsi Bengkulu, 2010)

Antisipasi Pemerintah Kota Bengkulu terhadap ancaman bencana tsunami sudah dimulai tahun 2006, dimana pada saat itu telah dibuat beberapa titik aman dan titik berkumpul. Titik aman untuk berkumpul apabila terjadi tsunami yang telah ditentukan oleh pemerintah Kota Bengkulu berupa daerah-daerah sebagai berikut: Universitas Hazairin dengan ketinggian 15,100 m, Bundaran Bank Indonesia dengan ketinggian 15,036 m, Kantor Lurah Kebun Dahri dengan ketinggian 14,901 m, masjid Baitul Izzah 14,654 m, Rumah Sakit Umum Daerah Bengkulu lama dengan ketinggian 14,336 m.

Namun penanganan apabila terjadi tsunami tidak cukup hanya dengan penentuan titik berkumpul (daerah yang aman terhadap tsunami) tetapi juga harus mengetahui

daerah-daerah mana saja yang rawan terhadap bencana tsunami, dengan cara memvisualisasikan daerah tersebut melalui peta kerawanan yang disertai dengan jalur evakuasi. Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu (Pemkot Bengkulu, 2002) yang ada saat ini belum mengakomodasi pemetaan daerah rawan bencana baik rawan bencana tsunami, dan gempa bumi. Dilihat dari dokumen RTRW Kota Bengkulu, belum ada perencanaan yang spesifik dan secara khusus mengatur perencanaan, penataan dan pemanfaatan lahan sebagai ruang evakuasi bencana Tsunami. Perencanaan tata ruang yang selama ini dibuat lebih banyak berorientasi ke darat dan hampir sama sekali tidak menyentuh aspek pesisir. Untuk membantu memberikan gambaran yang jelas dan akurat mengenai lokasi, jarak serta aksesibilitas antara lokasi aman dengan daerah yang rawan terhadap bencana tsunami dapat digunakan pemodelan spasial yang didapat dari integrasi teknik penginderaan jauh dan SIG. Diharapkan dengan penelitian tentang model tata ruang wilayah pesisir berbasis manajemen bencana, serta *output* peta yang dihasilkan dapat memberikan informasi tentang kebencanaan kepada masyarakat dalam menghadapi bencana tsunami di Kota Bengkulu.

Pesisir Kota Bengkulu merupakan kawasan yang memiliki dinamika pertumbuhan yang cukup pesat. Hal ini ditandai dengan berkembangnya pusat-pusat permukiman dan perkotaan serta industri pariwisata di kawasan pesisir Kota Bengkulu. Penataan kawasan pesisir Kota Bengkulu saat ini telah dituangkan dalam Rencana Strategis Wilayah Pesisir dan Laut Kota Bengkulu (Bappeda Kota Bengkulu, 2004). Besarnya tekanan terhadap wilayah pesisir diindikasikan oleh laju konversi lahan pesisir bagi berbagai kegiatan pembangunan yang cukup besar. Hal ini berimplikasi terhadap keberlanjutan ekosistem pesisir beserta sumberdaya alamnya. Tekanan yang demikian besar memungkinkan terjadinya penyimpangan terhadap kebijakan atau arahan yang

telah dihasilkan sebelumnya. Penyimpangan tersebut umumnya menyangkut kecenderungan perkembangan fisik, dan juga kebijakan-kebijakan baru yang berpengaruh terhadap pembangunan di wilayah pesisir. Penyimpangan-penyimpangan tersebut cenderung akan mengabaikan resiko jika terjadi bencana tsunami di daerah pesisir.

Manfaat penelitian yang dapat diambil oleh pemerintah daerah khususnya Kota Bengkulu adalah sebagai landasan/pedoman dalam mengembangkan dan memanfaatkan wilayah pesisir Kota Bengkulu yang didasarkan pada tingkat kerawanan terhadap bencana khususnya bencana tsunami. Penelitian ini berkontribusi pada tersusunya desain tata ruang wilayah pesisir sebagai dokumen arahan kebijakan bagi pengambil keputusan di Kota Bengkulu dalam mengelola dan memanfaatkan wilayah pesisir, sehingga pemanfaatan lahan di wilayah pesisir dapat dikembangkan sesuai dengan potensi dan tingkat resiko bencana yang mungkin akan terjadi.

Manfaat lain yang bisa langsung dirasakan oleh penduduk pesisir dengan adanya tata ruang wilayah pesisir yang berbasis manajemen bencana adalah penduduk pesisir akan terbantu dalam menemukan zona-zona aman bencana tsunami.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diusulkan untuk didanai selama tiga tahun, secara umum dibagi dalam tiga tahap kegiatan, seperti yang tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 4.1 Tahapan Kegiatan Penelitian Unggulan Universitas Bengkulu

Tahun	Fokus Kegiatan Penelitian	Lingkup Kerjaan	Output
(Pertama) 2012	Pemodelan Dampak Resiko Bencana Tsunami	a. Merancang pemodelan matematik dan simulasi model ketinggian dan jangkauan gelombang tsunami. b. Membuat model spasial tentang bencana tsunami yang didasarkan pada karakteristik lahan dan penggunaan lahan di wilayah pesisir c. Mengintegrasikan model matematik dan model spasial untuk memodelkan dampak resiko bencana tsunami Kota Bengkulu	Model Spasial (peta genangan tsunami Kota Bengkulu)
(Kedua) 2013	Pemetaan Zonasi Wilayah Pesisir	a. Pemetaan zonasi kawasan aman tsunami Kota Bengkulu, yang akan dibagi dalam tiga zona konservasi yaitu zona konservasi, zona penyangga dan zona bebas b. Penyusunan model tata ruang Kota Bengkulu berbasis manajemen bencana.	Peta Zonasi kawasan aman dan Model Tata Ruang wilayah Kota Bengkulu berbasis manajemen bencana
(Ketiga) 2014	Peningkatan Pengetahuan Dan Prilaku Kewaspadaan Masyarakat Pesisir Terhadap Bencana Tsunami		Model prilaku masyarakat pesisir Kota Bengkulu terhadap bencana tsunami
	Pembuatan Sistem Informasi Kebencanaan Berbasis Web	Rancangan sistem dan analisis sistem	WebGIS Manajemen Bencana Tsunami Kota Bengkulu

4.1 Wilayah Studi

Secara umum batasan wilayah studi yang akan dikaji adalah wilayah pesisir Kota Bengkulu. Wilayah Pesisir Kota Bengkulu terletak di pantai Barat Sumatera dengan garis pantai yang memanjang yang berorientasi arah barat laut ke tenggara sepanjang \pm

60 km. Wilayah Pesisir Kota Bengkulu merupakan wilayah yang unik dengan garis pantai yang memanjang dari arah timur laut ke tenggara. Wilayah Pesisir Kota Bengkulu yang terletak di pantai barat Sumatera berbatasan dengan Samudera Hindia dengan dasar yang curam di sebelah barat dan pegunungan Bukit Barisan di sebelah timur. Batas wilayah pesisir Kota Bengkulu ke arah laut adalah Samudera Hindia dengan lereng dasar perairan yang curam mulai dari garis pantai sampai batas teritorial sejauh 4 mil dari garis pantai ke laut lepas, sedang ke arah darat sampai batas administrasi kelurahan pesisir.

4.2. Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan tahun pertama akan diawali dengan melakukan studi awal tentang terjadinya tsunami dan dampak bencana tsunami. Studi awal ini dimaksudkan untuk menghimpun data dan informasi tentang bencana tsunami di Kota Bengkulu dengan lokasi penelitian adalah beberapa kelurahan pesisir yang diasumsikan rawan terhadap bencana tsunami. Setelah aktifitas ini dilakukan baru melaksanakan tahapan penelitian yang akan dilaksanakan pada tahun pertama. Uraian setiap tahapan penelitian seperti berikut:

Tahap 1. Pada tahapan ini akan dilakukan kegiatan pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder. Data primer didapat dari data penginderaan jauh (citra google eart) dan melalui observasi serta survey di lokasi penelitian (kelurahan pesisir), sedangkan pengumpulan data sekunder dilakukan melalui penelusuran berbagai pustaka yang ada di berbagai instansi pemerintah dan swasta serta di internet. Data yang akan dikumpulkan terdiri atas data spasial dan non-spasial berupa peta, laporan penelitian, laporan kegiatan.

Tahap 2. Tahap 2 merupakan tahap analisis data yang diperoleh pada tahap 1. Analisis data yang dilakukan meliputi analisis spasial terhadap lokasi penelitian mencakup 2 tahapan kegiatan, yaitu:

- a. pengolahan citra penginderaan jauh melalui interpretasi dan klasifikasi secara *digital on screen* dengan menggunakan *software Arcview 3.2* dan *Photoshop*. Citra satelit yang digunakan dalam penelitian adalah citra *google earth* yang diunduh dari internet dan di *mosaic* dengan menggunakan *software photoshop*. Teknik mendownload citra adalah dengan mengambil bagian citra yang mewakili kenampakan tutupan lahan di Kecamatan Telur Segara dan. Bagian-bagian citra tersebut kemudian di *mosaic* dengan menggunakan *photoshop* Hasil *mosaic* citra *goole earth* kemudian di insert ke *software Arcview* yang dioverlay dengan peta dasar Kecamatan Teluk Segara.

Hasil overlay peta dasar Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh dan Berkas di edit dengan memasukkan unsur jalan yang didigitasi diatas peta citra teluk segara melalui *digit on screen*. Unsur jalan yang dipetakan diantaranya adalah jalan utama, gang (jalan untuk sepeda motor) dan lorong (jalan untuk pejalan kaki). Selain digitasi jalan, juga dilakukan *digit on screen* terhadap tutupan lahan yang ada di yang ada di 3 kelurahan penelitian hasil klasifikasi tutupan lahan akan menghasilkan peta tutupan lahan yang akan digunakan untuk menentukan indeks kekasaran permukaan.

Penelitian ini juga membutuhkan peta kemiringan lereng Kota Bengkulu, peta ini didapat dari data sekunder yang diambil dari data penelitian Fauzi (2008). Dari analisis terhadap dua peta tersebut akan didapat daerah tentative genangan di kelurahan penelitian.

- b. Pemodelan spasial dan pemodelan numerik tentang tsunami. Pemodelan numerik dilakukan untuk menentukan ketinggian *run up* tsunami melalui data-data numerik. Model ini dapat dirancang dengan menggunakan skenario terburuk. Informasi ini kemudian menjadi dasar pembuatan peta kelas genangan tsunami. Model genangan akibat tsunami yang dianalisis dari gelombang datang (*run up*) dengan ketinggian 30 m. Penggunaan tinggi gelombang 30 m mengacu pada hubungan antara magnitudo tsunami (m) ketinggian tsunami (meter), dan skala kerugian dari Imamura dan Iida, (1949) dalam Purbani (2012). Seperti yang terdapat dalam tabel berikut:

Tabel 4.2 Hubungan antara magnitudo tsunami (m), ketinggian tsunami (meter), dan skala kerugian

No	Skala Magnitudo	Ketinggian Tsunami	Kerusakan
1	-1	< 50 cm	Tidak ada
2	0	1 m	Sangat sedikit
3	1	2 m	Kerusakan sepanjang pantai dan kapal
4	2	4 - 6 m	Sedikit sampai di daratan dan kerugian dari segi manusia
5	3	10 – 20 m	Kerusakan yang nyata di garis pantai lebih dari 400 km
6	4	30 m	Kerusakan yang nyata di garis pantai lebih dari 500 km

Sumber: Imamura dan Iida 1949 dalam Purbani 2012

Tinggi gelombang tersebut sangat dahsyat dengan tingkat kerusakan yang nyata di garis pantai lebih dari 500 km, sehingga digunakan untuk model genangan. Gelombang tsunami dengan tinggi gelombang 30 m mengakibatkan terjadi penggenangan penggunaan lahan di wilayah pesisir.

Tahap 3. Pemodelan spasial kelas genangan tsunami mengacu pada kriteria kerusakan yang dibuat Imamura dan Iida (1949) dalam Diposaptono dan Budiaman (2006), dengan memanfaatkan aplikasi Sistem Informasi Geografis. Parameter yang akan digunakan

dalam kegiatan penelitian ini adalah Topografi (lereng), Penutup Lahan, dan Daerah Genangan. Pemodelan genangan tsunami mengacu pada model yang dikembangkan oleh McSaveney dan Rattenbury (2000 dalam Damanik, 2008) dengan variabel penyusun yaitu skenario ketinggian *run-up* tsunami di garis pantai, koefisien kekasaran dan lereng. Skenario ketinggian *run-up* yang digunakan pada penelitian ini akan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Purbani (2012) dan Synolakis, dkk (2008). Peta koefisien kekasaran diperoleh dari peta penggunaan lahan hasil ekstraksi tutupan lahan yang dihubungkan nilai koefisien kekasaran yang dikembangkan oleh Damanik, (2008), Fitria (2008) dan Permana (2010). Peta lereng dihasilkan dari DEM (*Digital Elevation Model*) yang di ekstrak dari Peta Rupa Bumi Indonesia lembar Kota Bengkulu. Penurunan ketinggian air pada masing-masing daerah dihitung dengan menggunakan metode krigging melalui persamaan McSaveney dan Rattenbury (2000 dalam Berryman 2006) :

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

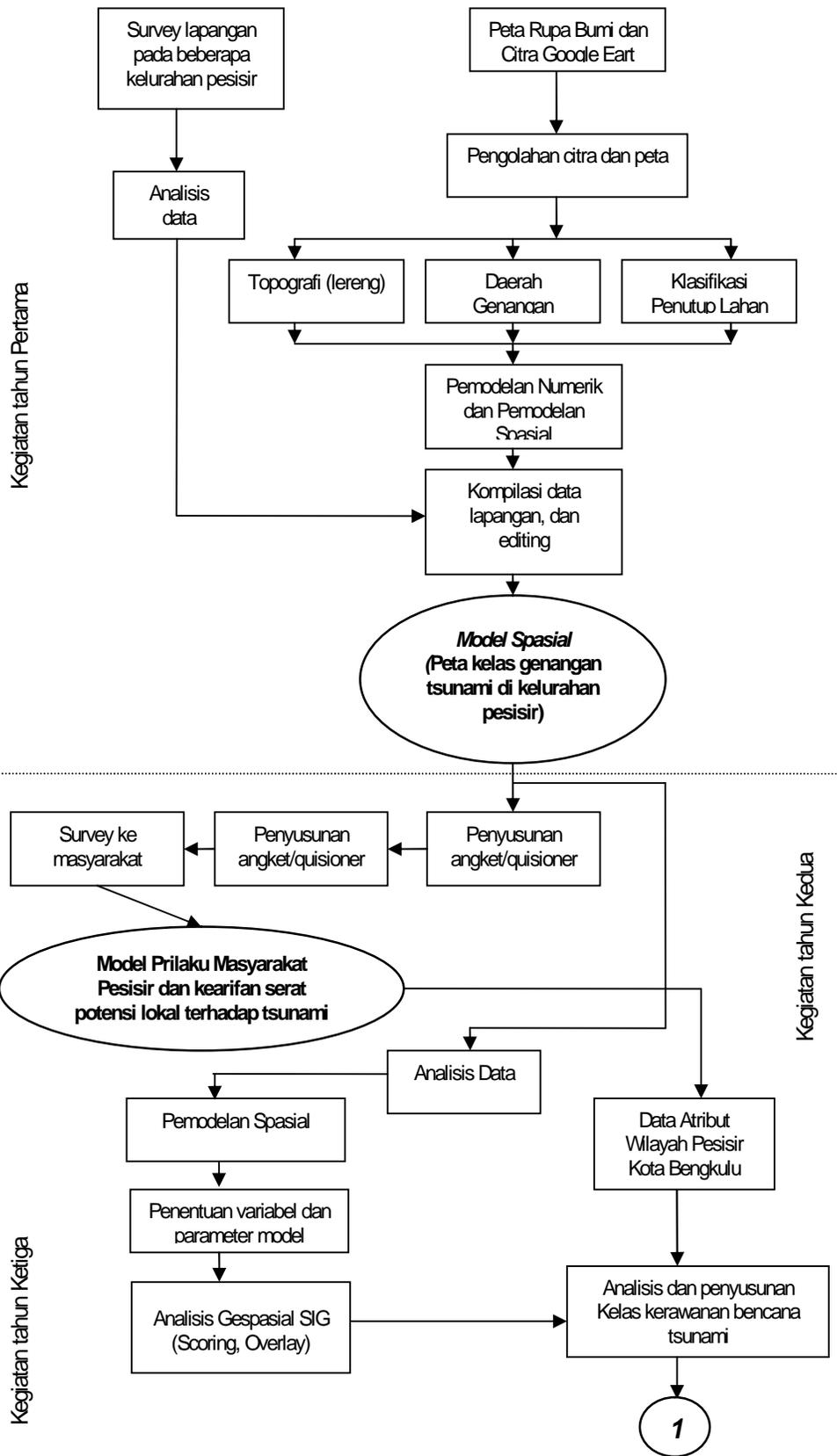
dimana

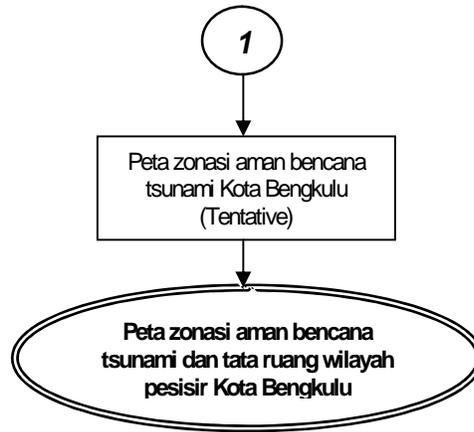
- H_{loss} = penurunan ketinggian air permeter dari jarak genangan
- n = koefisien kekasaran permukaan
- H_0 = ketinggian air pada garis pantai
- S = kelerengan

Indikator keberhasilan dari kegiatan tahun pertama adalah dihasilkannya model spasial berupa peta kelas genangan tsunami di lokasi penelitian. Berdasarkan tahapan kegiatan yang akan dilaksanakan pada tahun pertama dibutuhkan sumberdaya sebagai berikut:

- a. Bahan berupa Citra Satelit liputan wilayah Bengkulu, Peta Rupa Bumi lembar Bengkulu dalam bentuk format Digital, ATK, dll.

- b. Anggota peneliti yang akan terlibat dalam kegiatan tahun pertama adalah peneliti yang ahli dan berpengalaman dalam bidang bencana gempa, pemodelan dan analisis spasial.
- c. Penelitian pendahuluan berupa penelitian skripsi mahasiswa S1, yang akan difokuskan pada kajian model numerik dan model spasial wilayah pesisir Kota Bengkulu yang rentan terhadap bahaya tsunami.





Gambar 4.1 Digram Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Kondisi Umum Kota Bengkulu

5.1.1 Letak Geografis dan Luas Wilayah

Berdasarkan letak geografis, Kota Bengkulu berada pada rentang koordinat $30^{\circ} 45' - 30^{\circ} 59'$ Lintang Selatan dan $102^{\circ} 14' - 102^{\circ} 22'$ Bujur Timur. Kota Bengkulu memiliki pantai yang merupakan rangkaian dari pantai bagian Barat Pulau Sumatera yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Lingkungan pantai yang berhadapan dengan rezim energi (gelombang) kuat, yang dipengaruhi oleh *swell* dan diperkirakan menimbulkan erosi alami pantai akibat gelombang besar tersebut. Erosi alami pantai atau abrasi pantai ini berpotensi untuk menimbulkan sedimen pada garis pantai dan hal ini akan diperparah oleh suplai sedimen dari das besar yang terletak di sekitar Kota Bengkulu.

Secara administratif, Kota Bengkulu mempunyai luas wilayah daratan sekitar $151,7 \text{ km}^2$, ditambah 1 pulau dengan luas 2 Ha dan lautan seluas $387,6 \text{ Km}^2$ yang terdiri dari 9 kecamatan dan 67 kelurahan, dengan batas administratif sebagai berikut :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Bengkulu Tengah;
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kabupaten Seluma;
- Sebelah Timur berbatasan Kabupaten Bengkulu Tengah;
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.

Wilayah pesisir Kota Bengkulu umumnya mempunyai ketinggian antara 0 – 50 m diatas permukaan laut (dpl). Wilayah yang terluas dengan ketinggian 0 – 10 m (dpl) yaitu sekitar 10,248 Ha atau sekitar 70,91 % dari seluruh luas wilayah

Secara umum wilayah Kota Bengkulu didominasi oleh kelas lereng datar, yang mencapai 88,09% (12.730,7 Ha), yang terdiri dari 2 (dua) kelas kemiringan lereng yaitu kemiringan lerengnya 0 – 3% dengan luas 8.145,38 Ha dan sekitar 4.585,32 Ha kemiringan lereng 3 – 8% yang sesuai untuk pengembangan pembangunan kota.

Wilayah dengan kemiringan 0 – 3% ini terletak di daerah bagian Barat, Selatan dan Timur Laut Kota Bengkulu, sedangkan kemiringan lereng 3 – 8% sebagian di Utara, pusat kota yang memanjang ke arah Tenggara Kota Bengkulu.

Tabel 5.1. Kemiringan Lereng Kota Bengkulu

Nilai Kemiringan	Kelas	Luas (Ha)	Persentase (%)
0 - 3 %	Datar	8.145,38	56,36
3 - 8 %	Agak Landai	4.585,32	31,72
8 - 15 %	Landai	1.705,19	11,79
15 - 40 %	Agak Curam	16,11	0,11
Jumlah		14.452,00	100

Sumber : Perencanaan Minipolitan Pulau Baii Kota Bengkulu, Tahun 2010

Wilayah Kota Bengkulu mempunyai ketinggian antara 0 – 16 meter di atas permukaan laut, dengan keadaan topografi 70% datar dan bergelombang terdiri dari daerah pedataran, pedataran pantai dan daerah berawa-rawa, dan daerah perbukitan kecil dengan di beberapa tempat merupakan cekungan alur sungai (30%) dengan beberapa relief-relief kecil. Secara keseluruhan, wilayah ini merupakan punggung-punggung yang relatif datar, membujur dari Utara ke Selatan dengan tepi bagian timur terdapat banyak tanah-tanah rawa. Daerah bagian Timur ini sering tergenang air pada waktu musim penghujan.

5.2 Kondisi Umum Daerah Penelitian

Lokasi Penelitian Unggulan Unib tahun 2012 di difokuskan kepada salahsatu kecamatan dalam Kota Bengkulu, kecamatan tersebut adalah Kecamatan Teluk Segara.

Secara administratif, Kecamatan Teluk Segara mempunyai luas wilayah sekitar 2.528 Ha yang terdiri dari 13 kelurahan, dengan batas administratif sebagai berikut :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Sungai Serut;
- Sebelah Selatan dan Timur berbatasan dengan Kecamatan Ratu Samban;
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.

Pengunaan lahan yang terdapat dalam Kecamatan Teluk Segara saat ini banyak didominasi permukiman. Berdasarkan observasi lapangan pengembangan pemanfaatan ruang di daerah pesisir Kecamatan Teluk Segara banyak didominasi oleh kegiatan perdagangan dan permukiman warga. Salahsatu peninggalan sejarah yang cukup terkenal di tanah air terdapat dalam kecamatan ini yaitu Benteng Malborough.



Gambar 5.2 Kawasan Perdagangan Kecamatan Teluk Segara

Permukiman di kawasan Kecamatan Teluk Segara tergolong padat dan terus berkembang hal ini dibuktikan dengan banyaknya kawasan lahan tidur yang telah dikembangkan menjadi permukiman oleh masyarakat.

5.2.1 Profil Kelurahan Penelitian

Kelurahan yang dijadikan lokasi penelitian terdiri 3 kelurahan yaitu dari Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh dan Berkas yang termasuk ke dalam wilayah administrasi Kecamatan Teluk Segara. Kelurahan Malabero mempunyai batas administrasi:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kelurahan Kebun Keling.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kelurahan Teratai dan Jitra.
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kelurahan Sumur Meleleh.

Kelurahan Sumur Meleleh mempunyai batas administrasi:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kelurahan Malabero.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kelurahan Jitra.
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kelurahan Berkas.

Kelurahan Berkas mempunyai batas administrasi:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kelurahan Sumur Meleleh.
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kelurahan Jitra dan Pasar baru.
- Sebelah Barat berbatasan Samudera Hindia.
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kelurahan Anggut.

Berdasarkan jumlah unsur pemerintahan yang terdapat dalam setiap kelurahan, Kelurahan Malabero terdiri dari 12 RT, Kelurahan Sumur Meleleh terdiri dari 6 RT, dan Kelurahan Berkas terdiri dari 5 RT. Sedangkan aksesibilitas ketiga kelurahan dengan pusat kecamatan dan pusat Kota Bengkulu dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 5.2 Jarak Kantor Kelurahan ke Kecamatan dan Ke Pusat Kota Bengkulu

Kelurahan	Kecamatan	Kota
Malabero	2,0	3,0
Berkas	2,5	3,0
Sumur melele	3,0	3,0

Sumber : BPS Kota Bengkulu 2011

Ketiga kelurahan yang dijadikan lokasi penelitian merupakan permukiman yang padat penduduk, hal ini didasarkan bahwa pusat Kota Bengkulu dahulu terletak di daerah ini. Hal ini juga ditunjang dengan keberadaan pelabuhan Tapak Padri dan Benteng Malborough pada zaman kemerdekaan. Kelurahan Malabero juga merupakan pusat perdagangan cukup ramai di Kota Bengkulu pada zaman dahulu, hal ini dapat dibuktikan banyaknya bangunan-bangunan pertokoan yang sampai saat ini masih tetap dipertahankan keberadaannya. Tetapi seiring dengan perkembangan Kota Bengkulu daerah ini berangsur-angsur mulai banyak ditinggalkan pedagang, karena pusat keramaian sekarang telah berpindah ke Jalan Suprpto dan Pasar Minggu. Berdasarkan luas wilayah per kelurahan dan jumlah penduduk serta kepadatan dari masing-masing kelurahan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 5.3 Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, Dan Kepadatan

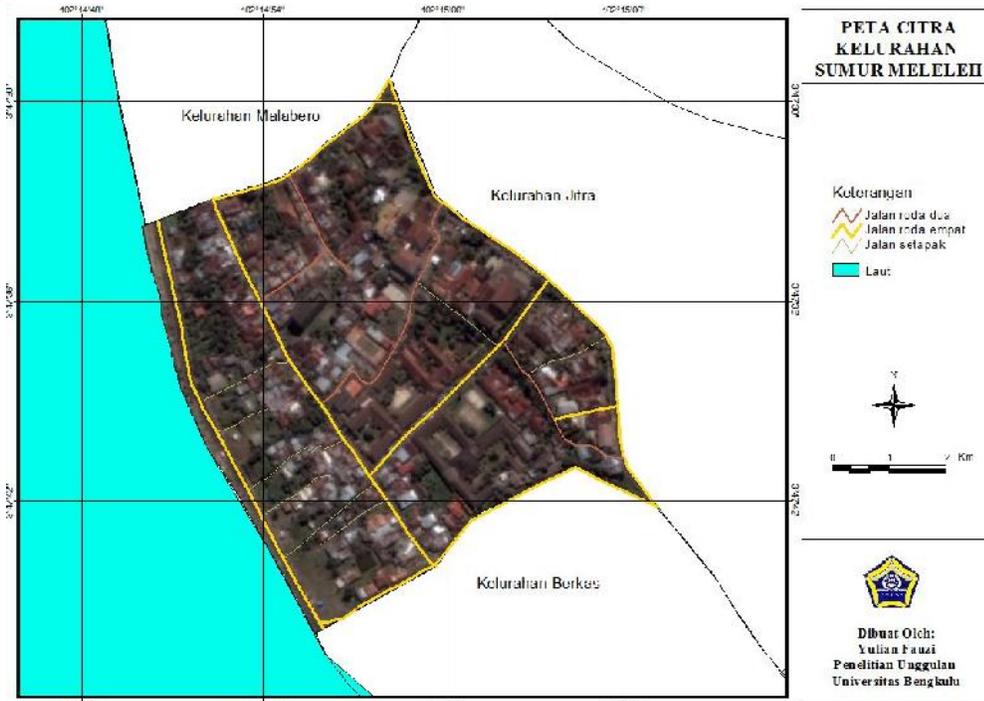
Kelurahan	Luas (Ha)	Jumlah penduduk	Kepadatan Penduduk
Malabero	17,73	2.528	160.2
Sumur Meleleh	15,35	1.128	79.2
Berkas	27,21	1.836	76.1

Sumber : BPS Kota Bengkulu 2011

Peta adminitrasi kelurahan yang dijadikan lokasi penelitian dalam bentuk peta citra satelit *google earth* dari masing-masing kelurahan dapat dilihat dalam gambar 5.3 – 5.5 berikut ini:



Gambar 5.3 Peta Citra Kelurahan Malabero



Gambar 5.4 Peta Citra Kelurahan Sumur Meleleh



Gambar 5.5 Peta Citra Kelurahan Berkas

5.3. Pemodelan Genangan Tsunami

5.3.1 Interpretasi Citra *Google Earth*

Interpretasi data penginderaan jauh dalam penelitian menggunakan citra *google earth* dengan perekaman tahun 2009. Citra *google earth* di unduh dan dimosaic dengan bantuan *software Photoshop*. Dari data penginderaan jauh di ekstraksi tutupan lahan dan penggunaan lahan yang kemudian di konversi menjadi kekasaran permukaan yang dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan dan tujuan dalam penelitian. Delineasi penggunaan lahan ini digunakan untuk menentukan koefisien kekasaran permukaan. Koefisien kekasaran ini penting karena akan sangat berpengaruh ketika pemodelan genangan akibat tsunami dilakukan.

Klasifikasi penutup lahan yang terdapat dalam Kecamatan Teluk Segara saat ini banyak didominasi permukiman. Penggunaan lahan yang terdapat di Kelurahan Berkas

didominasi permukiman padat dan lahan kosong. Lahan kosong terdapat disepanjang pantai sedangkan vegetasi dengan kerapatan rendah juga terdapat di kelurahan ini. Kelurahan Sumur Meleleh didominasi oleh permukiman yang diselingi oleh lahan kosong, sedangkan untuk gedung bertingkat dan vegetasi dikelurahan ini sangat minim. Kelurahan Malabero didominasi oleh permukiman dan gedung bertingkat, dikelurahan ini banyak terdapat ruko-ruko dan gedung bertingkat lainnya yang banyak difungsikan sebagai tempat budidaya burung walet.



Gambar 5.6 Penggunaan Lahan di Wilayah Penelitian

Komposisi dan luasan masing-masing penggunaan lahan di setiap kelurahan dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 5.4. Komposisi Penggunaan Lahan Daerah Penelitian

No	Penggunaan Lahan	Kel. Berkas		Kel. Malabero		Kel. Sumur Meleleh	
		(Ha)	%	(Ha)	%	(Ha)	%
1	Permukiman	11.615	42.69	7.245	40.88	10.855	70.73
2	Gedung Bertingkat	0.408	1.50	7.345	41.44	0.040	0.26
3	Vegetasi	4.111	15.11	0.790	4.46	0.865	5.64
4	Lahan kosong	11.075	40.70	2.343	13.22	3.587	23.37
Jumlah		27.21	100	17.73	100	15.35	100

Sumber : Hasil analisis spasial

5.3.2 Koefisien Kekasaran Permukaan

Hasil perumusan koefisien kekasaran permukaan yang diturunkan dari tutupan lahan/penggunaan lahan yang terekam dalam citra penginderaan jauh dan disesuaikan dengan penggunaan lahan yang ada di lokasi penelitian. Parameter kekasaran permukaan dan kemiringan lereng merupakan parameter yang dapat mengurangi energi ketinggian tsunami di daratan. Tabel berikut menampilkan daftar koefisien kekasaran permukaan khusus digunakan untuk menghitung aliran air yang melalui beberapa tipe penggunaan lahan yang berbeda (Aida, 1977 dan Kotani, 1998 dalam Permana, 2010).

Tabel 5.5 Koefisien kekasaran permukaan dengan modifikasi

No	Penggunaan lahan	Koefisien kekasaran permukaan
1	Permukiman	0.080
2	Gedung Bertingkat	0.080
3	Lahan Kosong	0.020
4	Vegetasi	0.040

Sumber : Permana (2010) dengan modifikasi

5.3.3 Analisis Genangan Tsunami

Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan pemodelan genangan ke arah darat berdasarkan variasi ketinggian run-up tsunami. Menurut Berryman (2006) menyatakan bahwa parameter untuk pemodelan tsunami pada dasarnya cukup dianalisis dengan parameter kemiringan lereng dan kekasaran permukaan. Pemodelan genangan

tsunami menggunakan aplikasi perangkat SIG dengan interpolasi ketinggian genangan berdasarkan perhitungan ketinggian genangan tsunami di darat. Hasil dari kajian bahaya tsunami ini berupa peta bahaya tsunami yaitu genangan tsunami yang mungkin terjadi di pesisir Kelurahan Malabero, Kelurahan Sumur Meleleh dan Kelurahan Berkas.

Pemodelan daerah tergenang disimulasikan dengan menghitung perambatan genangan tsunami dengan mempertimbangkan kemiringan, koefisien kekasaran permukaan, dan ketinggian gelombang. Parameter kekasaran permukaan dan kemiringan lereng dimasukkan kedalam persamaan (1) di daratan dengan simulasi ketinggian tsunami 5 meter, 15 meter, dan 30 meter. Hasil dari persamaan (1) menghasilkan titik-tik penurunan ketinggian tsunami didaratan. Titik-titik ketinggian yang didapat kemudian diinterpolasi dengan menggunakan interpolasi *Kriging* untuk mendapatkan zonasi daerah genangan yang mungkin terjadi. Dalam pemetaan daerah tergenang digunakan *Ordinary Kriging* dengan menggunakan *software Arcview 3.2*.



Gambar 5.7 Kriging Interpolator 3,2 SA

Metode *Kriging* adalah estimasi *stochastic* yang mirip dengan *Inverse Distance Weighted* (IDW) dimana menggunakan kombinasi linear dari *weight* untuk memperkirakan nilai diantara sampel data (Ctech Development Corporation, (2004) dalam Pramono (2008)). Asumsi dari metode ini adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial yang penting dalam hasil interpolasi ESRI. Metode *Kriging* sangat banyak menggunakan sistem komputer dalam perhitungan. Kecepatan perhitungan tergantung dari banyaknya sampel data yang digunakan dan cakupan dari wilayah yang diperhitungkan. Metode *Kriging* memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Metode ini menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. *Semivariogram* juga menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam interpolasi. *Semivariogram* dihitung berdasarkan sampel *semivariogram* dengan jarak h , beda nilai z dan jumlah sampel data n diperlihatkan pada persamaan berikut

$$y^*(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2 \quad (2)$$

Pada jarak yang dekat (sumbu horisontal), *semivariance* bernilai kecil. Tetapi pada jarak yang lebih besar, *semi-variance* bernilai tinggi yang menunjukkan bahwa variasi dari nilai z tidak lagi berhubungan dengan jarak sampel point. Jenis *Kriging* yang bisa dilakukan adalah dengan cara *spherical*, *circular*, *exponential*, *gaussian* dan *linear*. Tahapan dalam menggunakan metode ini adalah: analisa statistik dari sampel data, pemodelan variogram, membuat hasil interpolasi dan menganalisa nilai *variance*. Metode ini sangat tepat digunakan bila kita mengetahui korelasi spasial jarak dan orientasi dari data. Oleh sebab itu, metode ini sering digunakan dalam bidang ketanahan dan geologi. Kelemahan dari metode ini adalah

tidak dapat menampilkan puncak, lembah atau nilai yang berubah drastis dalam jarak yang dekat (Pramono, 2008).

Metode *Kriging* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan model *semivariogram eksperimental Eksponensial, Spherical, Gauss, Circular dan Linier*. Dari kelima *semivariogram* tersebut dipilih *semivariogram* yang terbaik yang mempunyai rentang nilai variansi yang terkecil untuk *run-up* 5 meter, 15 meter, dan 30 meter. Dari hasil simulasi model *semivariogram* didapatkan bahwa *semivariogram* terbaik untuk masing *run-up* dari setiap kelurahan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 5.6 Nilai Variansi dan Semivariogram Interpolasi Kriging

Kelurahan	<i>Run up</i> 5 meter		<i>Run up</i> 15 meter		<i>Run up</i> 30 meter	
	<i>Semivariogram</i>	<i>Variansi</i>	<i>Semivariogram</i>	<i>Variansi</i>	<i>Semivariogram</i>	<i>Variansi</i>
Malabero	<i>Circular</i>	2,42 -7,47	<i>Circular</i>	2,43-5,82	<i>Circular</i>	0,25-5,06
Sumur Meleleh	<i>Eksponensial</i>	0,03-24,65	<i>Circular</i>	0,1-16,27	<i>Circular</i>	0,17-15,42
Berkas	<i>Gauss</i>	1,32-14,95	<i>Circular</i>	3,84-8,06	<i>Circular</i>	2,74-5,77

Sumber: Hasil simulasi interpolasi Kriging

Dari tabel 3 menunjukkan bahwa *Semivariogram Circular* mendominasi *semivariogram* terbaik yang ditandai dengan rentang nilai *varians* yang terkecil dibandingkan dengan *semivariogram* yang lain. Hasil simulasi model genangan tsunami melalui interpolasi titik-titik ketinggian hasil perhitungan persamaan (1) pada setiap kelurahan dianalisis secara spasial dengan teknik overlay untuk mendapatkan luasan-luasan wilayah yang rawan terhadap skenario ketinggian *run-up* untuk masing-masing kelurahan. Prosedur yang diterapkan dalam mencari luasan daerah tergenang adalah dengan mencari titik-titik penurunan hasil perhitungan persamaan (1) yang mempertimbangkan ketinggian *run-up* tsunami di pantai (5 meter, 15 meter dan 30 meter), semua nilai koefisien kekasaran permukaan dan kemiringan lereng setiap derajat

($0^0 - 8^0$). Proses perhitungan menggunakan bantuan *Software Microsoft Excel*, hasil perhitungan kemudian dijadikan titik-titik penurunan didaratan. Titik-titik penurunan tersebut selanjutnya di digitasi kedalam peta dasar administrasi masing-masing kelurahan, disesuaikan dengan penggunaan lahan dan kemiringan lerengnya. Selanjutnya peta berupa sampel point ketinggian diinterpolasi dengan menggunakan interpolasi Kriging melalui *Extension Kriging Interpolator 3,2 SA*. Teknik analisis spasial untuk mendapatkan zona daerah rawan terhadap genangan tsunami menggunakan fasilitas *geoprocecing* dengan menu *Dissolve features based on an attribute*. Hasil analisis spasial terhadap kerawanan wilayah terhadap bencana tsunami dapat dilihat dalam tabel berikut:

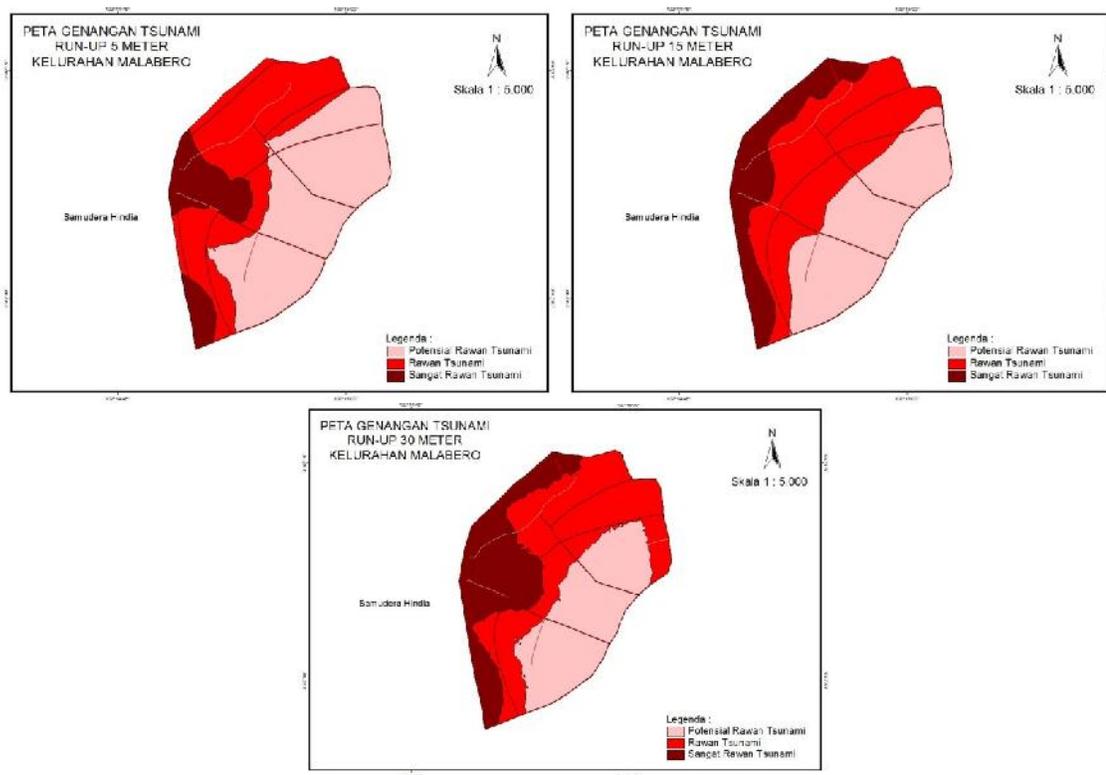
Tabel 5.7 Luas Daerah Rawan Resiko Bencana Tsunami
Berdasarkan Skenario Tinggi *Run-up*

	Malabero (Ha)			Sumur Meleleh (Ha)			Berkas (Ha)		
	<i>run up 5</i>	<i>run up 15</i>	<i>run up 30</i>	<i>run up 5</i>	<i>run up 15</i>	<i>run up 30</i>	<i>run up 5</i>	<i>run up 15</i>	<i>run up 30</i>
Sangat Rawan	2.312	3.3	4.664	1.975	2.22	2.307	6.169	10.264	11.22
Rawan	6.703	7.599	7.222	2.562	4.558	4.303	9.148	11.595	11.3
Potensial Rawan	8.717	6.833	5.846	10.565	8.814	8.736	11.892	5.349	4.688
Jumlah	17.732	17.732	17.732	15.347	15.347	15.346	27.209	27.208	27.208

Sumber : Hasil analisis spasial

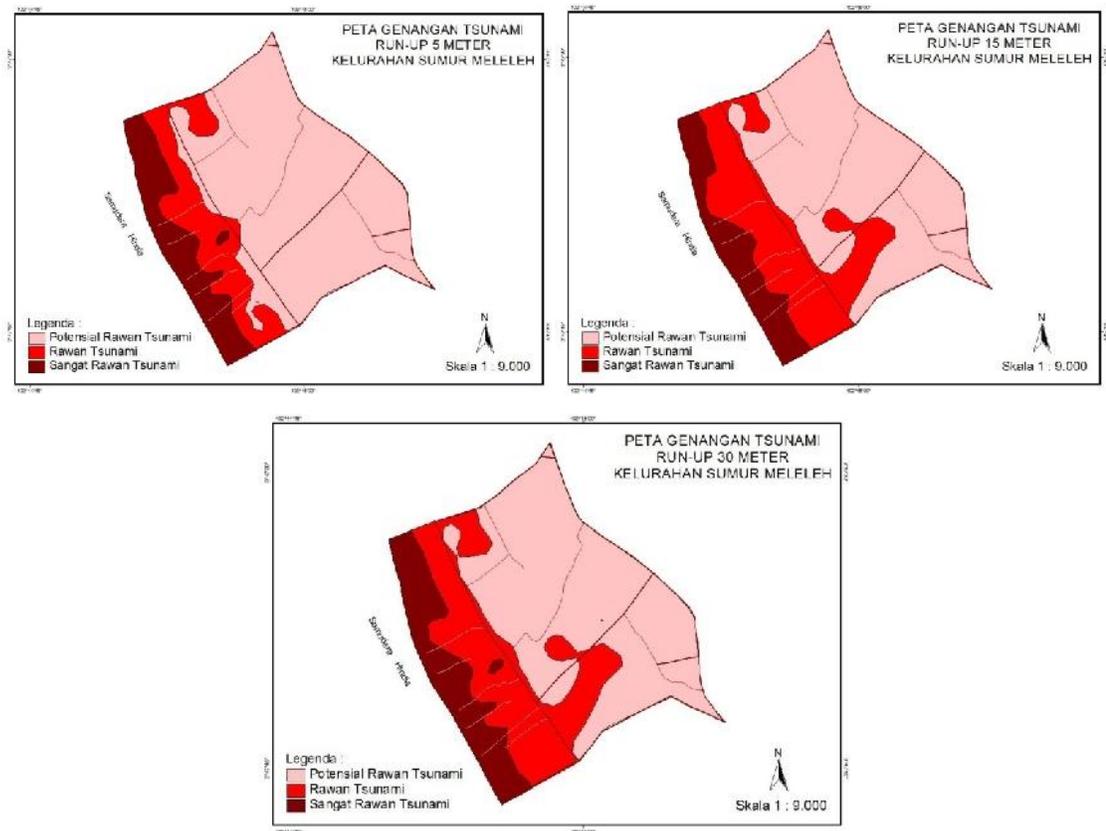
Hasil pemodelan terhadap resiko bencana tsunami untuk Kelurahan Malabero didapatkan bahwa luas wilayah yang sangat rawan terhadap bencana tsunami dengan ketinggian tsunami 5 meter seluas 2,312 (Ha) atau 13,04 % dari luas daerah Kelurahan Malabero. Sedangkan untuk ketinggian tsunami 15 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 3,3 (Ha) atau 18,61 % dari luas wilayah Kelurahan Malabero. Untuk ketinggian tsunami 30 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 4,66 (Ha) atau 26,3

% dari luas wilayah Kelurahan Malabero. Peta Genangan Tsunami untuk Kelurahan Malabero dapat dilihat dalam gambar 1.



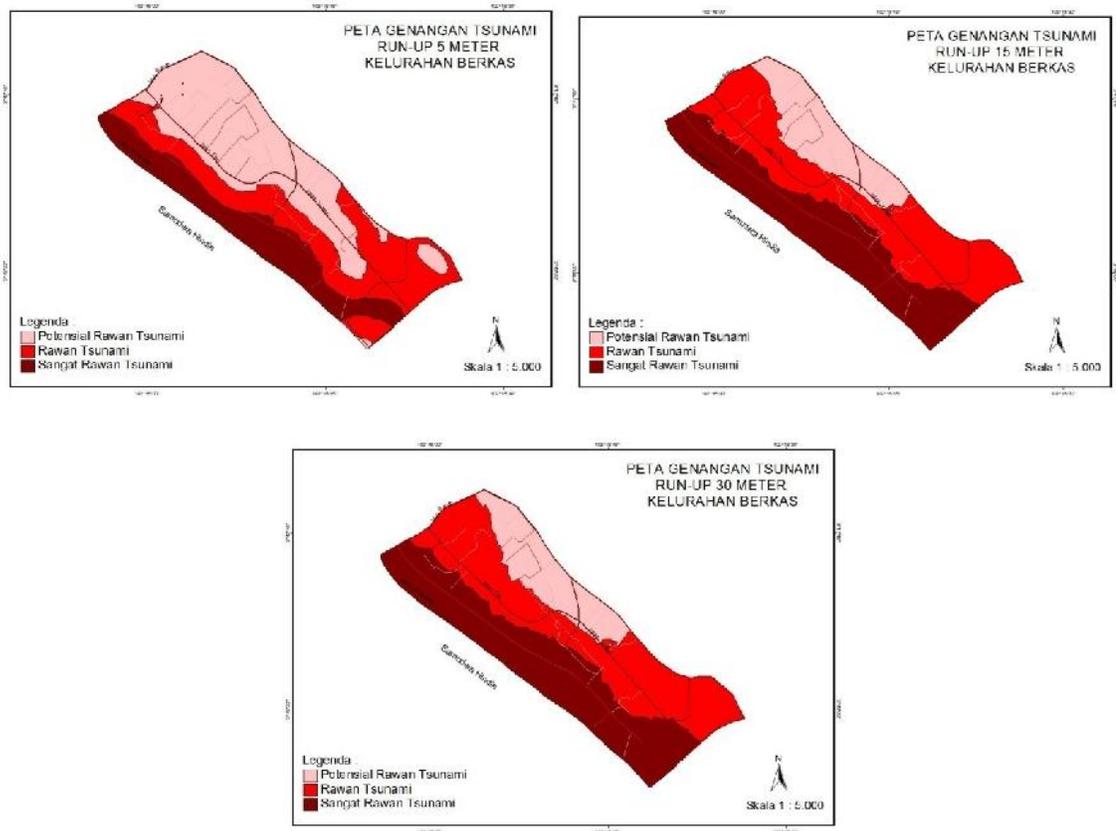
Gambar 5.8 Peta Genangan Tsunami Kelurahan Malabero Hasil Simulasi Model *run up* 5 meter, 15 meter, dan 30 meter

Hasil pemodelan terhadap resiko bencana tsunami untuk Kelurahan Sumur Meleleh didapatkan bahwa luas wilayah yang sangat rawan terhadap bencana tsunami dengan ketinggian tsunami 5 meter seluas 1,97 (Ha) atau 12,87 % dari luas daerah Kelurahan Sumur Meleleh. Sedangkan untuk ketinggian tsunami 15 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 2,22 (Ha) atau 14,47 % dari luas wilayah Kelurahan Sumur Meleleh. Untuk ketinggian tsunami 30 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 2,307 (Ha) atau 15,03 % dari luas wilayah Kelurahan Sumur Meleleh. Peta Genangan Tsunami untuk Kelurahan Sumur Meleleh dapat dilihat dalam gambar berikut:



Gambar 5.9 Peta Genangan Tsunami Kelurahan Sumur Meleleh Hasil Simulasi Model *run up* 5 meter, 15 meter, dan 30 meter

Hasil pemodelan terhadap resiko bencana tsunami untuk Kelurahan Berkas didapatkan bahwa luas wilayah yang sangat rawan terhadap bencana tsunami dengan ketinggian tsunami 5 meter seluas 6,17 (Ha) atau 22,67 % dari luas daerah Kelurahan Berkas. Sedangkan untuk ketinggian tsunami 15 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 10,26 (Ha) atau 37,72 % dari luas wilayah Kelurahan Berkas. Untuk ketinggian tsunami 30 meter luas wilayah yang sangat rawan seluas 11.22 (Ha) atau 41.24 % dari luas wilayah Kelurahan Berkas. Peta Genangan Tsunami untuk Kelurahan Berkas dapat dilihat dalam gambar berikut



Gambar 5.10 Peta Genangan Tsunami Kelurahan Berkas Hasil Simulasi Model *run up* 5 meter, 15 meter, dan 30 meter

Berdasarkan hasil simulasi dan pemetaan genangan tsunami pada tiga kelurahan didapatkan bahwa kelurahan yang mempunyai resiko sangat tinggi terhadap bencana tsunami adalah Kelurahan Berkas. Hal ini disebabkan bahwa kekasaran permukaan yang terdapat di Kelurahan Berkas memiliki koefisien yang lebih kecil dibanding dengan 2 kelurahan yang lain. Tsunami dapat masuk jauh ke daratan pada daerah yang memiliki factor hambatan kecil yang jenis lahannya di dominasi oleh lahan kosong dan vegetasi tergolong kedalam vegetasi dengan kerapatan rendah. Pemukiman didaerah ini juga tergolong kedalam pemukiman dengan tingkat kerapatan sedang dan tidak terdapat gedung-gedung tinggi (Ruko). Dengan kondisi lahan yang seperti ini penurunan

ketinggian air (tsunami) ketika memasuki daratan relatif lebih landai sehingga tsunami mampu jauh masuk ke daratan.

5.4 Pembahasan

Secara umum hasil pemodelan menunjukkan pengaruh hambatan faktor kekasaran permukaan lahan terhadap genangan tsunami yang sampai ke daratan. Kekasaran permukaan yang mempunyai nilai koefisien tinggi mampu menghadang genangan tsunami seperti permukiman gedung bertingkat. Sebaliknya nilai koefisien kekasaran permukaan yang kecil memiliki faktor hambatan kecil juga terhadap genangan tsunami yang masuk ke daratan seperti lahan kosong. Pada wilayah kelurahan yang memiliki gedung bertingkat dan permukiman padat dengan nilai koefisien kekasaran yang tinggi menyebabkan genangan tsunami teredam dengan baik. Faktor kemiringan lereng juga sangat mempengaruhi hambatan genangan tsunami yang masuk ke daratan. Kontur wilayah yang meninggi cukup baik dalam meredam genangan tsunami.

Pemodelan yang didapatkan dari penelitian belum memasukan fungsi *cost distance* untuk mencari jarak penurunan genangan tsunami sampai ke daratan pada kekasaran permukaan dan kemiringan lereng yang berbeda. Dalam penelitian belum mampu mencari jarak terjauh dari genangan tsunami yang sampai ke daratan. Penelitian ini hanya mengkonversi ketinggian hasil perhitungan dari persamaan genangan tsunami yang dijadikan titik-titik ketinggian. Titik ketinggian tersebut di interpolasi menggunakan interpolasi kriging. Dasar penentuan daerah rawan genangan tsunami yang dihasilkan dalam penelitian ini sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh

Permana (2010). Sehingga penentuan daerah rawan bencana tsunami yang dibuat pada ketiga kelurahan cukup mewakili dampak genangan tsunami pada ketiga kelurahan.

Usaha untuk mengkaji potensi bencana tsunami bisa dilakukan dalam tempo singkat tapi harus dilakukan secara komprehensif, sistematis dan terintegrasi dalam rencana jangka panjang. Sejalan dengan usaha ini maka data base informasi potensi bencana tsunami dan semua peta-peta rawan dan resiko bencana tsunami harus tersedia dan selalu di update dan direvisi secara berjangka. Usaha untuk mitigasi bencana tsunami dapat dilakukan dengan cara sbb (Hilman, 2007):

1. Mempunyai peta dan informasi yang cukup mengenai potensi bencana alam. Peta rawan bencana yang bisa dipakai untuk input dalam pembuatan RT RW, kontingensi plan, menyiapkan masyarakat siap bencana dan lain-lain adalah harus mempunyai ketelitian atau skala yang cukup besar. Peta ini juga harus mempunyai informasi yang cukup detil tentang parameter-parameter sumber bencana dan analisa potensinya.
2. Melakukan usaha-usaha untuk mengurangi rawan bencana bagi populasi penduduk yang berada di wilayah rawan bencana. Untuk populasi penduduk yang berada di wilayah inundasi tsunami maka harus direncanakan bagaimana penduduk bisa menyelamatkan diri ketika tsunami datang. Hal ini bisa dilakukan, misalnya dengan membuat rute dan tempat evakuasi yang sebaik-baiknya atau membuat struktur bangunan untuk evakuasi di dekat pemukiman apabila penduduk tidak akan sempat untuk keluar dari wilayah inundasi tsunami.
3. Memasukan faktor kerawanan bencana alam pada RTRW sehingga dalam angka panjang ke depan akan semakin sedikit pemukiman serta bangunan-bangunan umum yang berada di lokasi rawan bencana alam. Dengan kata lain, dengan RTRW yang

aman bencana maka bencana alam yang terjadi di masa depan akan emakin sedikit memakan korban, bukan sebaliknya.

4. Melaksanakan pendidikan dan pelatihan pengetahuan kebencanaan untuk para pejabat, petugas, dan masyarakat umum. Sekarang sudah saatnya juga untuk memasukan pengetahuan tentang bencana alam ini dalam pendidikan formal: SD, SMP, dan SMA.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Estimasi tsunami berdasarkan variasi ketinggian *run-up* dapat dilakukan dengan menggunakan pemodelan spasial dengan teknik interpolasi Kriging menggunakan software Arcview 3,2 melalui *Extension Kriging Interpolator 3,2 SA*. *Semivariogram* interpolasi Kriging yang terbaik berdasarkan data titik-titik ketinggian di lokasi penelitian adalah *Semivariogram Circular* yang ditandai dengan rentang nilai varians yang kecil dibanding dengan rentang varian pada *semivariogram Eksponensial, Gauss, Linier* dan *Spherical*.
2. Hasil pemodelan menunjukkan pengaruh hambatan faktor kekasaran permukaan lahan terhadap genangan tsunami yang sampai ke daratan. Kekasaran permukaan yang mempunyai nilai koefisien tinggi mampu menghadang genangan tsunami, sebaliknya kekasaran permukaan yang mempunyai nilai koefisien kecil memiliki faktor hambatan kecil juga terhadap genangan tsunami yang masuk ke daratan.
3. Hasil pemodelan tingkat resiko bencana tsunami pada Kelurahan Malabero, Sumur Meleleh dan Berkas diketahui bahwa Kelurahan Berkas merupakan kelurahan yang memiliki tingkat resiko tinggi terhadap bencana tsunami dari berbagai skenario *run-up*. Luas wilayah genangan yang bisa terjadi di kelurahan ini pada skenario *run-up* 30 meter hampir separuh dari wilayah akan tergenang tsunami yaitu seluas 11,22 (Ha) atau 41.24 % dari luas wilayah Kelurahan Berkas.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dicapai, penelitian ini telah mampu memodelkan genangan tsunami di Kelurahan Malabero, Kelurahan Sumur Meleleh dan Kelurahan Berkas. Pemodelan genangan tsunami yang dikembangkan untuk menentukan zonasi wilayah rawan bencana tsunami didapat dari hasil perhitungan model genangan tsunami berupa titik-titik ketinggian penurunan tsunami yang sampai didaratan. Tetapi *Interpolasi Kriging* yang digunakan adalah menginterpolasi titik-titik ketinggian yang dikonversi menjadi zona-zona rawan bencana. Dalam penelitian ini tidak menggunakan fungsi *cost distance* untuk menghitung penurunan tsunami per satu meter setelah sampai didaratan. Untuk itu agar didapatkan hasil yang optimal tentang pemodelan genangan tsunami yang mempertimbangkan penurunan tsunami per jarak satu meternya perlu dilakukan kajian lebih lanjut dengan mempergunakan aliran *cost distance* sesuai arah datangnya gelombang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Kota Bengkulu, 2004, *Renstra Wilayah Pesisir dan Laut Kota Bengkulu*. Bengkulu
- Berryman, K. 2006, *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*, New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Science. Lower Hutt.
- BNPB, 2010, Rencana Nasional Penanggulangan Bencana 2010-2014, Jakarta
- BPS Kota Bengkulu, 2011, *Kecamatan Teluk Segara Dalam Angka*, Bengkulu.
- BPPD Propinsi Bengkulu, 2010, *Atlas Peta Resiko Bencana Propinsi Bengkulu* . Bengkulu
- Dahuri, R., J. Rais, S. P. Ginting, M. J. Sitepu. 2001. Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Laut Secara Terpadu. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta
- Damanik. M.R.S, 2008, *Pemodelan Tingkat Risiko Tsunami Kota Denpasar Menggunakan Citra ASTER dan Sistem Informasi Geografis*. Artikel PIT MAPIN VII, Bandung
- Fauzi. Y., Dulbahri dan Sri Wahyuni., 2004, Peran Penapisan Morfologi Matematik Terhadap Kenampakan Linier Pada Citra Landsat TM, Jurnal *Sains dan Sibernatika*, UGM. Vol. 17, NO. 3, hal: 455-465. (Terakreditasi)
- Fauzi, Yulian 2006a, *Perancangan Sistem Basis data Spasial Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Laporan Penelitian Dana DIPA Universitas Bengkulu. Bengkulu. (tidak dipublikasikan)
- Fauzi, Yulian, 2006b, *Penyusunan Basisdata Sistem Informasi Geografis (SIG) Dalam Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Laut Propinsi Bengkulu*. Laporan Akhir Konsorsium Mitra Bahari RC Bengkulu, Bengkulu. (tidak dipublikasikan)
- Fauzi.Y., Mayasari. Z.M, 2007. Penggunaan Teknik Filtering Morfologi Matematik dalam Mengekstraksi Jaringan Jalan dari Citra Satelit. Jurnal *TEKNOSIA*, Vol. 1, No.1, hal: 7-14.
- Fauzi, Y., Susilo. B dan Mayasari. Z.M, 2009, Analisis Kesesuaian Lahan Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Melalui Perancangan Model Spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Jurnal *Forum Geografi*, Vol. 23, NO. 2, hal: 101-110.
- Fitria, N. 2008, *Kajian bahaya Tsunami pada Variasi Ketinggian Run-Up dan Arah Tsunami*. Artikel PIT MAPIN VII, Bandung

- Hilman, D, N, 2007, *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam*. ITB, Bandung
- Permana, D., 2010, *Analisis Pemodelan Inundasi Tsunami Terhadap Jenis Tutupan lahan di Kota Bengkulu*. Tesis S2, Prodi Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Purbani. D, 2012. *Strategi Mitigasi Tsunami Berbasis Ekosistem Mangrove Dalam Aplikasi Pemanfaatan Ruang Pantai Timur Pulau Weh*. Tesis S2, Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.
- Pramono. G.H., 2008, Akurasi Metode Idw Dan Kriging Untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Maros, Sulawesi Selatan, *Jurnal Forum Geografi*, Vol. 22, No. 1, Hal: 145-158
- Roxing Li, Keong. CW, Ramcharan.E, Kjerfve. B, and Willis, D. 1998, A Coastal GIS for Shoreline Monitoring and Management – Case Study in Malaysia, *Surveying and land Information System*, Vol 58, NO.3. (157-166)
- Synolakis, C. E., Bernard, E. N., Titov, V. V., NogLu, U. Ka., And. Gonzalez, F. I., 2008, Validation and Verification of Tsunami Numerical Models, *Jurnal Pure Appl. Geophys.* 165 page: 2197–2228