

PEMODELAN TINGKAT RISIKO BENCANA TSUNAMI PADA PERMUKIMAN DI KOTA BENGKULU MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS Modeling Of Tsunami Disaster Risk In The Settlement of Bengkulu City Using Geographic Information System

S. Hidayatullah Santius

Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman
Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393
E-mail : syarif.h@puskim.pu.go.id

Diterima : 02 Maret 2015; Diterima : 15 Mei 2015

Abstrak

Perairan laut dan pesisir Kota Bengkulu merupakan zona subduksi lempeng Indo - Australia dengan lempeng Eurasia dengan laju pergeseran sebesar 9 cm/tahun. Kondisi ini menyebabkan Kota Bengkulu sangat rawan terhadap gempa bumi dengan magnitudo di atas 6 skala Richter (SR) yang merupakan salah satu pemicu terjadinya tsunami. Dalam kurun waktu dari tahun 2000 - 2010 tercatat ada 2 gempa besar terjadi di Bengkulu, yaitu tahun 2000 (7,9 SR) dan tahun 2008 (7,9 SR). Salah satu model yang dapat digunakan untuk memprediksi tingkat risiko bencana tsunami adalah Model Crunch. Model ini merupakan hasil perkalian antara bahaya (hazard) dengan kerentanan (vulnerability). Parameter hazard dan vulnerability tersebut selanjutnya dimodelkan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Daerah yang berisiko tinggi terhadap bahaya tsunami di Kota Bengkulu berdasarkan asumsi/simulasi tinggi gelombang tsunami 20 meter, yaitu seluas 29,99 km² atau sekitar 20,19% dari total luas wilayah Kota Bengkulu. Daerah tersebut sebagian besar berada di pinggir pantai dengan ketinggian permukaan tanah kurang dari 10 meter dengan dominasi penggunaan lahan berupa permukiman. Kecamatan yang masuk dalam zona risiko tinggi bahaya tsunami antara lain : Kecamatan Teluk Segara (95,38% dari luas kecamatan), Kecamatan Ratu Samban (57,87% dari luas kecamatan), Kecamatan Ratu Agung (56,41% dari luas kecamatan), dan Kecamatan Kampung Melayu (42,95% dari luas kecamatan).

Kata Kunci : Model, risiko, tsunami, Bengkulu, Sistem Informasi Geografis

Abstract

Ocean and coastal area of Bengkulu City is lied on subduction zone, Eurasian Plate and Indo-Australian plate with rate of shift about 9 cm / year. This condition causes Bengkulu city very potential to earthquakes with magnitudes above 6 in Richter scale which is could trigger/come tsunami wave. In the period of year 2000 - 2010, there were two major earthquakes occurred in Bengkulu, namely in 2000 (7.9 Richter scale) and 2008 (7.9 Richter scale). One of model that can be used to predict the risk level of the tsunami is Crunch Model. This model is resulted from multiplication between the hazard and the vulnerability. Hazard and vulnerability parameters are modeled used Geographic Information System (GIS). Areas at high risk of tsunami hazard in Bengkulu city on the simulation of 20 meters tsunami wave height, is 29.99 km², or about 20.19% of the total area of Bengkulu city. There areas are mostly located at the seaside with the ground surface elevation less than 10 meters with the settlements as dominant land use. District that have the high risk of tsunami hazard such as Teluk Segara (95.38% of the district), Ratu Samban (57.87% of the district), Ratu Agung (56.41% of the district) , and Kampung Melayu (42.95% of the district).

Keywords : Model, risk, tsunami, Bengkulu, Geographic Information System

PENDAHULUAN

Tsunami adalah gelombang laut yang sangat besar yang dipicu oleh gempa bumi di dasar laut akibat penujaman atau subduksi lempeng, pergerakan patahan, letusan gunung api di dasar laut, maupun tumbukan benda luar angkasa. Syarat terjadinya tsunami adalah gempa bumi bermagnitudo di atas 6 skala Richter (SR) yang berada pada kedalaman kurang dari 60 km, dan jenis sesar gempa merupakan sesar naik atau sesar turun.

Berdasarkan katalog gempa Indonesia dari tahun 1629 - 2002, telah terjadi gelombang tsunami sebanyak 109 kali dengan magnitudo tsunami berkisar antara 1,5 - 4,5 skala Imamura yang telah menimbulkan gelombang tsunami di pantai setinggi 4 - 24 m (Harsanugraha 2008).

Tinggi gelombang tsunami terkait dengan kedalaman laut, semakin dalam laut semakin besar potensi ukuran gelombang tsunami. Ukuran gelombang tsunami yang sangat besar yang pernah

terjadi di Indonesia disebabkan tidak hanya oleh gempa bumi besar yang terjadi pada patahan laut (subduksi), tetapi juga karena adanya perpindahan dasar laut yang terjadi di dekat patahan laut dalam (Jordan 2008). Samudera Hindia yang sangat dalam menyebabkan gelombang tsunami menempuh perjalanan jauh tanpa kehilangan banyak energi.

Kota Bengkulu berada di sebelah barat Pulau Sumatera sangat potensial mengalami gempa bumi besar dan tsunami. Secara geologis, perairan laut Kota Bengkulu merupakan zona subduksi lempeng Indo - Australia dengan lempeng Eurasia dengan laju pergeseran sebesar 4 - 6 cm/tahun (Winardi, et al. 2006). Kondisi ini menyebabkan Kota Bengkulu sangat rawan terjadi gempa bumi dengan magnitudo di atas 6 SR yang merupakan salah satu pemicu terjadinya tsunami. Dalam kurun waktu dari tahun 2000 - 2008 tercatat ada 2 gempa besar yang terjadi di Bengkulu, yaitu tahun 2000 (7,9 SR) dan tahun 2008 (7,9 SR).

Upaya pengurangan risiko bencana tsunami dapat dilakukan secara struktural maupun non struktural. Upaya struktural seperti membangun *giant sea wall* atau *breakwater* di sepanjang pantai yang berisiko tinggi. Upaya ini tentunya membutuhkan biaya yang besar dan tidak semua negara atau daerah mampu membangunnya.

Upaya pengurangan risiko bencana tsunami non struktural dapat dilakukan melalui pendidikan dan penyebarluasan informasi kepada masyarakat mengenai bahaya tsunami. Informasi yang memadai tentang risiko bencana tsunami dapat disediakan melalui analisis yang komprehensif menggunakan sistem informasi geografis (SIG) (Bambang, et al. 2007).

SIG merupakan alat analisis spasial yang digunakan untuk mengkaji dan menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di permukaan bumi sehingga dapat dimodelkan ke dalam bentuk yang lebih sederhana. SIG menyimpan semua informasi deskriptif unsur-unsurnya sebagai atribut-atribut dalam basis data dan membentuk serta menghubungkan unsur-unsur tersebut dengan tabel-tabel (relasional). Dengan demikian, atribut-atribut tersebut dapat diakses melalui lokasi-lokasi unsur-unsur peta dan begitu pula sebaliknya (Prahasta 2001).

Teori Tsunami dan Pembangkitnya

Secara ilmiah tsunami didefinisikan sebagai gelombang panjang yang timbul akibat adanya perubahan dasar laut atau perubahan badan air yang terjadi secara tiba-tiba dan impulsif akibat gempa bumi, erupsi vulkanik, longsoran bawah laut atau runtuhnya gunung es dan bahkan sebagai

akibat dari tumbukan benda-benda angkasa (Latief 2005). Berdasarkan data sejarah tsunami, kejadian tsunami paling sering disebabkan oleh gempa bumi.

Tidak semua gempa menimbulkan tsunami, ada beberapa kriteria gempa yang dapat menimbulkan tsunami. Menurut Sutowijoyo (2005), karakteristik gempa bumi yang dapat menimbulkan tsunami besar antara lain :

1. Gempa bumi terjadi pada sesar naik (*thrust/reverse fault*), tipe sesar jenis ini sangat efektif dalam memindahkan massa air di atasnya yang merupakan embrio gelombang tsunami.
2. Kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu, semakin besar sudutnya (mendekati 90°) maka semakin besar efek tsunami yang terbentuk.
3. Kedalaman pusat gempa yang dangkal (<70 km)

Saat pertama kali dibangkitkan pada perairan dalam, gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat panjang (100 - 200 km) dan amplitudo (tinggi gelombang) yang kecil berkisar 1 m. Setelah memasuki perairan dangkal, tinggi gelombang tsunami akan menjadi berkali-kali lipat dari tinggi gelombang awal saat dibangkitkan. Fenomena ini disebut *shoaling effect* dan dapat dijelaskan melalui persamaan berikut. (Murata, et al. 2011).

$$\frac{n}{n_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots (1)$$

Pada persamaan 1 di atas, n dan n₀ merupakan tinggi gelombang tsunami pada kedalaman laut h dan h₀. Jika gelombang tsunami dibangkitkan pertama kali pada kedalaman laut 4000 m, maka pada saat gelombang tsunami mencapai perairan yang berkedalaman 10 m akan terjadi amplifikasi

$$\text{tinggi gelombang sebesar } \frac{n}{n_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{10}{4000}\right)^{\frac{1}{4}} = 4,47 \text{ kali tinggi gelombang awal.}$$

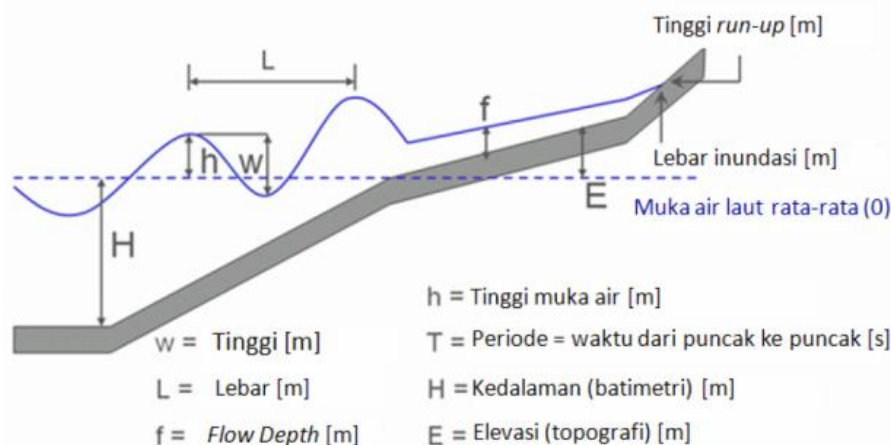
Pada saat memasuki perairan pantai yang dangkal, gelombang tsunami akan mengalami perlambatan karena semakin besarnya hambatan berupa topografi dasar laut yang dangkal, gesekan dengan pepohonan, bangunan, dan lain sebagainya. Karena gelombang mengalami perlambatan, maka akan terjadi penumpukan gelombang pada saat memasuki pantai. Kondisi ini menyebabkan bertambahnya amplitudo gelombang yang mulanya hanya 1 m pada saat mencapai pantai amplitudo gelombang tsunami dapat mencapai lebih dari 30 m. Gelombang tsunami terbesar tidak

selalu terjadi pada gelombang pertama, tetapi pasti terjadi pada 10 gelombang pertama (Lorca 1997).

Parameter Gelombang Tsunami

Parameter tsunami adalah komponen-komponen gelombang tsunami yang bertransformasi dari

gelombang pada perairan dalam sampai pada gelombang tsunami saat masuk ke perairan dangkal. Menurut Behrens, et al (2007) dalam Aprilia (2008), parameter tsunami yang terjadi di perairan dangkal antara lain seperti terlihat pada gambar 1 di bawah ini.



Sumber : Behrens, et al, 2007 dalam Aprilia, 2008

Gambar 1 Parameter Tsunami

Tinggi tsunami (W), yaitu jarak vertikal dari puncak gelombang tsunami ke permukaan air laut rata-rata (MSL). Tinggi tsunami akan mencapai titik maksimal pada pantai-pantai yang berbentuk huruf U atau V seperti pada teluk atau muara sungai. *Run up* tsunami, ujung tsunami terjauh yang sampai di pantai. Tinggi *run up* tsunami adalah jarak vertikal titik ujung gelombang tsunami pada saat mencapai pantai dengan titik nol atau muka air laut rata-rata (MSL).

Genangan (*innudation*), yaitu jarak horizontal antara puncak gelombang tsunami di garis pantai sampai pada titik terjauh gelombang tersebut merambat ke daratan. Menurut Willige (2008), Luas genangan dan efek merusak gelombang tsunami tergantung beberapa hal, seperti luas landas kontinen, kedalaman perairan pantai, energi gelombang, topografi wilayah pesisir, kecepatan dan tinggi gelombang tsunami serta jenis penggunaan lahan termasuk kerapatan vegetasi dan bangunan di wilayah terdampak.

METODE

Salah satu model yang dapat digunakan untuk memprediksi tingkat risiko bencana tsunami adalah Model Crunch. Secara umum metode ini merupakan hasil perkalian antara bahaya (*hazard*) dengan kerentanan (*vulnerability*). Bahaya tsunami dalam Model Crunch tersebut berupa tinggi gelombang tsunami dan luas genangan, sedangkan

kerentanan berupa kepadatan penduduk, elevasi, infrastruktur, dan jarak permukiman dari pantai. Ada tiga tahap analisis yang dilakukan seperti terlihat pada gambar 2, yaitu :

1. Analisis bahaya tsunami. Pada tahap ini dilakukan pemodelan penurunan tinggi tsunami saat mencapai daratan dengan menggunakan skenario variasi tinggi tsunami pada garis pantai seperti pada persamaan (1). Dari persamaan tersebut dapat ditentukan luas genangan.
2. Analisis faktor kerentanan. Tahap ini merupakan tahap identifikasi faktor-faktor kerentanan yang ada di Kota Bengkulu. Faktor tersebut meliputi kepadatan penduduk, jaringan jalan, ketinggian (elevasi) permukaan terhadap pantai, penggunaan lahan, dan sebaran permukiman. Faktor atau parameter kerentanan tersebut selanjutnya diklasifikasikan dan diberi bobot sesuai dengan besar pengaruhnya terhadap tingkat kerentanan.
3. Analisis tingkat risiko tsunami. Pada tahap ini dilakukan perkalian atau *overlay* antara kelas bahaya tsunami dengan kelas kerentanan.

Pemodelan luas genangan dilakukan dengan menggunakan model penurunan tinggi muka gelombang tsunami ketika mencapai daratan, persamaan yang digunakan untuk memodelkan penurunan tinggi gelombang tsunami adalah sebagai berikut (Barryman 2005).

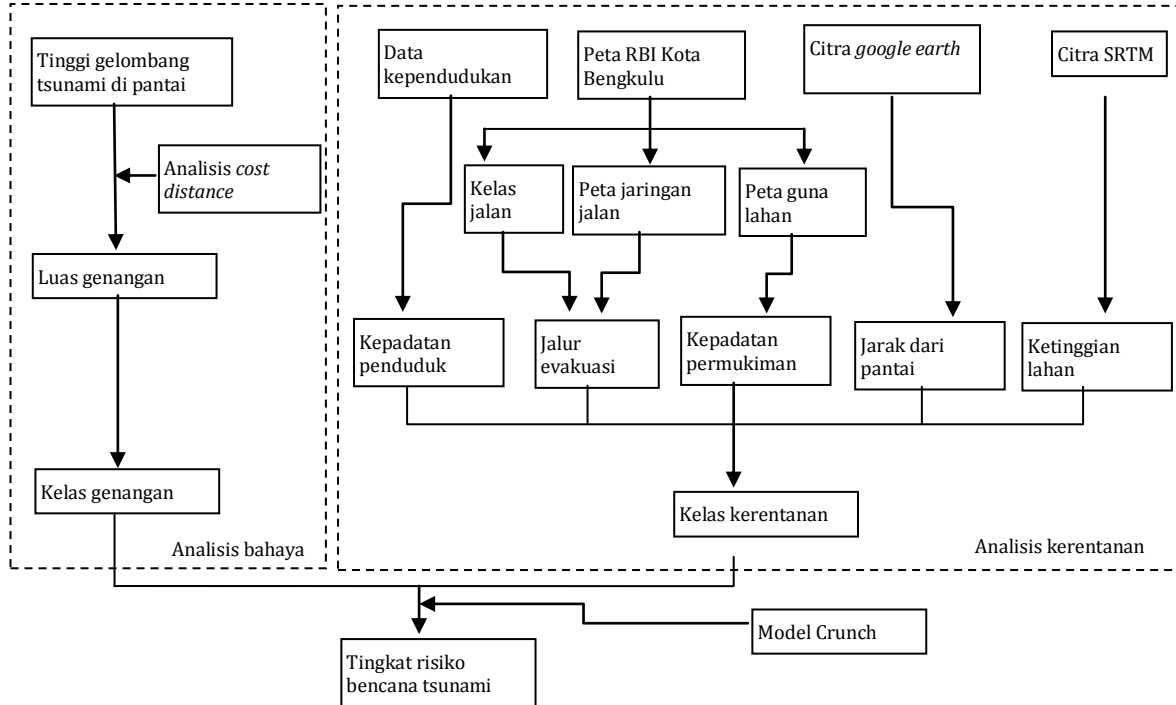
$$H_{loss} = \left(\frac{167n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S \dots\dots\dots (2)$$

H_{loss} = Nilai penurunan air saat masuk ke daratan
 n = Koefisien kekasaran
 H_0 = Tinggi tsunami pada garis pantai
 S = Slope/kemiringan lereng

Langkah berikutnya adalah penentuan tingkat risiko tsunami menggunakan persamaan Model Crunch :

$$R = H \cdot V \dots\dots\dots (3)$$

R = Risk (Indeks risiko tsunami)
 H = Hazard (Kelas genangan tsunami)
 V = Vulnerability (Kelas kerentanan tsunami)



Gambar 2 Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Kerentanan Tsunami

Parameter kerentanan tsunami di Kota Bengkulu adalah ketinggian (elevasi) permukaan tanah, jarak dari garis pantai, tingkat kepadatan penduduk, peluang evakuasi, dan kepadatan bangunan.

Kelas Ketinggian (Elevasi) Permukaan Tanah

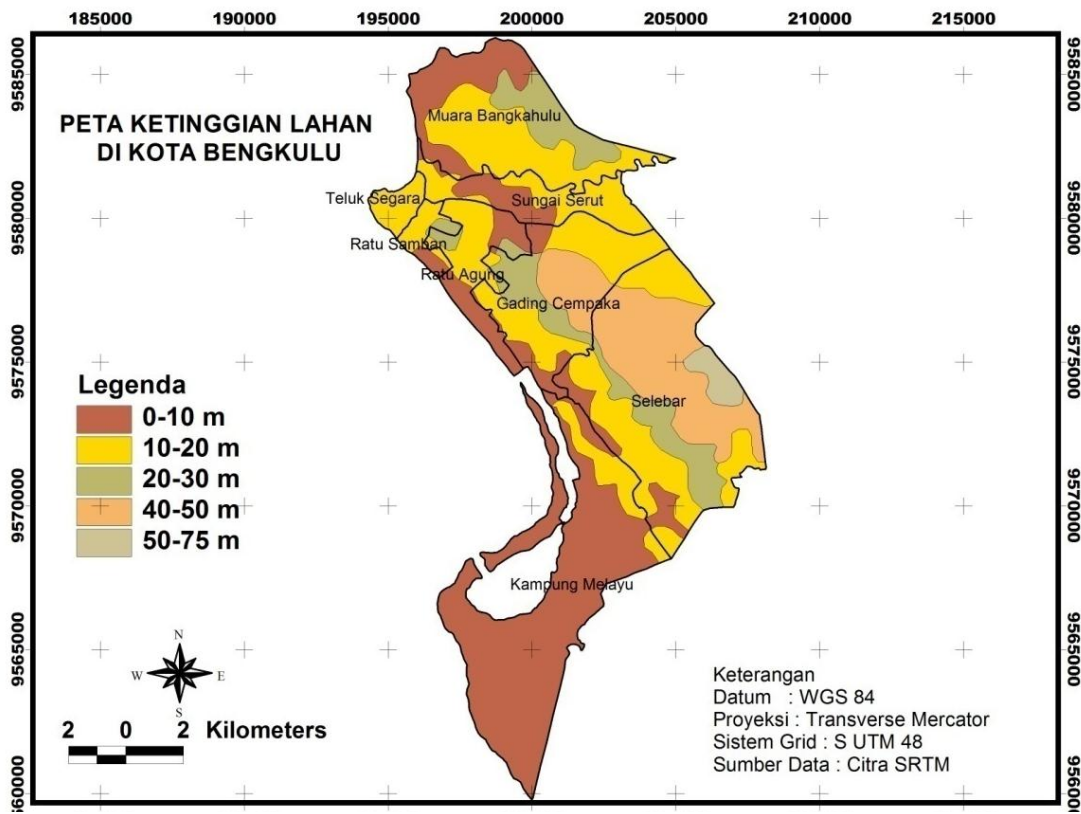
Ketinggian permukaan tanah merupakan salah faktor yang mempengaruhi tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bencana tsunami. Ketinggian diukur dari titik nol yang biasanya digunakan muka air laut rata-rata (*mean sea level*). Semakin tinggi permukaan tanah suatu tempat, maka tingkat kerentanan terhadap bahaya tsunami akan semakin kecil. Data ketinggian permukaan tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Kelas ketinggian permukaan tanah Kota Bengkulu

diklasifikasikan menjadi 5 kelas seperti pada tabel 1 di bawah.

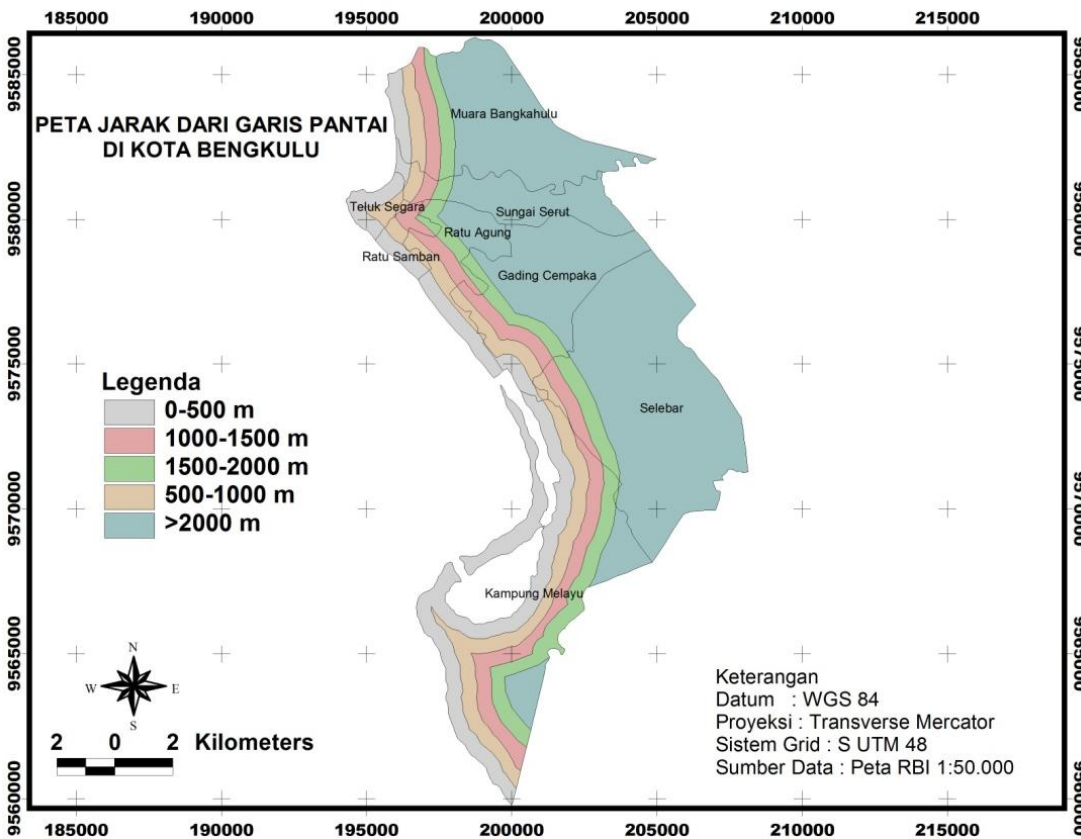
Tabel 1 Kelas Ketinggian Permukaan Tanah di Kota Bengkulu

Kelas Ketinggian (m)	Klasifikasi	Skor
0 - 10	Sangat rendah	0.333
10 - 20	Rendah	0.267
20 - 30	Agak tinggi	0.200
30 - 40	Tinggi	0.133
> 40	Sangat Tinggi	0.067

Data SRTM merupakan data yang berbentuk raster. Untuk memperoleh kelas ketinggian wilayah Kota Bengkulu perlu dilakukan proses konversi data. Data raster diproses melalui dijitasi *on screen* menggunakan perangkat lunak Arc GIS. Peta ketinggian permukaan tanah Kota Bengkulu dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3 Peta Ketinggian Kota Bengkulu



Gambar 4 Peta Jarak dari Garis Pantai Kota Bengkulu

Jarak dari Garis Pantai

Jarak suatu tempat dari garis pantai dinilai sebagai parameter kerentanan terhadap bahaya tsunami didasarkan pada jangkauan rayapan gelombang tsunami. Ketinggian gelombang tsunami akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jarak pada saat gelombang tersebut berada pada garis pantai. Jarak dari garis pantai diklasifikasikan menjadi kelas, seperti terlihat pada tabel 3 di bawah ini.

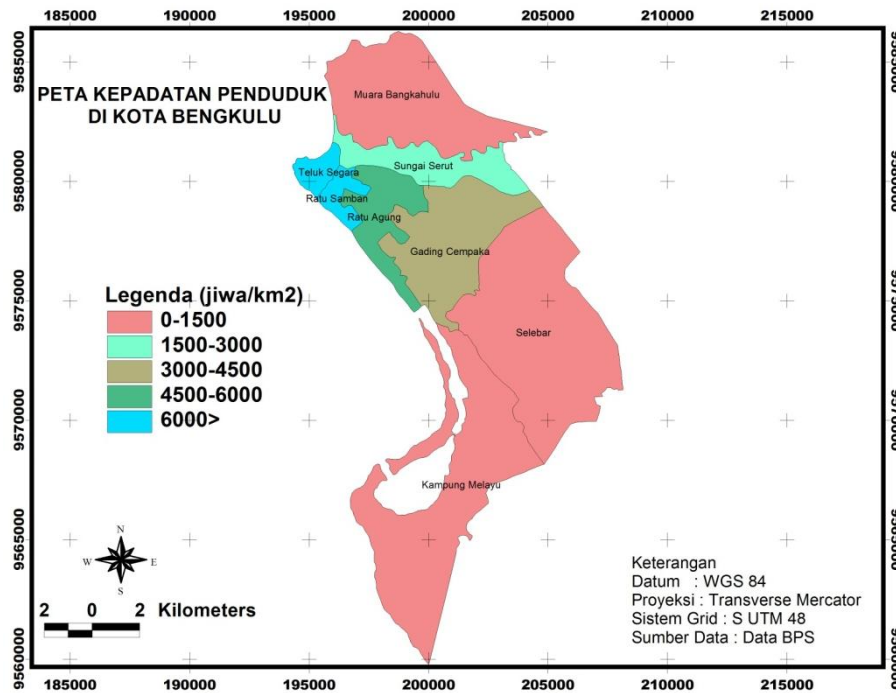
Tabel 3 Klasifikasi Jarak dari Garis Pantai

Jarak dari Garis Pantai (m)	Klasifikasi	Skor
0 - 500	Sangat dekat	0.333
500 - 1000	Dekat	0.267
1000 - 1500	Agak Jauh	0.200
1500 - 2000	Jauh	0.133
> 2000	Sangat Jauh	0.067

Untuk menghitung jarak suatu tempat dari garis pantai dilakukan dengan metode *buffer*. Analisis *buffer* dilakukan menggunakan perangkat lunak Arc View dengan input data berupa Peta Rupabumi Indonesia skala 1 : 50.000. Gambar 4 menunjukkan zonasi jarak dari garis pantai untuk wilayah Kota Bengkulu.

Tingkat Kepadatan Penduduk

Tingkat kepadatan penduduk suatu wilayah dapat dijadikan parameter tingkat kerentanan bahaya tsunami. Semakin padat penduduk suatu wilayah, semakin tinggi tingkat kerentanannya terhadap bahaya tsunami. Peta tingkat kepadatan penduduk di Kota Bengkulu dibuat dengan memasukkan data kepadatan penduduk hasil perhitungan ke dalam tabel atribut Peta Rupabumi Indonesia Skala 1 : 50.000 (gambar 5).



Gambar 5 Peta Kepadatan Penduduk Kota Bengkulu

Tingkat kepadatan penduduk Kota Bengkulu diklasifikasikan menjadi 5 kelas kepadatan, seperti yang terlihat pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5 Klasifikasi Tingkat Kepadatan Penduduk

Kepadatan Penduduk (Jiwa/Km ²)	Klasifikasi	Skor
0 - 1500	Jarang	0.067
1500 - 3000	Agak padat	0.133
3000 - 4500	Cukup padat	0.200
4500 - 6000	Padat	0.267
>6000	Sangat padat	0.333

Tingkat Kepadatan Permukiman

Seluruh kecamatan di Kota Bengkulu berada di pesisir. Berdasarkan data citra satelit *Quick Bird* dari *google earth* sebaran permukiman atau kawasan terbangun di tepi pantai sangat padat.

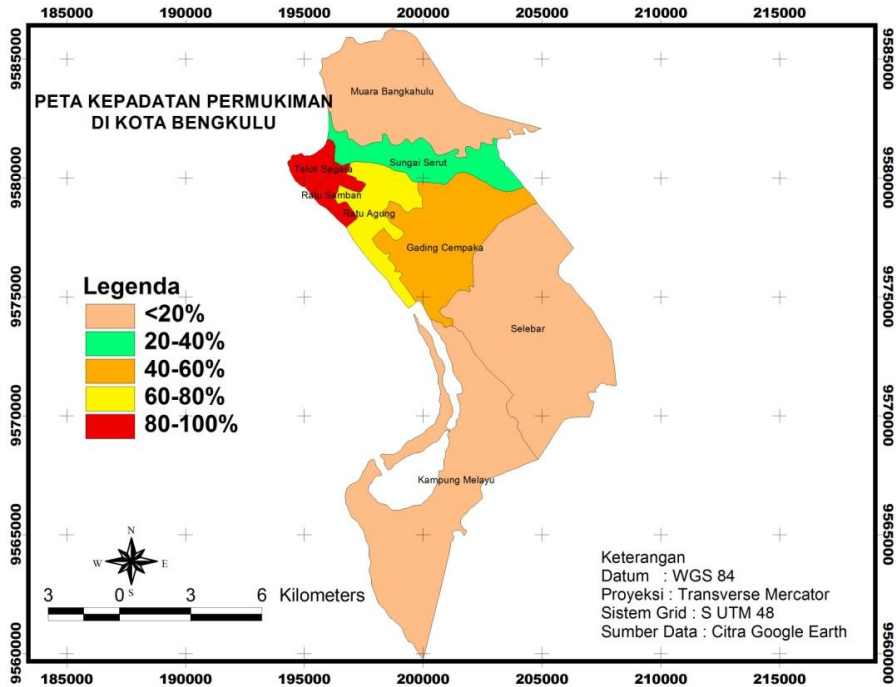
Tabel 6 Klasifikasi Kepadatan Permukiman

Kepadatan Permukiman (%)	Klasifikasi	Skor
0 - 20 %	Sangat Jarang	0.067
20 - 40 %	Agak padat	0.133
40 - 60 %	Cukup padat	0.200
60 - 80 %	Padat	0.267
80 - 100 %	Sangat padat	0.333

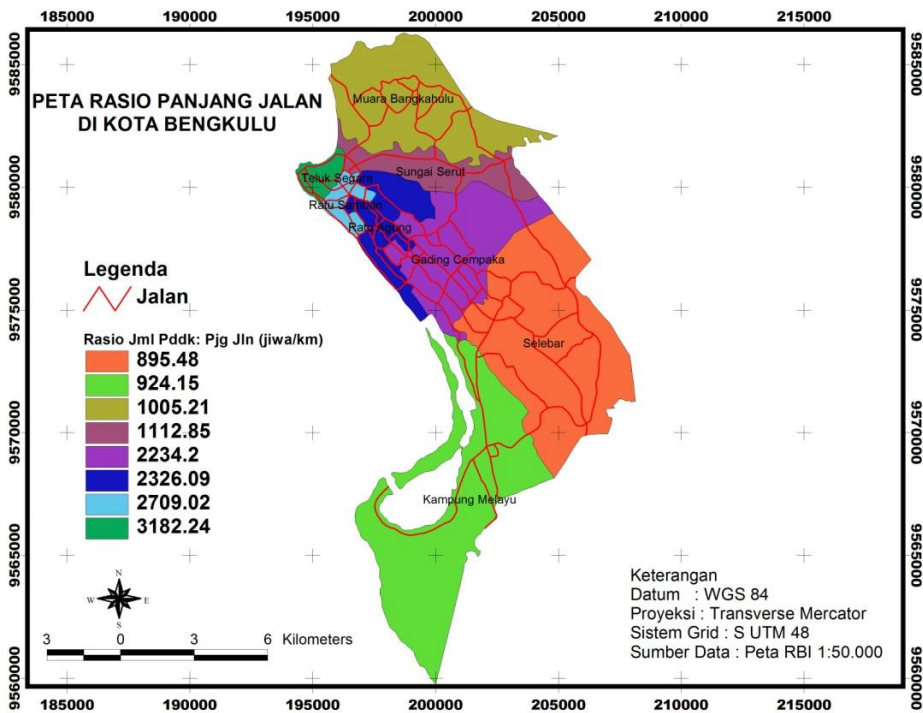
Pada umumnya sebaran permukiman tersebut berupa perumahan penduduk dan area wisata tepi pantai. Pembagian kelas kepadatan permukiman seperti terlihat pada tabel 6.

membagi antara luas area terbangun dengan luas kecamatan. Luas area terbangun diperoleh melalui penghitungan luas area terbangun yang ada di Peta Rupabumi Indonesia skala 1 : 50.000 (gambar 6).

Kepadatan permukiman dihitung per wilayah kecamatan. Kepadatan dihitung dengan cara



Gambar 6 Peta Kepadatan Permukiman Kota Bengkulu



Gambar 7 Peta Jaringan Jalan dan Rasio Jumlah Penduduk per Panjang Jalan di Kota Bengkulu

Kecepatan Evakuasi (Rasio Panjang Jalan)

Kerentanan bahaya tsunami dapat dikurangi jika tersedia infrastruktur jaringan jalan yang memadai. Akses jalan digunakan penduduk untuk menyelamatkan diri ke tempat-tempat aman. Kecepatan evakuasi dihitung berdasarkan rasio jumlah penduduk per wilayah kecamatan dengan panjang jaringan jalan yang ada di kecamatan tersebut.

Data jaringan jalan diperoleh dari hasil digitasi dari peta jaringan jalan Kota Bengkulu yang ada dalam dokumen Rencana Tata Ruang Kota Bengkulu tahun 2008 – 2028. Berikut adalah gambar Peta Jaringan Jalan dan rasio jumlah penduduk per panjang jalan di Kota Bengkulu (gambar 7).

Hasil perhitungan rasio jumlah penduduk per wilayah kecamatan dengan panjang jaringan jalan per kecamatan di Kota Bengkulu selanjutnya diklasifikasikan menjadi 4 kelas seperti terlihat pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7 Klasifikasi Rasio Panjang Jalan dengan Jumlah Penduduk

Jml Penduduk/ Panjang Jalan (jiwa/Km)	Klasifikasi Kecepatan Evakuasi	Skor
0 – 1000	Sangat cepat	0.100
1000 – 2000	Cepat	0.200
2000 – 3000	Agak cepat	0.300
3000 – 4000	Lambat	0.400

Analisis Kerentanan Tsunami Kota Bengkulu

Analisis kerentanan tsunami dilakukan dengan menggunakan metode *simple additive weight* dengan persamaan :

$$V = \sum_{i=1}^n bi.Pij \dots\dots\dots (4)$$

- V = *vulnerability* (kerentanan)
- bi = bobot kriteria i (i = 1,2,3, ...,n)
- Pij = skor kelas ke j pada kriteria ke i (j = 1,2,3, ...,n)

Kriteria atau parameter yang digunakan sebagai penentu tingkat kerentanan bahaya tsunami di Kota Bengkulu antara lain :

1. Ketinggian/elevasi (K)
2. Jarak dari garis pantai (J)
3. Kepadatan penduduk (P)
4. Kepadatan permukiman/bangunan (B)
5. Kecepatan evakuasi/rasio panjang jalan (E)

Jika kriteria/parameter di atas dimasukkan ke dalam persamaan 4 maka formula tingkat kerentanan bahaya tsunami di Kota Bengkulu menjadi :

$$V = aK + bJ + cP + dB + eE \dots\dots\dots (5)$$

a, b, c, d, e = bobot masing-masing kriteria

Nilai bobot yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada nilai bobot yang telah dihasilkan pada penelitian sebelumnya oleh Yusyahnonta (2006). Nilai bobot kriteria yang dipakai adalah sebagai berikut (tabel 8).

Tabel 8 Bobot Parameter Kerentanan

Kriteria/Parameter Kerentanan Bahaya Tsunami	Bobot
Kecepatan evakuasi (E)	0.399676
Ketinggian permukaan tanah (K)	0.103977
Jarak dari garis pantai (J)	0.229936
Kepadatan penduduk (P)	0.218936
Kepadatan permukiman (B)	0.047475

Peta kerentanan bahaya tsunami di Kota Bengkulu diperoleh melalui analisis spasial menggunakan bantuan perangkat lunak Arc GIS dengan *tool geoprocessing wizard*. Skor masing-masing kelas pada setiap kriteria/parameter bahaya tsunami dikalikan dengan bobot kriteria sehingga menghasilkan skor terbobot masing-masing kelas pada tiap kriteria kerentanan. Semua skor terbobot dijumlahkan sehingga diperoleh nilai kerentanan bahaya tsunami. Proses analisis spasial dilakukan pada masing-masing tabel atribut peta-peta kriteria kerentanan bahaya tsunami. Hasil analisis spasial kerentanan bahaya tsunami di Kota Bengkulu dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Peta Tingkat Kerentanan Bahaya Tsunami Kota Bengkulu

Luas masing-masing kelas kerentanan per kecamatan di Kota Bengkulu dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Luas Kelas Kerentanan per Kecamatan di Kota Bengkulu

Kecamatan	Luas Wilayah Kelas Kerentanan (Km ²)				
	Sangat Rentan	Rentan	Cukup Rentan	Kurang Rentan	Tidak Rentan
Gading Cempaka	0	10.20	0	4.78	5.30
Ratu Agung	0	9.04	0	0	0
Sungai Serut	0	0.37	1.07	2.96	5.24
Muara Bangkahulu	0	3.21	4.13	0	17.81
Selebar	0	0.49	0.81	3.25	36.23
Kampung Melayu	0	21.12	5.61	7.34	4.38
Ratu Samban	0	2.73	0	0	0
Teluk Segara	2.46	0	0	0	0

Dari hasil analisis peta tingkat kerentanan bahaya tsunami, terlihat bahwa kecamatan yang masuk kategori sangat rentan adalah Kecamatan Teluk Segara. Wilayah kecamatan yang berkategori rentan terhadap bahaya tsunami antara lain Kecamatan Ratu Agung, Kecamatan Ratu Samban, Kecamatan Kampung Melayu, dan Kecamatan Muara Bangkahulu. Sedangkan kecamatan yang tidak rentan terhadap bahaya tsunami adalah Kecamatan Selebar.

Analisis Bahaya Tsunami (Hazard)

Bahaya tsunami didefinisikan sebagai tinggi gelombang tsunami yang mencapai garis pantai dan rambatan gelombang tsunami ke daratan.

Bahaya tsunami dimodelkan melalui persamaan 2. Berdasarkan persamaan 2 diketahui bahwa faktor-faktor yang terdapat dalam bahaya tsunami (H_{loss}) antara lain : Koefisien kekasaran, tinggi gelombang tsunami pada garis pantai, dan kemiringan lereng.

Tabel 10 Konversi Nilai Koefisien Kekasaran Permukaan

Nama Lahan	n
Permukiman	0,0450
Tanah kosong	0,0150
Semak belukar	0,0300
Perkebunan	0,0350
Sawah	0,0200
Sawah tadah hujan	0,0250
Tegalan/ladang	0,0300
Air danau	0,0100
Air sungai	0,0100
Air rawa	0,0100
Air tambak	0,0100

Sumber : Harisman, 2008

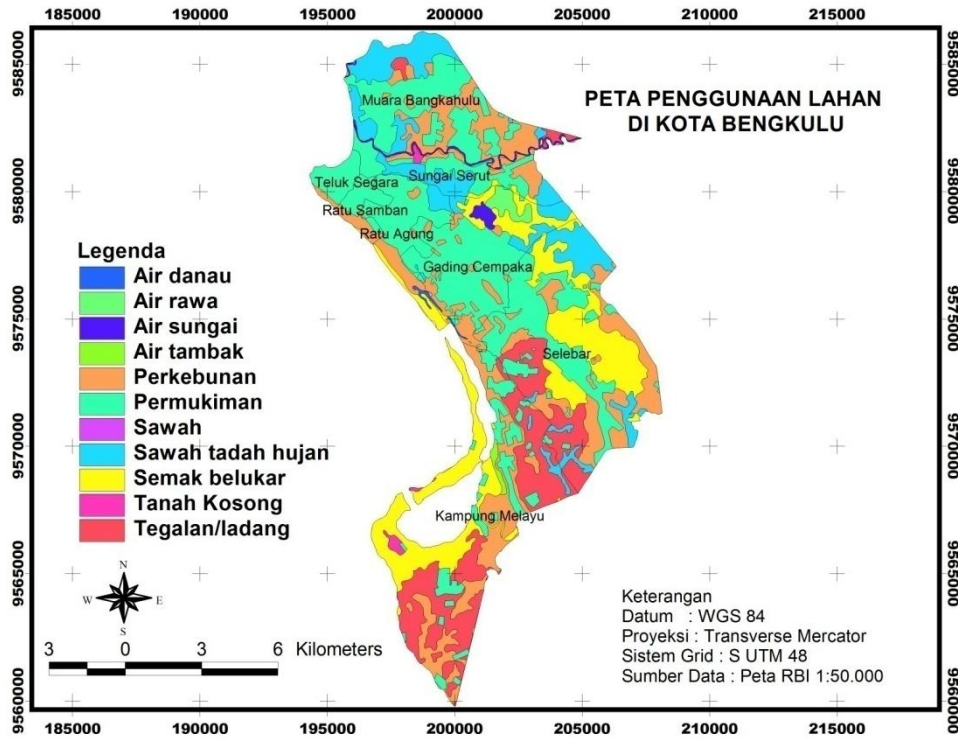
Tabel 10 merupakan jenis penggunaan lahan Kota Bengkulu dan nilai koefisien kekasaran permukaan (n).

Nilai koefisien kekasaran (n) merupakan nilai yang berasal dari konversi jenis penggunaan lahan. Jenis penggunaan lahan di Kota Bengkulu diperoleh dari Peta Rupabumi Indonesia Bakosurtanal skala 1 :50.000 (gambar 9).

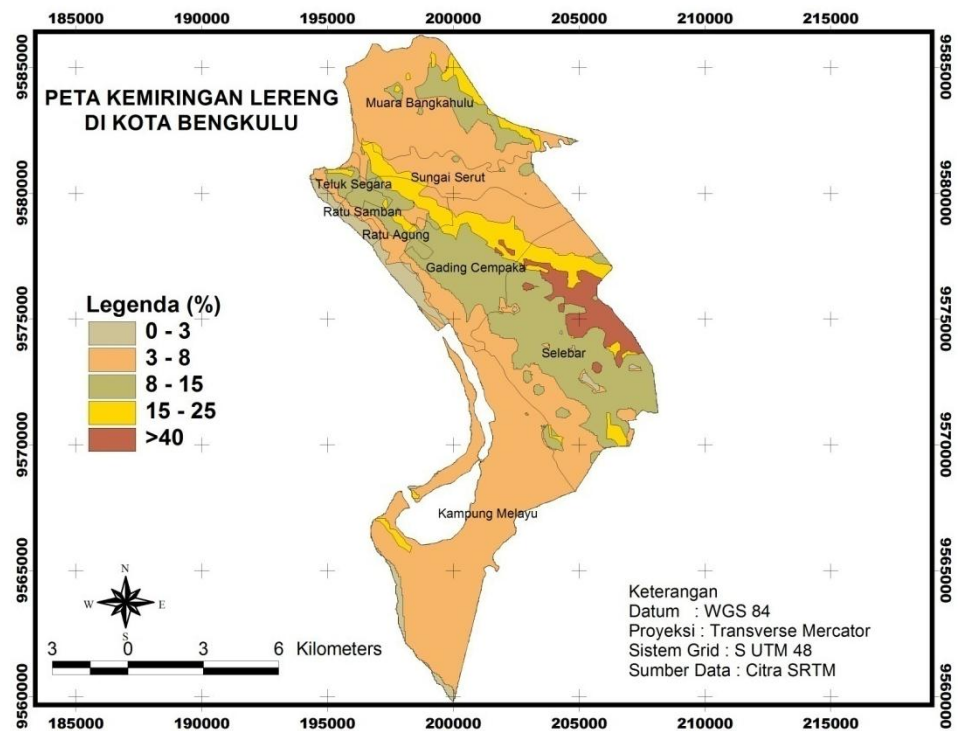
Berdasarkan peta penggunaan lahan Kota Bengkulu (gambar 9) terlihat bahwa di sepanjang garis pantai didominasi oleh perkebunan, semak

belukar dan permukiman. Hasil verifikasi lapangan, perkebunan yang dimaksud berupa pohon cemara yang tumbuh di sepanjang garis pantai. Sedangkan

permukiman berupa perumahan penduduk dan daerah komersial.



Gambar 9 Peta Penggunaan Lahan Kota Bengkulu

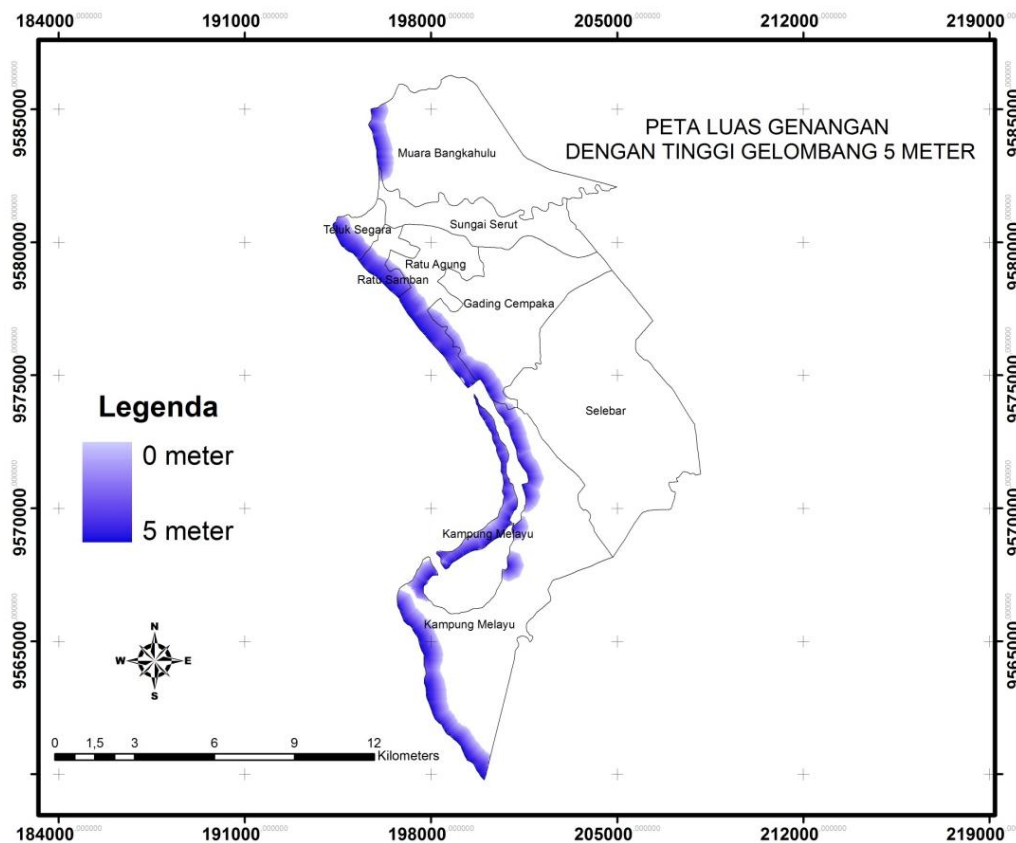


Gambar 10 Peta Kemiringan Lereng Kota Bengkulu

Nilai kemiringan lereng (S) di Kota Bengkulu diperoleh dari data SRTM. Kemiringan lereng mempengaruhi nilai bahaya rendaman gelombang tsunami (H_{loss}). Rendaman yang masuk ke daratan akan semakin berkurang jika kemiringan lereng besar. Peta kemiringan lereng Kota Bengkulu seperti terlihat pada gambar 10 di halaman sebelumnya.

asumsi. Tinggi gelombang tsunami yang diasumsikan adalah : 5 m, 10 m, dan 20 m. Peta luas genangan tsunami diperoleh melalui analisis *Cost Distance* menggunakan perangkat lunak Arc GIS. Parameter *Cost* berupa koefisien kekasaran permukaan lahan dan kemiringan lereng. Peta bahaya tsunami di Kota Bengkulu dengan asumsi H_0 setinggi 5 m pada gambar 11.

Nilai ketinggian gelombang tsunami pada garis pantai (H_0) dalam penelitian ini menggunakan nilai



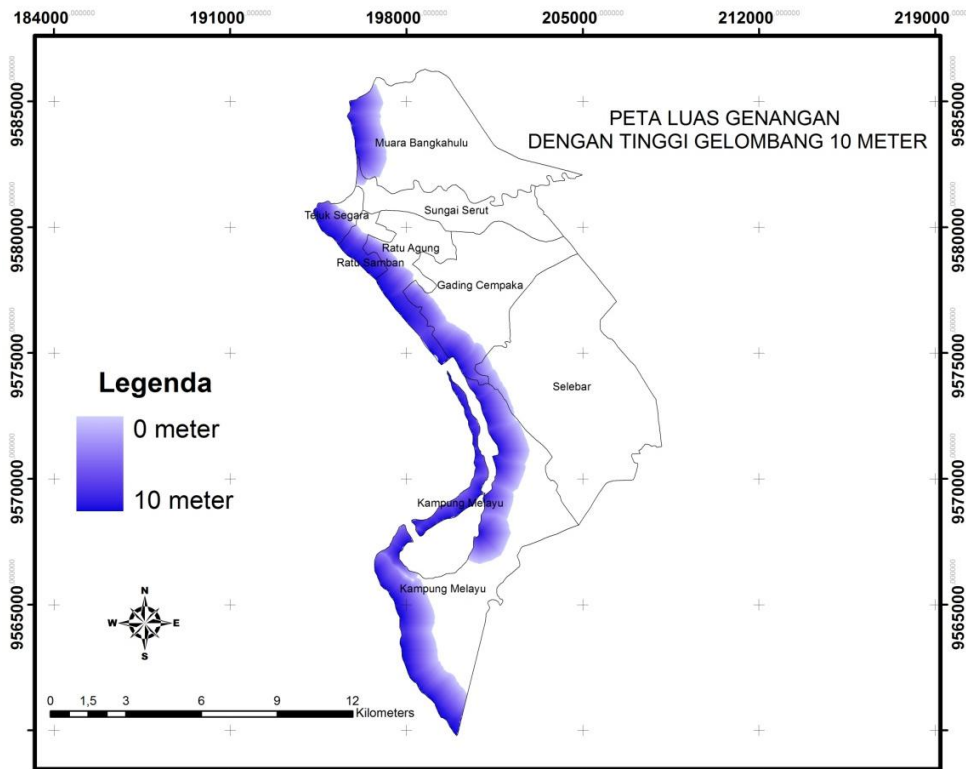
Gambar 11 Peta Luas Genangan ($H_0=5$ m) Kota Bengkulu

Luas daerah genangan tsunami dengan asumsi nilai H_0 setinggi 5 m dapat dilihat pada tabel 11. Peta

bahaya tsunami di Kota Bengkulu dengan asumsi H_0 setinggi 10 m pada gambar 12.

Tabel 11 Luas Genangan Akibat Gelombang Tsunami Setinggi 5 m

Kecamatan	Luas Genangan (Km ²)	Luas Kecamatan (Km ²)	Persentase
Gading Cempaka	1,99	20,28	1,34
Kampung Melayu	12,21	38,44	8,22
Muara Bangkahulu	1,55	25,15	1,05
Ratu Agung	2,88	9,04	1,94
Ratu Samban	1,43	2,73	0,96
Selebar	0,02	40,79	0,01
Sungai Serut	0,05	9,64	0,04
Teluk Segara	1,13	2,46	0,76
Total	21,00	148,53	14,31



Gambar 12 Peta Luas Genangan ($H_0=10$ m) Kota Bengkulu

Luas daerah genangan tsunami dengan asumsi nilai H_0 setinggi 10 m dapat dilihat pada tabel 12 di bawah ini. Terlihat bahwa luas genangan yang

terjadi jika gelombang tsunami di bibir pantai setinggi 10 meter, yaitu seluas 148,53 Km^2 (25,45 % luas wilayah).

Tabel 12 Luas Genangan Akibat Gelombang Tsunami Setinggi 10 m

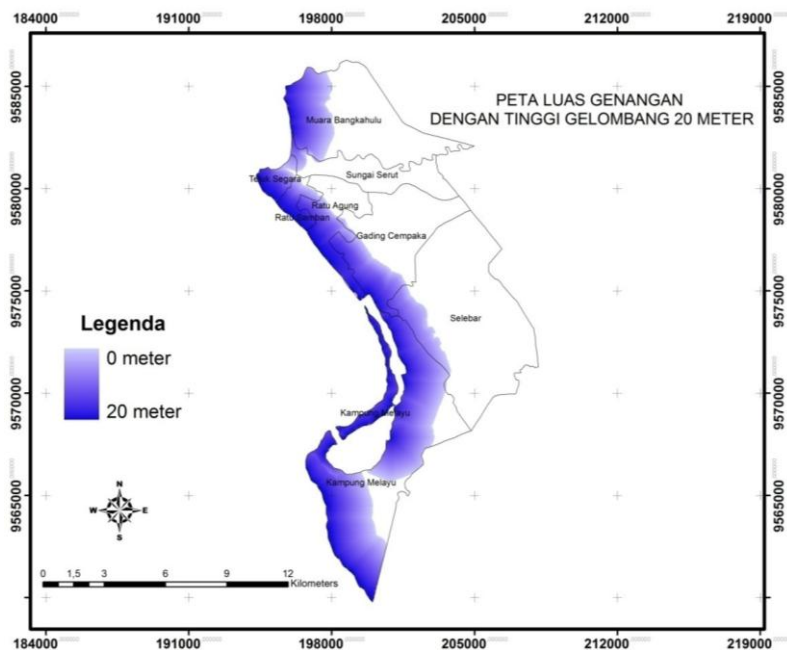
Kecamatan	Luas Genangan (Km ²)	Luas Kecamatan (Km ²)	Persentase
Gading Cempaka	4,04	20,28	2,72
Kampung Melayu	21,48	38,44	14,46
Muara Bangkahulu	3,85	25,15	2,59
Ratu Agung	3,99	9,04	2,69
Ratu Samban	1,70	2,73	1,14
Selebar	0,89	40,79	0,60
Sungai Serut	0,23	9,64	0,16
Teluk Segara	1,61	2,46	1,09
Total	37,80	148,53	25,45

Tabel 13 Luas Genangan Akibat Gelombang Tsunami Setinggi 20 m

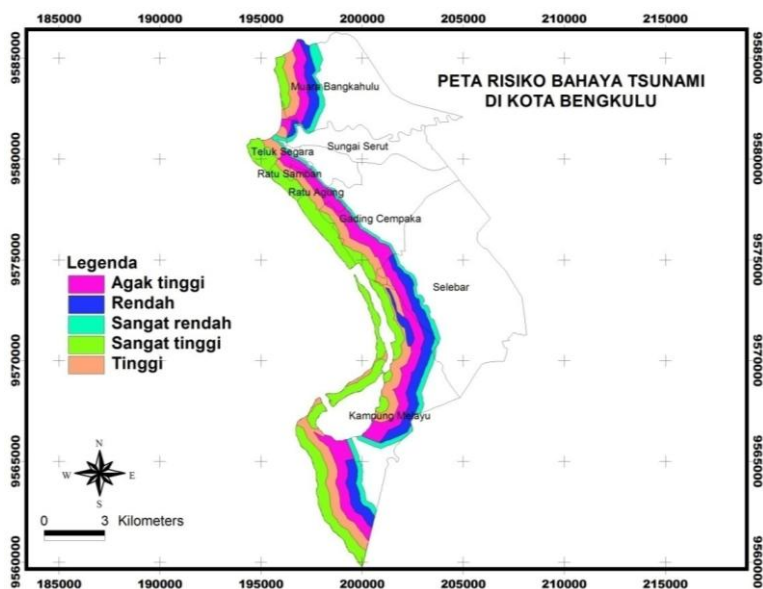
Kecamatan	Luas Genangan (Km ²)	Luas Kecamatan (Km ²)	Persentase
Gading Cempaka	6,06	20,28	4,08
Kampung Melayu	31,91	38,44	21,48
Muara Bangkahulu	7,76	25,15	5,23
Ratu Agung	5,10	9,04	3,43
Ratu Samban	2,45	2,73	1,65
Selebar	4,10	40,79	2,76
Sungai Serut	0,79	9,64	0,53
Teluk Segara	2,38	2,46	1,60
Total	60,56	148,53	40,77

Peta bahaya tsunami di Kota Bengkulu dengan asumsi H_0 setinggi 20 m pada gambar 13. Luas daerah genangan tsunami dengan asumsi nilai H_0

setinggi 20 m dapat dilihat pada tabel 13 di bawah ini :



Gambar 13 Peta Luas Genangan ($H_0=20$ m) Kota Bengkulu



Gambar 14 Peta Risiko Bahaya Tsunami Kota Bengkulu

Tabel 14 Luas Tingkat Risiko Tsunami Per Kecamatan dengan H_0 20 m

Kecamatan	Luas Tingkat Risiko Tsunami Per Kecamatan (Km ²)				
	Sangat tinggi	Tinggi	Agak tinggi	Rendah	Sangat rendah
Gading Cempaka	1,17	2,01	2,25	0,00	0,62
Kampung Melayu	9,39	7,12	4,01	5,41	2,59
Muara Bangkahulu	1,05	1,59	1,95	1,84	1,33
Ratu Agung	2,55	0,96	1,40	0,00	0,18
Ratu Samban	1,33	0,25	0,64	0,00	0,23
Selebar	0,00	0,26	1,20	1,66	0,99
Sungai Serut	0,03	0,08	0,27	0,20	0,22
Teluk Segara	1,42	0,75	0,00	0,00	0,21
Total	16,95	13,04	11,72	9,11	6,37

Risiko Bencana Tsunami Kota Bengkulu

Model yang digunakan untuk menganalisis tingkat risiko bencana tsunami Kota Bengkulu adalah

Model *Crunch* dengan persamaan 3. Tingkat risiko menurut Model *Crunch* merupakan perkalian antara faktor bahaya dengan faktor kerentanan.

Analisis risiko bahaya tsunami menggunakan asumsi tinggi gelombang yang berada di garis pantai (H_0) adalah 20 meter. Hasil analisis tingkat risiko bencana tsunami Kota Bengkulu seperti terlihat pada gambar 14 pada halaman sebelumnya.

Hasil perhitungan luas daerah berdasarkan tingkat risiko tsunami di Kota Bengkulu tertera pada tabel 14. Dari tabel tersebut terlihat bahwa sebagian besar wilayah Kota Bengkulu, yaitu seluas 29,99 Km² (52,44%) memiliki tingkat risiko tsunami pada kategori sangat tinggi dan tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi tinggi gelombang 20 m, daerah yang terkategori berisiko tinggi dan sangat tinggi berada pada jarak kurang dari 1 km dari garis pantai. Jika dilihat tingkat kepadatan permukiman dan kepadatan penduduk, maka ada 4 kecamatan yang akan terkena dampak gelombang tsunami paling besar, yaitu Kecamatan Teluk Segara, Ratu Samban, Ratu Agung dan Gading Cempaka.

Salah satu upaya mitigasi bencana tsunami non-struktural dapat dilakukan menggunakan sistem informasi geografis tingkat risiko bencana tsunami. Sistem informasi bencana tsunami diharapkan mampu mendidik masyarakat untuk lebih paham mengenai potensi dan risiko bencana tsunami di tempat mereka tinggal. Dengan demikian diharapkan masyarakat selalu waspada dan mampu menghindari saat bencana tiba sehingga dapat meminimalisasi korban jiwa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat sebagai penyandang dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aprilia, K. 2008. *Pemodelan Tsunami Pangandaran 2006*. Skripsi Sarjana. Program Studi Oseanografi ITB.

Bambang, T., Ita, C., Mawardi, N. 2007. Simulasi Jalur Evakuasi untuk Bencana Tsunami Berbasis Data Penginderaan Jauh (Studi Kasus : Kota Padang Provinsi Sumatera Barat). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital* Vol. 4 No. 1. 1 Juni : 9 – 17.

Behrens, J., Androsov, A., Braune, A., Danilov, S., Harig, S., Schroter, J., Sein, D. V., Sidorenko, D., Startseva, O. and E. Taguchi. 2007. *Tsunami*

Technical Documentation Part I : Mathematical, numerical and implementation concepts. Tsunami Project Documentation No. 004. Alfred Wegener Institut, Germany.

Berryman, K. 2005. *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*. www.gns.cri.nz/content/download/.../Tsunami%20Report%202013.pdf (diakses pada 23 April 2009).

Harisman. 2008. *Identifikasi Tingkat Risiko Bencana Tsunami di Kota Padang*. Tesis Magister. Program Magister Perencanaan Wilayah dan Kota ITB.

Harsanugraha, W. 2008. Analisa Pemodelan Tsunami dengan Pembuatan Peta Kerawanan dan Jalur Evakuasi dari Turunan SRTM90 (Studi Kasus : Kota Padang). *Proceedings Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh XVI*. Bandung 10 Desember 2008 : 578-593.

Jordan, B. 2008. Tsunamis Of The Arabian Peninsula A Guide Of Historic Events. *The Tsunami Society* vol. 27 no. 1 : 31 – 46. <http://library.lanl.gov/tsunami/ts271.pdf> (diakses pada 27 Februari 2015).

Latief, H. 2005. *Tsunami Aceh 2004*. http://www.emsccsem.org/Doc/SUMATRA_261204/Prese-ntasi-tsunami-Aceh-hamzah.pdf (diakses pada 23 April 2009).

Lorca. 1997. *Earthquake and Tsunamis*. High School Textbook. Chile : Servicio Hidrografico Oceanografico De La Armada De Chile.

Murata, S., Imamura, F., Katoh, K., Kawata, Y., Takahashi, S., Takayama, T. 2011. *Tsunami : To Survive From Tsunami*. Advance Series On Ocean Engineering Vol. 32. Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Prahasta, E. 2001. *Sistem Informasi Geografis : Tutorial Arc View*. Bandung : CV. Informatika,

Sutowijoyo. 2005. *Tsunami, Karakteristiknya dan Pencegahannya*. <http://io.ppi.jepang.org> (diakses pada 23 April 2009).

Williage, B. 2008. Tsunami Hazard Assessment In The Northern Aegean Sea. *The Tsunami Society* vol. 27 no. 1 : 1 – 16. <http://library.lanl.gov/tsunami/ts271.pdf> (diakses pada 27 Februari 2015).

Winardi., Gatot, R., Sugiantoro., Ninok, L., Adrianus, D. 2006. *Gempa Jogja, Indonesia dan Dunia*. Jakarta : PT. Gamedia Majalah.

Yusyahnonta, P. 2006. *Identifikasi Daerah Bahaya Tsunami dan Strategi Mengurangi Resikonya di Kota Padang*. Tesis Magister. Departemen Teknik Geodesi ITB.