

## Pemetaan dan Kajian Bencana Tsunami Daerah Kota Bengkulu

*Eddy Z Gaffar*

Puslit Geoteknologi – LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

**ABSTRAK:** Pengukuran topografi dan kedalaman laut pada areal kota Bengkulu dan laut sekitar kota Bengkulu telah dilakukan oleh Puslit Geoteknologi-LIPI bersama ITB. Modeling tsunami juga telah dibuat seandainya terjadi gempa dan tsunami pada daerah Bengkulu. Beberapa rekomendasi juga telah dibuat untuk menjadi masukan pada pemerintah daerah dalam pengembangan daerah dan penanggulangan bencana gempa dan tsunami pada daerah Bengkulu.

### PENDAHULUAN

#### *Latar Belakang*

Sehubungan dengan terjadinya tsunami terbesar dalam sejarah modern pada 26 Desember 2004 lalu yang mengenai wilayah yang sangat luas meliputi wilayah Asia Tenggara, Asia Selatan sampai ke Afrika Timur. Indonesia dalam hal ini daerah Aceh dan Nias khususnya merupakan wilayah yang paling parah terkena karena berada pada daerah pembangkit tsunami yaitu gempa tektonik di wilayah Pulau Simeulue.

Propinsi Bengkulu berbatasan langsung dengan Samudera Indonesia pada garis pantai sepanjang lebih kurang 433 kilometer. Berdasarkan kondisi di atas, maka Pemerintah memberikan perhatian terhadap kemungkinan terjadinya Tsunami di Propinsi Bengkulu dengan memperkirakan daerah-daerah yang akan terkena tsunami berdasarkan model-model tsunami yang dapat dibuat. Model-model ini dibuat berdasarkan gempa-gempa besar yang pernah terjadi di kawasan ini.

Untuk keperluan tersebut pihak Geoteknologi - LIPI melakukan kerjasama dengan *Tsunami Research Group*, Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut (PPKPL) serta Kelompok Keahlian Geodesi Institut Teknologi Bandung (ITB).

Tulisan ini adalah sebagai salah satu bentuk sosialisasi penelitian kepada masyarakat dan pemerintah daerah. Kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Hamzah Latif, Aditya Riadi, Mohamad Ali, Hasanudin dan rekan yang berpartisipasi atas kontribusinya pada penelitian ini.

#### *Tujuan*

Tujuan dari pelaksanaan kegiatan ini yaitu meningkatkan kesiapan penduduk dalam menghadapi bencana tsunami yang akan terjadi dengan menghasilkan beberapa sarana pendukung yang dapat dipublikasikan kemasyarakat seperti jalur evakuasi dan peta resiko bencana tsunami.

#### *Deskripsi Lokasi*

Ibu kota Propinsi Bengkulu adalah Kota Bengkulu dengan luas wilayah 19.788,70 km dan Jumlah Penduduk 1.598.177 (Tahun 2005). Propinsi Bengkulu terbagi menjadi 9 kabupaten/kota yang sebelumnya hanya ada 4 kabupaten/kota. Jumlah Penduduk Propinsi Bengkulu pada tahun 2004 adalah 1.541.551.

Tabel 1. Jumlah penduduk per Kabupaten/Kota Propinsi Bengkulu Tahun 2004

Daerah Tingkat II	Jumlah Penduduk
Bengkulu Selatan	391.218
Rejang Lebong	438.702
Bengkulu Utara	450.193
Kota Bengkulu	261.438
Propinsi Bengkulu	1.541.551

Sumber : Bengkulu Dalam Angka 2004

### Sejarah Gempa dan Tsunami di Bengkulu

Bengkulu berbatasan langsung dengan Samudera Hindia di sebelah barat, dimana pada dasar samudera hindia tersebut terdapat perpotongan antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Pergerakan kedua lempeng yang terjadi secara tiba-tiba dan mendadak akan membangkitkan potensi tsunami. Kerentanan alam yang ada tersebut menjadikan hampir sepanjang pesisir barat Bengkulu termasuk Kota Bengkulu menjadi sangat rawan akan terjadinya bencana tsunami.

Selama ini berdasarkan data yang ada, Kota Bengkulu telah dua kali di terjang oleh gelombang tsunami yang disebabkan akibat pergerakan kedua lempeng tersebut secara mendadak. Kedua kejadian tsunami tersebut diawali dengan terjadinya gempa di dasar laut Samudera Hindia. Kedua kejadian tersebut terjadi pada tahun 1797 dan tahun 1833.

Walaupun Kota Bengkulu telah beberapa kali mengalami gempa, beberapa diantaranya hanya berupa gempa kecil tetapi, jika terjadi gempa yang cukup besar akan sangat berpotensi membangkitkan gelombang tsunami.

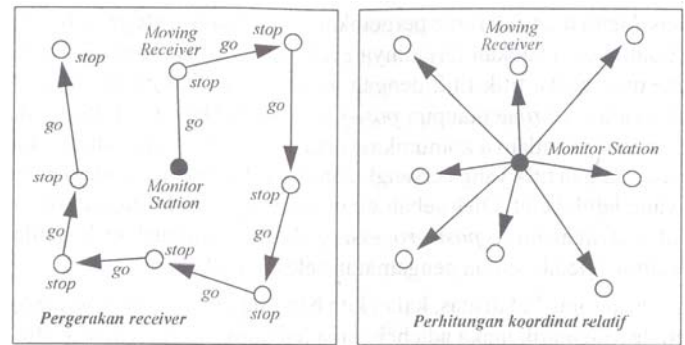
## METODOLOGI SURVEY LAPANGAN

### Topografi

Metode *stop-and-go* adalah salah satu metode survey penentuan posisi titik-titik dengan GPS. Pada metode ini titik-titik yang akan ditentukan posisinya tidak bergerak, sedangkan *receiver* GPS bergerak dari titik-titik dimana pada setiap titiknya *receiver* yang bersangkutan diam beberapa saat di titik-titik tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Koordinat dari titik-titik ditentukan relatif terhadap koordinat dari stasiun referensi (*monitor station*). Pada metode ini ambiguitas fase pada titik awal harus ditentukan sebelum *receiver* GPS bergerak. Ini dilakukan dengan menggunakan pengamatan satelit yang relatif lebih lama dibandingkan pengamatan pada titik-titik berikutnya. Setelah pengamatan di titik pertama ini dilakukan dalam waktu yang diperkirakan cukup untuk menentukan ambiguitas fase dengan baik (sekitar

15-30 menit), maka selanjutnya *receiver* bergerak menuju titik-titik berikutnya.



Gambar 1. Metode Stop And Go

Penentuan stasiun referensi di kota Bengkulu dilakukan di Benteng Marlborough dengan menggunakan diferensial GPS. *Receiver* GPS tipe geodetik, tipe Leica SR-5900.

Hasil pengukuran koordinat titik acuan didapat yaitu  $102.25194^{\circ}$  BT dan  $03.78693^{\circ}$  LS. Selanjutnya pengukuran topografi dilaksanakan dengan menggunakan metode *stop and go* sebanyak 3570 titik

### Batimetri

Survei ini bertujuan untuk membuat peta batimetri perairan di Kota Bengkulu. Survei ini mencakup daerah pesisir di Kota Bengkulu. Secara umum kegiatan survei batimetri ini terdiri dari:

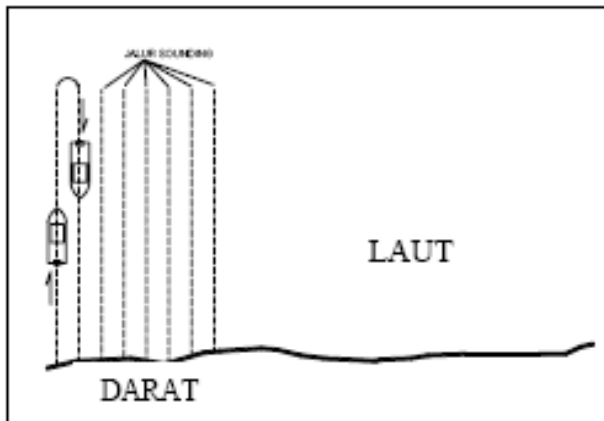
- Menentukan patok-patok tetap untuk titik referensi.
- Pengukuran kedalaman menggunakan *echosounder* dan pengukuran posisi horisontal pada perairan dengan menggunakan 2 buah theodolit atau DGPS (*Differential Global Positioning System*).

Survei batimetri atau seringkali disebut dengan pemeruman (*sounding*) dimaksudkan untuk mengetahui keadaan topografi laut. Cara yang dipakai dalam pengukuran ini adalah dengan menentukan posisi-posisi kedalaman laut pada jalur memanjang dan jalur melintang untuk *cross check*.

Jalur *sounding* adalah jalur perjalanan kapal yang melakukan *sounding* dari titik awal sampai ke titik akhir dari kawasan survei. Jarak antar jalur *sounding* dibuat sejauh 200 m. Untuk tiap jalur *sounding* dilakukan pengambilan data kedalaman perairan setiap jarak 25 m. Contoh jalur *sounding* pada kawasan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.

Pengukuran kedalaman laut (pemeruman) dilaksanakan dengan *Echosounder Raytheon DE-*

719 , yang dipasang didalam kapal, tepat di bawah antena GPS. Pengukuran dilaksanakan di sepanjang jalur perum (*sounding*) yang sudah ditetapkan dalam desain survei. GPS yang digunakan adalah GPS GARMIN 60Cs.



Gambar 2. Pergerakan perahu dalam menyusuri jalur *sounding*

Sebelum dan sesudah pekerjaan pemeruman dilaksanakan, dilakukan kalibrasi terhadap echosounder yang dilaksanakan dengan metode *Barcheck*.

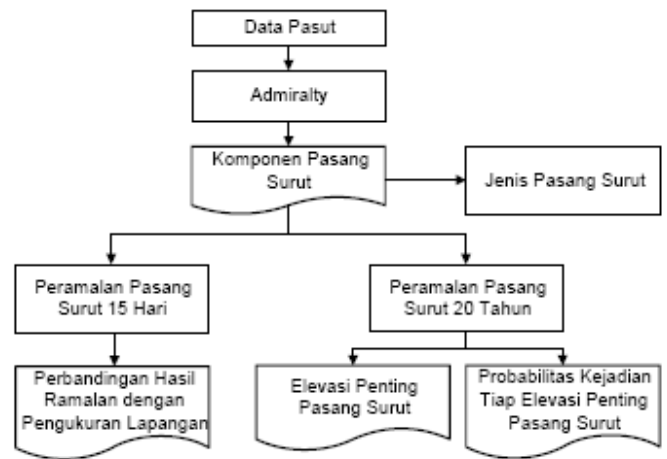
#### Pengukuran Pasang Surut

- Pengukuran pasang surut laut dimaksudkan untuk:
- menetapkan Ketinggian Datum Peta untuk pemetaan batimetri
  - meneliti karakteristik pasang surut di daerah survei
  - menetapkan ketinggian Muka Laut Rata-rata (*Mean Sea Level-MSL*), dan muka Air Rendah Purnama (*Lowest Water Sping - LWS*) dan lain-lain.

Pengamatan pasang surut dilaksanakan menggunakan peilschaal (papan duga air) dengan interval skala 1 (satu) cm pada 3 titik secara simultan dan bersamaan dan dilakukan selama 15 hari dengan pembacaan ketinggian air setiap satu jam.

Pengolahan data pasang surut dengan alur sebagaimana disajikan pada Gambar 3. Perhitungan konstanta pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode *Admiralty*.

Selanjutnya dilakukan peramalan pasang surut untuk 15 hari yang dipilih bersamaan dengan masa pengukuran yang dilakukan. Hasil peramalan ini dibaca untuk menentukan elevasi-elevasi penting pasang surut yang menjadi ciri daerah tersebut.



Gambar 3. Bagan alir perhitungan dan peramalan perilaku pasang surut laut

## KAJIAN RESIKO

### *Hazard - Pemodelan Tsunami*

Sebagai faktor utama dari kajian resiko, maka hazard diidentifikasi dengan tinggi tsunami dan jarak rendaman tsunami ke darat. Sebagai sumber perhitungan tsunami digunakan hasil riset dengan pemodelan tsunami yang dilakukan oleh Tsunami Research Group, Pusat Pengembangan Kawasan Pesisir dan Laut (PPKPL) ITB. Pemodelan ini dilakukan berdasarkan kejadian gempa 1797 dan 1833, dengan beberapa skenario posisi dan kedalaman sumber gempa. Dalam kajian resiko ini digunakan simulasi gempa 1833.

### *Perkiraan Rendaman Tsunami*

Selanjutnya untuk perkiraan rendaman tsunami ke darat menggunakan rumusan yang disusun oleh *Natural Environment Research Council, Coventry University, London*. Rumusannya adalah:

$$X_{max} = 0,06 \frac{H_o^{4/3}}{n^2}$$

dimana  $X_{max}$  adalah jarak rendaman maksimum,  $H_o$  adalah tinggi tsunami di pantai,  $n$  adalah koefisien kekasaran permukaan.

### *Kelas Ketinggian Tsunami*

Klasifikasi kelas tsunami dibangun untuk melihat tingkat bahayanya. Klasifikasi ini disusun berdasarkan pada asumsi dan kriteria sebagai berikut:

- Tinggi tsunami di pantai merupakan elevasi tertinggi sebagai batas atas kelas.

- Kelas ketinggian tsunami ditentukan berdasarkan tingkat bahaya terhadap manusia dan bangunan. Kelas ketinggian tsunami disusun sebagai berikut:
  - tsunami dengan ketinggian lebih tinggi dari 3 meter menyebabkan tidak mungkin manusia dapat selamat dan bangunan sebagai tempat peluang penyelamatan akan hancur.
  - tsunami dengan ketinggian antara 1,5 sampai 3 m diasumsikan akan mematikan manusia tapi masih ada peluang bangunan-bangunan tidak hancur semuanya.
  - tsunami dengan ketinggian cukup membahayakan dengan ketinggian antara 0,5 sampai 1,5 meter
  - tsunami dengan ketinggian di bawah 0,5 meter.

Berdasarkan kriteria di atas, maka kelas ketinggian tsunami disusun pada Tabel 2.

Tabel 2. Kelas Ketinggian Tsunami

No	Klasifikasi bahaya	Kelas tinggi tsunami
1	Sangat berbahaya	$H \geq 3$ meter
2	Berbahaya	$1,5 \leq H < 3$ meter
3	Cukup berbahaya	$0,5 \leq H < 1,5$ meter
4	Kurang berbahaya	$H < 0,5$ meter

### Kerentanan

Variabel yang terlibat sebagai kriteria kerentanan adalah variabel jarak dari pantai, elevasi, kemampuan evakuasi, kepadatan penduduk dan kepadatan pemukiman.

### Kriteria Jarak Dari Pantai

Kelas kriteria jarak dari pantai dibangun berdasarkan aspek ketinggian tsunami atau *run up* serta peluang waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi. Klasifikasi kelas tsunami dibangun berdasarkan pada asumsi dan kriteria sebagai berikut :

- Jarak *run in* maksimum ke darat yaitu 2.347 meter.
- Kelas jarak didasarkan pada kemampuan atau kecepatan lari untuk evakuasi. Asumsi dasarnya adalah 10 menit perkilometer. Sementara *travel time* tsunami adalah 37 menit. Jadi waktu yang cukup aman adalah sekitar 25 menit atau dikonversi menjadi jarak adalah 2,5 kilometer.
- Selanjutnya kelas kedekatan dengan pantai. Berdasarkan kriteria di atas, maka kelas jarak ke pantai dibagi seperti Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kelas Jarak Dari Pantai

No	Jarak dari pantai	Kelas tinggi tsunami
1	Sangat dekat	$L > 0,5$ km
2	Dekat	$0,5 \leq L < 1,5$ km
3	Cukup dekat	$1,5 \leq H < 2,5$ km
4	Jauh	$H \leq 2,5$ km

### Kriteria Ketinggian atau Elevasi

Faktor elevasi merupakan salah satu kriteria kerentanan terhadap bahaya tsunami di Kota Bengkulu. Klasifikasi kelas ketinggian berdasarkan asumsi dan kriteria berikut :

- Elevasi yang dianggap sangat berbahaya adalah sampai ketinggian 2,5 meter.
- Kelas berbahaya antara 2,5 sampai 5 meter masih potensial untuk terkena tsunami.
- Kelas 5 sampai 9 meter. Asumsi 9 meter diambil dari sejarah terjadinya tsunami 1833 yang mencapai ketinggian 9 meter.
- Ketinggian 9 sampai 25 meter dianggap kurang berbahaya.

Berdasarkan kriteria di atas, maka kelas ketinggian tempat atau elevasi disusun seperti Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Kelas Ketinggian Tempat atau Elevasi

No	Klasifikasi bahaya	Kelas tinggi tsunami
1	Sangat berbahaya	$E < 2,5$ m
2	Berbahaya	$2,5 \leq E < 5$ m
3	Cukup berbahaya	$5 \leq E < 9$ m
4	Kurang berbahaya	$9 \leq E < 25$ m
5	Tidak Berbahaya	$E \geq 25$ m

### Analisis Peluang Evakuasi

Sasaran utama dari pemodelan evakuasi ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi kurang dari waktu kedatangan tsunami atau dengan formulasi:

$$“waktu\ evakuasi < waktu\ tiba\ tsunami - waktu\ persiapan\ early\ warning\ system”$$

$$T < 37\ menit - 10\ sampai\ 15\ menit$$

$$T < 27\ menit\ atau\ T < 22\ menit$$

#### a. Membangun klaster evakuasi

Untuk mendapatkan daerah mana saja yang termasuk berbahaya atau tidak berbahaya, maka zona-zona rendaman dibagi atas beberapa klaster. Kriteria pembangunan klaster ini adalah dengan memperhatikan kedekatan klaster atau kelompok penduduk dengan jalur utama evakuasi. Untuk

membangun klaster-klaster evakuasi ini digunakan asumsi sebagai berikut:

1. Klaster merupakan poligon dimana penduduknya yang berada di dalamnya cenderung untuk menyelamatkan diri (evakuasi) ke arah atau jalan tertentu.
2. Kecenderungan di atas memilih jarak terdekat dan mengambil arah menjauh dari pantai.
3. Kencenderungan ini akhirnya memilih jalan-jalan utama di kawasan masing-masing.
4. Batas klaster ditentukan oleh jarak terdekat ke jalur evakuasi dan sungai-sungai besar
5. Rata-rata kemampuan lari dalam kondisi normal adalah 10 menit perkilometer.
6. Kebutuhan ruang untuk dapat berlari normal adalah 1 meter persegi perorang.

b. Perhitungan Waktu Evakuasi

Perhitungan tingkat bahaya suatu klaster adalah dengan melihat kemampuan jalan sebagai jalur evakuasi untuk melewati orang untuk evakuasi. Ukuran dari kemampuan ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk kerluar dari zona bahaya. Perhitungan kelas bahaya klaster-klaster evakuasi adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas *outlet* ditentukan oleh lebar jalan.
2. Berdasarkan kebutuhan ruang untuk dapat berlari normal adalah 1 meter persegi, maka kemampuan suatu outlet dapat melewati penduduk adalah : lebar jalan dibagi kebutuhan ruang lari normal dikalikan dengan kecepatan normal.
3. 
$$T_{Ev} = \frac{W(meter)}{1m^2 / org} \times 100m / menit = 100Worg / menit$$
  
 $T_{Ev}$  = Waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi sejumlah orang  
 $W$  = Lebar jalan
4. Hasil dari nomor 2 di atas adalah jumlah orang yang lewat outlet permenit.
5. Penduduk / kapasitas outlet didapatkan waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi.
6. Perhitungan kelas bahaya klaster adalah berdasarkan klasifikasi waktu minimal yang dibutuhkan untuk selamat dan jangka waktu yang dibutuhkan.

Tabel 5. Kelas Waktu Evakuasi

No	Klasifikasi bahaya	Waktu evakuasi
1	Sangat berbahaya	$T > 27$ menit
2	Berbahaya	$22 < T \leq 27$ mnt
3	Cukup berbahaya	$T \leq 22$ menit

*Kelas Kepadatan Penduduk*

Kelas kepadatan penduduk sebagai salah satu faktor kerentanan di bangun atas asumsi sebagai berikut:

- Perhitungan jumlah penduduk yang akan terkena oleh tsunami adalah penduduk yang tinggal pada suatu kelurahan. Waktu terjadi tsunami, jenis aktifitas, tempat aktifitas tidak diperhitungkan dalam hal ini.
- Penduduk dianggap tersebar merata sesuai dengan kelurahannya, sehingga faktor kepadatan dirumuskan dengan jumlah penduduk kelurahan dibagi dengan luas kelurahan.

Dari kriteria di atas, maka kelas kepadatan disusun sebagai berikut (Tabel 6):

Tabel 6. Kelas Kepadatan Penduduk

No	Sebaran Jumlah Penduduk	Kelas Sebaran Penduduk
1	Padat sekali	$\geq 250$
2	Padat	$150 \leq P < 250$
3	Cukup Padat	$75 \leq P < 150$
4	Kurang Padat	$P < 75$

MITIGASI BENCANA TSUNAMI

Tidak kurang dari 460 gempa dengan magnitudo  $M > 4.0$  terjadi setiap tahunnya (Ibrahim, dkk., 1989). Banyak di antara gempa-gempa besar menimbulkan kerusakan yang sangat besar serta jumlah kematian yang sangat tinggi. (Latief, dkk, 2000). Banyak diantara gempa dangkal yang besar yang terjadi di bawah laut membangkitkan tsunami-tsunami besar. Tsunami ini juga menimbulkan kerugian serta kematian jiwa yang cukup tinggi. Selain dibangkitkan oleh gempa.

*Tindakan Mitigasi Bencana di Kota Bengkulu*

Secara umum tujuan pengkajian resiko dan mitigasi bencana tsunami adalah untuk mengurangi dampak buruk yang ditimbulkannya agar menjadi sekecil mungkin. Secara khusus dari mitigasi bencana tsunami ini (dimodifikasi dari ADB, 1991) adalah:

- ❖ Meningkatkan kewaspadaan terhadap resiko bencana tsunami di tingkat masyarakat dan

memperkenalkan tindakan lokal yang perlu diambil untuk mengurangi resiko.

- ❖ Merangsang kewaspadaan perencana di tingkat nasional maupun regional untuk merefleksikan mitigasi bencana dalam perencanaan pengembangan nasional, usulan perencanaan tata guna lahan, serta dalam disain proyek terutama di daerah rawan bencana.
- ❖ Membantu politisi serta pemerintah untuk memahami sifat dari jenis resiko yang dihadapi serta membantu memahami dampak ekonomi yang ditimbulkan bencana tsunami terhadap pertanian, perdagangan, industri dan lain-lain.
- ❖ Mendemonstrasikan cara mengurangi resiko-resiko tersebut, pada lingkup nasional dan regional atau dalam konteks sosial ekonomi lokal serta sosial ekonomi budaya.
- ❖ Memperkenalkan tindakan yang efektif dalam mengimplementasikan rencana mitigasi bencana tsunami pada tingkat administrasi publik berdasarkan kajian resiko dan analisis kerentanan.

Mitigasi bencana adalah istilah yang digunakan untuk menunjukkan pada semua tindakan untuk mengurangi dampak dari tindakan untuk mengurangi dampak dari satu bencana yang dapat dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang.

Mitigasi bencana tsunami meliputi :

- a. *Structural measures* : konstruksi bangunan pantai (*seawall, breakwaters, pintu air* dll.)
- b. *Non structural measures*: misalnya sistem peringatan dini, pembuatan peta bencana tsunami dll.

Pesisir kota Bengkulu dengan sebagian besar wilayahnya merupakan daerah pemukiman padat yang memiliki kerentanan tinggi terhadap tsunami serta kurang memiliki perlindungan pantai terhadap tsunami. Oleh karena itu diperlukan perencanaan yang baik mengenai mitigasi bencana tsunami sehingga dapat mereduksi korban jiwa dan kerusakan infrastruktur.

Tindakan mitigasi yang banyak dilakukan sekarang ini secara garis besar meliputi:

- a. Pengkajian *Hazard* (identifikasi serta peta potensi rendaman tsunami)
- b. Monitoring secara *real time* terhadap tsunami serta sistem peringatan dini (pendistribusian informasi kepada penduduk)
- c. Pendidikan masyarakat (respons komunitas dan *awareness* penduduk).

Saat ini mulai diperkenalkan serta direalisasikan penggunaan vegetasi sebagai penyangga yang berfungsi untuk mereduksi gempuran gelombang badai dan tsunami. Penggunaan vegetasi sebagai pelindung pantai sangat ekonomis dan efektif dari sudut pandang perawatan dalam jangka waktu lama serta berwawasan lingkungan, yaitu: sebagai tempat pembijakan biota laut, berfungsi sebagai filter terhadap penetrasi air laut, dan tempat tinggal unggas. Daun-daun vegetasi ini dapat berfungsi sebagai filter untuk menahan pasir-pasir yang diterbangkan oleh tiupan angin di pantai, sehingga udara di belakang daerah hutan penyangga ini menjadi bersih.

Hutan mangrove adalah salah satu yang mungkin dapat digunakan sebagai hutan pelindung, karena kekuatan akar-akarnya maka mangrove ini merupakan penyangga yang sangat efektif untuk melawan terjangan gelombang besar atau tsunami. Simulasi konfigurasi vegetasi seperti diameter batang, kerapatan (densitas), yang optimal dalam mereduksi energi gelombang badai telah diteliti baik melalui penyelesaian analitik, numerik maupun melalui eksperimen di laboratorium (Latief, 2000, , Harada dkk, 2000, Latief, 2002, dan Hadi, dkk, 2002).

Pesisir kota Bengkulu yang juga relatif memiliki kawasan lahan kosong selain pemukiman di daerah pesisir memiliki peluang yang sangat besar untuk dapat mengurangi kerentanan terhadap tsunami. Salah satunya yaitu dengan menggunakan vegetasi sebagai pemecah gelombang jika terjadi tsunami.

Lokasi Kota Bengkulu yang cukup berdekatan dengan sumber pusat gempa, mengakibatkan waktu penjalaran tsunami dari pusat gempa ke daerah pesisir akan cukup singkat. Oleh karena itu perlu dibangun zona aman gelombang tsunami di daerah – daerah yang tinggi rawan bencana tsunami diperlukan (selain penanaman mangrove).

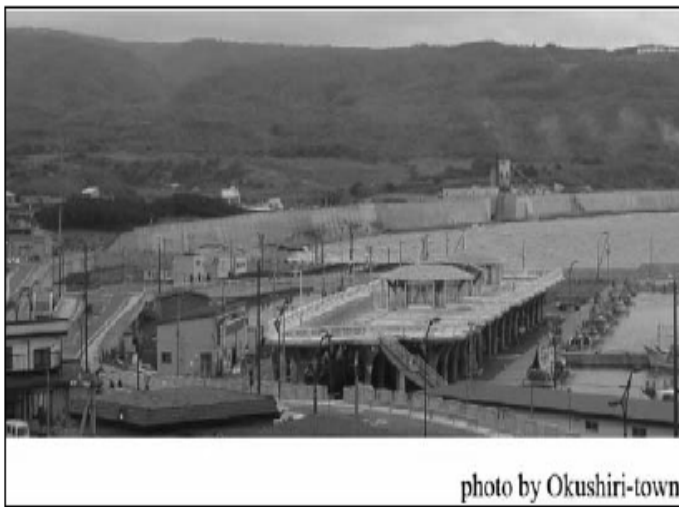


Gambar 4. Contoh bangunan dengan dua aplikasi

Seperti di negara Jepang desain dari bangunan di daerah pesisir memiliki dua fungsi misalkan seperti contoh pada Gambar 4.

Bangunan sekolah ini mempunyai fungsi lain sebagai tempat untuk evakuasi dari penduduk sekitarnya jika gelombang tsunami datang. Dapat dilihat bahwa terdapat lubang di bawah bangunan sekolah ini. Hal ini dimaksudkan jika gelombang tsunami datang energi dari gelombang akan berkurang karena air masuk pada bagian bawah bangunan.

Di daerah dekat pelabuhan dibangun sebuah bangunan yang di desain seperti Gambar 5. Bangunan ini digunakan untuk tempat evakuasi bagi masyarakat yang tidak memiliki waktu untuk lari ke zona aman.



Gambar 5. Bangunan pelabuhan sebagai tempat evakuasi



Gambar 6. Bangunan benteng Marlborough yang relatif tinggi dan kokoh dapat dijadikan alternatif jalur evakuasi vertikal

Kota Bengkulu memiliki Bangunan Benteng Marlborough (Gambar 6) yang cukup tinggi dan kokoh serta relatif berada di kawasan pantai. Bangunan ini dapat digunakan sebagai bangunan tempat evakuasi sebagai alternatif jalur evakuasi

bagi masyarakat sekitar untuk lari menyelamatkan diri.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asian Development Bank, (1991): *Disaster Mitigation in Asia and The Pasific*, Manila, Philipina, 392p.
- Hadi, S., J.Latief, A.Supangat (2002) : *Model of Coastal Protection Againsts Storm Surges or Tsunami by using Vegetation: Case Study: Pancer Bay which attacked by the 1994 East Java Tsunami*, Hibah Bersaing X/1, working paper (In Indonesia)
- Harada. K., H.Latief, and F.Imamura (2000). *Study on ehe Mengrove control forest to reduce tsunami impact*, Proceeding of 12<sup>th</sup> Congress of the IAHR-APD, Bangkok.
- Ibrahim,G., Untoro, M.Ahmad, dan R.Hendrawan, (1989): *Earthquake Statistic in Indonesia*, Technical Report, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- Latief, H., N.T.Puspito, F.Imamura (2000) *Tsunami Katalog and Zoning in Indonesia*, Journal of Natural Disaster, Japan.
- Latief, H (2000): *Study on Tsunamies and their Mitigation by using A Green Belt in Indonesia*, Disertasi Ph.D, Civil Eng. Tohoku Univ. Japan.