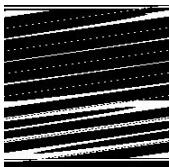


Peraturan Menteri Pekerjaan Umum
No. 06/PRT/M/2009

tentang

Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan
Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM



MENTERI PEKERJAAN UMUM
REPUBLIK INDONESIA

PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
Nomor : 06/PRT/M/2009

TENTANG

PEDOMAN PERENCANAAN UMUM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR
DI KAWASAN RAWAN TSUNAMI

DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA

MENTERI PEKERJAAN UMUM,

- Menimbang : a. bahwa kepulauan Indonesia merupakan salah satu wilayah tektonik dan vulkanik yang paling aktif di dunia, maka kerawanan tsunami akan selalu terjadi sehingga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap pembangunan infrastruktur bidang Ke-PU-an khususnya;
- b. bahwa dalam upaya pembangunan infrastruktur terutama di kawasan rawan tsunami diperlukan pengaturan dan perencanaan umum serta manajemen yang menyeluruh, terpadu, serasi dan seimbang dengan memperhatikan kebutuhan generasi sekarang dan akan datang sehingga menjamin infrastruktur dapat berfungsi dengan baik dan aman;
- c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud pada huruf a, dan huruf b perlu menetapkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami;
- Mengingat : 1. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004, tentang Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4377;
2. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 66 dan Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4723)
3. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2005 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Susunan Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Negara Republik Indonesia sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 94 Tahun 2006;
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2005 tentang Unit Organisasi dan Tugas Eselon I Kementerian Negara Republik Indonesia sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2007;
5. Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 187/M Tahun 2004 tentang Pembentukan Kabinet Indonesia Bersatu;

6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 01/PRT/M/2008 tentang Organisasi dan Tata Kerja Departemen Pekerjaan Umum;

MEMUTUSKAN :

Menetapkan : PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM TENTANG PEDOMAN PERENCANAAN UMUM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR DI KAWASAN RAWAN TSUNAMI.

Pasal 1

Dalam Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan :

1. Gempa berpotensi tsunami (*tsunamigenic earthquake*) adalah gempa dengan karakteristik tertentu, yaitu (a) pusat gempa terletak di dasar laut, (b) tergolong gempa dangkal dengan kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, (c) mempunyai besaran (*magnitudo*) gempa M 6,0, dan (d) mempunyai jenis sesar naik atau sesar turun.
2. Gempa tsunami (*tsunami earthquake*) adalah gempa yang karakteristiknya berbeda dengan *tsunamigenic earthquake*, tetapi dapat menimbulkan tsunami besar dengan amplitudo yang jauh lebih besar daripada besarnya *magnitudo* gempa.
3. Penanggulangan bencana adalah proses kegiatan yang meliputi pengenalan dan pemahaman bencana, risiko, jenis-jenis, lokasi dan keadaan darurat bencana, dan penanganannya; mitigasi, kesiap-siagaan dan kewaspadaan masyarakat terhadap bencana; pencegahan; eksploitasi; pemulihan, dan rekonstruksi bencana. Kegiatan ini merupakan suatu siklus manajemen penanggulangan bencana.
4. Risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat.
5. Status keadaan darurat bencana adalah suatu keadaan yang ditetapkan oleh Pemerintah untuk jangka waktu tertentu atas dasar rekomendasi Badan yang diberi tugas untuk menanggulangi bencana.
6. Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.
7. Kesiapsiagaan adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna.
8. Pencegahan bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan risiko bencana, baik melalui pengurangan ancaman bencana maupun kerentanan pihak yang terancam bencana.
9. Rekonstruksi adalah pembangunan kembali semua prasarana dan sarana, kelembagaan pada wilayah pascabencana, baik pada tingkat pemerintahan maupun masyarakat dengan sasaran utama tumbuh dan berkembangnya kegiatan perekonomian, sosial dan budaya, tegaknya hukum dan ketertiban, dan bangkitnya peran serta masyarakat dalam segala aspek kehidupan bermasyarakat pada wilayah pascabencana.
10. Tsunami adalah gelombang laut yang terjadi akibat gempa, letusan gunung api, atau longsor yang terjadi di dasar laut.
11. Menteri adalah Menteri Pekerjaan Umum.

Pasal 2

- (1) Pengaturan tentang perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami dimaksudkan untuk memberikan acuan bagi perencana dalam memperkirakan dan menyelidiki kondisi lapangan yang rawan tsunami, melakukan pendekatan desain pengkajian untuk investigasi pantai dan pengembangan strategi upaya penanggulangan atau mitigasi berbagai jenis pengembangan perencanaan pembangunan infrastruktur di kawasan pantai yang rawan tsunami.
- (2) Tujuan ditetapkan pedoman ini untuk mengurangi risiko dan mencegah bahaya di kawasan rawan tsunami melalui perencanaan tata guna lahan dan pengurangan kerusakan tsunami dengan desain bangunan yang memadai, khususnya untuk perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami.

Pasal 3

- (1) Ruang lingkup Peraturan Menteri ini memuat tentang pengertian risiko tsunami untuk masyarakat; tata cara menghindari pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami; penentuan lokasi dan konfigurasi pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami; perencanaan dan konstruksi bangunan baru untuk mengurangi dampak tsunami; mitigasi bangunan prasarana terhadap bencana tsunami dengan pembangunan kembali dan rencana tata guna lahan dan pembangunan proyek; perencanaan dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi dampak tsunami; dan perencanaan kegiatan evakuasi vertikal.
- (2) Pedoman perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dimuat secara lengkap dalam Lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dengan peraturan menteri ini.


Pasal 4

Peraturan Menteri ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Peraturan Menteri ini disebarluaskan kepada pihak-pihak yang berkepentingan untuk diketahui dan dilaksanakan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 16 Maret 2009

MENTERI PEKERJAAN UMUM,



DJOKO KIRMANTO

LAMPIRAN PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM
NOMOR : 06/PRT/M/2009
TANGGAL : 16 Maret 2009

PEDOMAN PERENCANAAN UMUM PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR
DI KAWASAN RAWAN TSUNAMI

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	iii
Pendahuluan	iv
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi	2
4 Pengertian risiko tsunami untuk masyarakat: bencana, kerawanan, dan penyingkapan (dampak) tsunami (Prinsip 1).....	6
4.1 Kegempaan	6
4.2 Kejadian tsunami	7
4.3 Peta zonasi tsunami kepulauan Indonesia	15
4.4 Pemahaman tingkat risiko tsunami bagi masyarakat.....	20
4.5 Strategi aplikasi informasi bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi (harta benda) di masa mendatang	26
5 Menghindari pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi di masa mendatang (Prinsip 2)	30
5.1 Tinjauan umum	30
5.2 Peraturan perencanaan tata guna lahan untuk mengurangi risiko tsunami	30
5.3 Proses implementasi strategi perencanaan tata guna lahan	31
5.4 Prinsip khusus strategi perencanaan tata guna lahan untuk mengurangi risiko tsunami	34
6 Penentuan lokasi dan konfigurasi pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi (Prinsip 3).....	36
6.1 Peraturan perencanaan lapangan dalam mengurangi risiko tsunami (Konsep perencanaan dan mitigasi bencana tsunami).....	37
6.2 Proses implementasi strategi perencanaan lapangan	37
6.3 Strategi mitigasi dengan jenis-jenis pengembangan pembangunan.....	39
6.4 Strategi mitigasi untuk berbagai jenis pembangunan	41
6.5 Studi kasus: Rencana pembangunan pedesaan Hilo	44
7 Perencanaan dan konstruksi bangunan baru untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 4).....	44
7.1 Umum.....	44
7.2 Komponen kegiatan dasar perencanaan umum bangunan di kawasan rawan tsunami..	45
7.3 Peraturan desain dan konstruksi untuk mengurangi risiko tsunami	47
7.4 Proses implementasi strategi desain dan konstruksi bangunan	48

7.5 Prinsip khusus strategi desain dan konstruksi pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami	53
8 Mitigasi bangunan prasarana terhadap bencana tsunami dengan pembangunan kembali dan rencana tata guna lahan dan pembangunan proyek (Prinsip 5)	56
8.1 Peraturan pembangunan kembali di kawasan rawan tsunami.....	56
8.2 Proses mengurangi kerawanan tsunami dengan pembangunan kembali.....	56
8.3 Prinsip khusus strategi pembangunan kembali di kawasan rawan tsunami.....	57
9 Perencanaan dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 6).....	58
9.1 Peraturan desain dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis.....	58
9.2 Proses implementasi dan strategi desain bangunan prasarana dan lokasi fasilitas kritis	60
9.3 Macam-macam bangunan	62
9.4 Pertimbangan khusus strategi desain dan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi risiko tsunami	64
10 Perencanaan kegiatan evakuasi vertikal (Prinsip 7).....	67
10.1 Pertimbangan umum perbedaan karakteristik bencana	67
10.2 Peraturan evakuasi vertikal.....	67
10.3 Proses implementasi strategi evakuasi vertikal (Konsep dasar).....	68
10.4 Prinsip khusus strategi rencana evakuasi vertikal untuk mengurangi dampak tsunami terhadap manusia	71
10.5 Studi kasus: Program peringatan dini tsunami	74
Lampiran A Ketentuan yang harus dipenuhi di wilayah bencana banjir dan pembangunan di sekitar fasilitas drainase.....	75
Lampiran B Bagan alir perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami.....	81
Lampiran C Lain-lain.....	82
Bibliografi.....	85

Prakata

Pedoman tentang 'Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur Di Kawasan Rawan Tsunami' merupakan pedoman yang mengacu pada "*Guidelines Designing for Tsunami*" (*A multi-state mitigation project of the National Tsunami Hazard Mitigation Program, NTHMP, March 2001*). Adapun perubahan dari standar ini adalah sebagai berikut: perubahan format dan layout SNI sesuai PSN No. 8 Tahun 2007, perubahan judul pedoman, penambahan dan perbaikan Istilah dan definisi, penambahan dan revisi beberapa materi dan gambar, penjelasan rumus beserta satuannya, penyempurnaan bagan alir, dan perbaikan gambar.

Pedoman ini disusun oleh Gugus Kerja Pengendalian Daya Rusak Air Bidang Bahan dan Geoteknik pada Sub Panitia Teknis Sumber Daya Air, yang berada di bawah Panitia Teknis Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Kelompok Bidang Keahlian, Gugus Kerja, dan Rapat Teknis serta Rapat Konsensus yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait. Rapat Teknis pada tanggal 3 Agustus 2005 dan Rapat Konsensus pada tanggal 10 Oktober 2006 telah dilaksanakan oleh Sub Panitia Teknis Sumber Daya Air di Bandung.

Pendahuluan

Konsep dasar pembangunan prasarana (infrastruktur) dan sarana bangunan merupakan modal dasar yang harus dikelola dengan baik, sehingga bermanfaat bagi generasi sekarang dan yang akan datang. Pola pengembangan dan pengelolaan sumber daya alam (SDA) sebagai salah satu komponen yang hakiki terkait pada strategi yang berlingkup nasional maupun regional. Ini berarti, perlu diperhatikan pengelolaan SDA dan potensi lahan dan lingkungannya serta sumber daya manusianya yang terkait dengan kuantitas dan kualitas SDA. Pembangunan (pengembangan) dan pengelolaan sumber daya alam yang baik adalah pengelolaan yang tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan (misalnya banjir, kekeringan, pencemaran, longsor, amblesan, tsunami), dan tidak merusak sumber daya alam itu sendiri. Dengan kata lain, dapat mencerminkan satu kesatuan ekosistem yang berkelanjutan atau konsep pengembangan wilayah yang berwawasan lingkungan. Perencanaan umum sebaiknya dituangkan dalam suatu konsep pengaturan tata ruang terpadu di suatu wilayah (rencana tata ruang wilayah, RTRW), dengan memperhatikan urutan skala prioritas. Pengalaman menunjukkan bahwa dengan terbatasnya ketersediaan SDA di satu pihak dan makin meningkatnya kebutuhan seiring dengan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi dan pembangunan di berbagai bidang di lain pihak, akan dapat menimbulkan konflik sosial, ekonomi dan politik dalam suatu tata ruang. Oleh karena itu, perlu adanya suatu pengaturan dan perencanaan umum serta manajemen yang menyeluruh, terpadu, serasi dan seimbang dengan memperhatikan kebutuhan generasi sekarang dan yang akan datang.

Pembangunan dapat bermakna positif, namun kadang-kadang dapat menimbulkan masalah bencana yang merugikan kehidupan manusia itu sendiri dan lingkungannya. Fenomena timbulnya bencana sebagai ancaman dapat terjadi karena perilaku manusia dan kondisi alami, sehingga menimbulkan risiko antara kerentanan versus kapasitas yang menyangkut fisik atau material dan sosial/kelembagaan, dan motivasinya. Bencana yang disebabkan secara alami meliputi faktor eksogen (misalnya banjir, badai) dan faktor endogen (gempa bumi, gunung api, longsor, tsunami). Bencana akibat perilaku manusia disebabkan oleh faktor-faktor berikut: tidak tepatnya teknologi yang digunakan dalam pembangunan, kepentingan pembangunan sektoral, eksploitasi SDA yang berlebihan, kondisi politik yang tidak memihak rakyat banyak, perpindahan penduduk, kesenjangan sosial, ekonomi dan budaya. Oleh karena itu, untuk keberhasilan perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, diperlukan suatu manajemen penanggulangan bencana, yang merupakan suatu siklus kegiatan.

Kepulauan Indonesia merupakan salah satu wilayah tektonik dan vulkanik yang paling aktif di dunia. Oleh karena itu, kerawanan tsunami seperti halnya bencana alam gempa dan letusan gunung api, akan selalu terjadi di wilayah kepulauan Indonesia. Kerawanan tsunami dapat disebabkan oleh gempa, letusan gunung api maupun longsor di dasar laut. Kerusakan akibat tsunami biasanya disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu (i) terjangan gelombang tsunami, dan (ii) kombinasi akibat guncangan gempa dan terjangan gelombang tsunami. Penanggulangan bencana tsunami biasanya merupakan suatu rangkaian kegiatan yang bersifat kontinu dan saling berkaitan yang merupakan suatu siklus, karena bencana tsunami diasumsi terjadi berulang. Siklus ini terdiri atas enam tahapan kegiatan yang saling berkaitan, yaitu (1) pencegahan dan peraturan perundang-undangan, (2) mitigasi, (3) kesiapsiagaan, (4) tanggap darurat, (5) pemulihan dan rehabilitasi, dan (6) rekonstruksi.

Sampai sekarang suatu pedoman perencanaan pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami yang meliputi daerah pantai dan pesisir pantai secara luas belum ada di Indonesia, sehingga perlu disusun pedoman dengan judul "Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami".

Pedoman ini mengacu pada “*Guidelines Designing for Tsunami*” (A multi-state mitigation project of the National Tsunami Hazard Mitigation Program, NTHMP, March 2001) dan standar serta pedoman terkait lainnya yang berlaku, seperti dijelaskan dalam Bab 2 Acuan normatif. Pedoman ini menguraikan prinsip dasar perencanaan umum yang komprehensif dan luas dengan mempertimbangkan 7 prinsip pemikiran, seperti yang akan diuraikan dalam bab-bab utama pedoman ini. Prinsip-prinsip itu antara lain: pengertian risiko tsunami untuk masyarakat umum, menghindari pembangunan baru dan menentukan lokasi dan konfigurasi pembangunan baru di kawasan rawan tsunami, perencanaan umum dan konstruksi bangunan infrastruktur (prasarana) untuk mengurangi dampak tsunami, mitigasi bangunan prasarana terhadap risiko tsunami dengan pembangunan kembali dan rencana tata guna lahan, perencanaan dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi dampak tsunami, perencanaan kegiatan evakuasi vertikal dan horisontal, pembuatan zonasi tsunami dan aplikasi analisis perhitungan.

Untuk menjamin bangunan dapat berfungsi dengan baik, aman, dan tidak mengalami kerawanan tsunami yang hebat, diperlukan tanah fondasi yang mempunyai daya dukung cukup kuat dan parameter tanah dan batuan yang memenuhi syarat keamanan, kestabilan, dan gaya dinamik (kegempaan). Selain itu, juga diperlukan pemilihan tipe dan pertimbangan desain penanggulangan (mitigasi) yang sesuai dengan kondisi setempat.

Pedoman ini dimaksudkan untuk memperkirakan dan menyelidiki kondisi lapangan yang rawan tsunami, melakukan pendekatan desain pengkajian untuk investasi pantai yang baru, dan mengembangkan strategi upaya penanggulangan atau mitigasi berbagai jenis pengembangan perencanaan pembangunan infrastruktur di kawasan pantai yang rawan tsunami. Hal tersebut berguna untuk mencegah bahaya di kawasan rawan tsunami melalui perencanaan tata guna lahan, dan pengurangan kerusakan tsunami dengan desain bangunan yang memadai, khususnya untuk perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami.

Pedoman ini merupakan pegangan dan acuan yang lengkap, namun dalam implementasinya di lapangan perlu disesuaikan dengan kebutuhan. Penyelidikan, perencanaan dan mitigasi setempat yang dilakukan perlu disesuaikan dengan kondisi lapangan, tahap pekerjaan (studi pendahuluan, pradesain, desain atau desain ulang (*review*)), tetapi harus memenuhi kriteria/standar minimum penyelidikan geoteknik, pemilihan tipe dan analisis stabilitas terhadap kerawanan bencana tsunami yang diperlukan.

Pedoman ini diharapkan akan bermanfaat bagi para *engineer* dan tenaga teknis, perencana dan pelaksana pembangunan, pengambil keputusan, serta semua pihak/instansi dari pemerintah pusat dan pemerintah daerah terkait, dalam perencanaan umum pembangunan infrastruktur dan penanggulangan bencana di kawasan rawan tsunami.

Perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami

1 Ruang lingkup

Pedoman ini menetapkan perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, dengan kala ulang perencanaan yang perlu diantisipasi yang sering terjadi di daerah pantai dan pesisir pantai. Pedoman ini menguraikan prinsip-prinsip umum perencanaan tata guna lahan, perencanaan penempatan/lokasi dan desain bangunan infrastruktur untuk penanggulangan (mitigasi) bahaya bencana tsunami, yang meliputi hal-hal sebagai berikut:

- a) pengertian risiko tsunami untuk masyarakat umum: bencana, kerawanan dan penyingkapan (dampak) tsunami (Prinsip 1),
- b) menghindari pembangunan baru di kawasan rawan tsunami, untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi (harta benda) di masa mendatang (Prinsip 2),
- c) penentuan lokasi dan konfigurasi pembangunan baru di kawasan rawan tsunami, untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi di masa mendatang (Prinsip 3),
- d) perencanaan umum dan konstruksi bangunan infrastruktur untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 4),
- e) mitigasi bangunan infrastruktur (prasarana) terhadap risiko bencana tsunami dengan pembangunan kembali dan rencana tata guna lahan dan pembangunan proyek (Prinsip 5),
- f) perencanaan dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis, untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 6),
- g) perencanaan kegiatan evakuasi vertikal dan horisontal (Prinsip 7),
- h) pembuatan zonasi tsunami dan aplikasi analisis perhitungan.

2 Acuan normatif

National Tsunami Mitigation Hazard Program (NTMHP), March 2001, Guideline designing for tsunami

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004, *Sumber daya air*

Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007, *Penanggulangan bencana*

SNI 03-1725-1989, *Tata cara perencanaan pembebanan jembatan jalan raya.*

SNI 03-1727-1989, *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.*

SNI-03-2833-1992, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan jalan raya.*

SNI 03-3446-1994, *Tata cara perencanaan teknis pondasi langsung untuk jembatan.*

SNI 03-3447-1994, *Tata cara perencanaan teknis pondasi sumuran untuk jembatan.*

SNI 03-1726-2002, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan dan gedung.*

SNI 03-6747-2002, *Tata cara perencanaan teknis pondasi tiang untuk jembatan.*

SNI-03-7011-2004, *Keselamatan pada bangunan fasilitas pelayanan kesehatan.*

3 Istilah dan definisi

3.1

diskontinuitas

bidang pemisah yang menyebabkan batuan bersifat tidak menerus, antara lain berupa bidang perlapisan, kekar (*joints*), sesar (*faults*), dan retak-pecah (*fracture*)

3.1.1

bidang perlapisan

diskontinuitas yang terjadi karena gaya tektonik pada batuan dan menunjukkan gejala pergeseran

3.1.2

jarak diskontinuitas

jarak tegak lurus antara diskontinuitas yang berdekatan dan diukur dengan satuan sentimeter (millimeter) serta tegak lurus terhadap bidang-bidang perlapisan

3.1.3

kekar (*joints*)

diskontinuitas yang terjadi karena gaya tektonik pada batuan, pengerasan magma menjadi batuan, namun tidak menunjukkan gejala pergeseran

3.1.4

retak-pecah (*fracture*)

istilah umum untuk segala jenis ketidak-sinambungan (diskontinuitas) mekanis pada batuan, atau suatu kondisi diam pada kesinambungan mekanis badan batuan akibat tegangan yang melampaui kekuatan batuan, contohnya sesar (*faults*), kekar (*joints*), retakan (*cracks*), dan lain-lain

3.1.5

sesar (*faults*)

diskontinuitas yang terjadi karena gaya tektonik pada batuan dan menunjukkan gejala pergeseran

3.2

gaya dampak (gelombang)

gaya yang disebabkan oleh gaya benturan dari badan air dengan bangunan, namun lebih merupakan gaya pendorong karena berhubungan dengan perubahan momentum yang dapat menyebabkan gelombang

3.2.1

tinggi gelombang (*run-up*)

tinggi maksimum air di tepi pantai yang diamati di atas muka laut referensi, biasanya diukur pada batas genangan horisontal

3.2.2

gelombang ayun (*seiche*)

suatu gelombang berayun dalam badan air sebagian atau sepenuhnya, yang dapat diakibatkan oleh gelombang gempa dengan perioda panjang, angin dan gelombang air, atau tsunami

3.2.3

tinggi gelombang tsunami (tinggi *run-up*)

tinggi gelombang yang bergantung pada besar kecilnya deformasi dasar laut (akibat gempa, letusan gunung api, longsor), dan bentuk serta morfologi pantai. Pada umumnya deformasi besar yang terjadi di pantai dengan morfologi landai dan berlekuk, dapat menghasilkan tinggi gelombang (*run-up*) maksimum

3.2.4

gelombang pasang surut pada muara sungai tertentu (*bore*)

lintasan gelombang yang terjadi secara tiba-tiba pada tinggi badan air vertikal. Dalam kondisi tertentu, ujung awal gelombang tsunami dapat membentuk *bore* yang mendekati dan meninggalkan tepi pantai. *Bore* dapat juga terbentuk jika gelombang tsunami memasuki aliran sungai, dan melintasi bagian udik yang menjorok ke darat dengan jarak cukup jauh daripada genangan pada umumnya. Pasang surut ini disebabkan oleh gaya tarik gravitasi dari matahari dan bulan, yang dapat meningkatkan atau mengurangi dampak tsunami, sehingga tidak mengakibatkan hal-hal yang berkaitan dengan terjadinya gelombang. Pada umumnya pada awal kejadian tsunami memberikan peringatan atau gejala pasang naik yang cepat atau surut yang cepat ketika mendekati pantai, namun tidak memperlihatkan tinggi air gelombang yang mendekati vertikal.

3.3

genangan

kedalaman relatif terhadap elevasi acuan (datum) yang ditentukan pada lokasi tertentu yang tergenang air

3.3.1

batas genangan

batas daratan yang basah, diukur secara horisontal dari ujung pantai, dan ditentukan oleh muka air laut rata-rata

3.3.2

daerah genangan

daerah yang tergenang air karena adanya limpahan air atau banjir

3.3.3

jarak horisontal genangan

jarak tempuh gelombang tsunami masuk ke tepi pantai, biasanya diukur secara horisontal dari posisi muka air laut rata-rata dari tepi air, dan diukur sebagai jarak maksimum untuk lokasi/segmen tertentu dari suatu pantai

3.4

gempa dan gerakan dinamik

gerakan siklik atau berulang akibat gaya gempa atau gempa bumi, getaran mesin, dan gangguan lain seperti lalu-lintas kendaraan, peledakan dan pemancangan tiang, yang dapat menyebabkan meningkatnya tekanan air pori dalam tanah fondasi. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya daya dukung dan kekuatan tanah

3.4.1

gempa berpotensi tsunami (*tsunamigenic earthquake*)

gempa dengan karakteristik tertentu, yaitu (a) pusat gempa terletak di dasar laut, (b) tergolong gempa dangkal dengan kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km, (c) mempunyai besaran (magnitudo) gempa $M \geq 6,0$, dan (d) mempunyai jenis sesar naik atau sesar turun.

3.4.2

gempa tsunami (*tsunami earthquake*)

gempa yang karakteristiknya berbeda dengan *tsunamigenic earthquake*, tetapi dapat menimbulkan tsunami besar dengan amplitudo yang jauh lebih besar daripada besarnya magnitudo gempa

3.5

penanggulangan bencana

proses kegiatan yang meliputi pengenalan dan pemahaman bencana, risiko, jenis-jenis, lokasi dan keadaan darurat bencana, dan penanganannya, mitigasi, kesiap-siagaan dan kewaspadaan masyarakat terhadap bencana, pencegahan, eksploitasi, pemulihan, dan rekonstruksi bencana. Kegiatan ini merupakan suatu siklus manajemen penanggulangan bencana

3.5.1

eksploitasi

proses kegiatan perbaikan yang bersifat sementara

3.5.2

keadaan darurat

keadaan yang terjadi secara tiba-tiba (gempa, tsunami, gunung api, banjir), perlahan-lahan (kekeringan), dan kompleks (gagal panen, krisis politik) karena suatu kejadian atau bencana

3.5.3

kewaspadaan

kegiatan untuk membantu masyarakat agar rentan menolong dirinya sendiri untuk mengurangi dampak ancaman bahaya, sehingga dapat mengembangkan kesiap-siagaan warga dan sekitarnya dalam mitigasi bencana

3.5.4

mitigasi

gabungan dari ke tiga kegiatan yaitu pencegahan, penanggulangan dan kesiap-siagaan, yang dilakukan sebelum bencana tsunami terjadi, dapat pula diartikan sebagai segala upaya untuk mengurangi besarnya risiko bencana yang mungkin terjadi. Kegiatan mitigasi terbagi atas dua bagian yaitu struktural dan non-struktural. Program mitigasi yang baik seharusnya didukung oleh adanya pemantauan, sistem peringatan dini, penelitian komprehensif, pelatihan dan sosialisasi, serta sistem perundang-undangan

3.5.5

penanganan darurat

kegiatan yang meliputi upaya menyelamatkan jiwa dan harta benda, memberi perlindungan, dan membantu kebutuhan pokok bagi masyarakat yang tertimpa bencana

3.5.6

pencegahan

proses kegiatan pembangunan infrastruktur untuk menghindari bahaya bencana dengan mengikuti atau memenuhi peraturan perundangan-undangan sesuai dengan RT RW/kawasan lindung/lingkungan hidup, pengguna yang peduli lingkungan, penegakan hukum yang baik, memberikan penghargaan yang baik dan menghukum yang bersalah, standar dan pedoman yang berlaku, dan membangun bangunan infrastruktur yang dapat menahan gaya-gaya tsunami dan gempa

3.5.7

pemulihan

proses kegiatan kembali ke keadaan normal, dengan faktor sosial (umum) yang dapat berfungsi kembali, dan dapat memenuhi kebutuhan pokok

3.5.8

rekonstruksi

proses yang dilakukan dengan bekal pengkajian apakah bangunan infrastruktur yang dulu dibangun telah memenuhi kriteria manfaat lingkungan, sosial dan ekonomi. Jika jawabannya ya, perbaikan bersifat permanen dan harus sesuai dengan standar keamanan. Jika jawabannya tidak, seharusnya dikaji dahulu manfaat bangunan prasarana tersebut, dan dilaksanakan pembangunan kembali seperti pada keadaan alami (*back to nature based development*)

3.6

tsunami (*tsu* = pelabuhan dan *nami* = gelombang)

gelombang laut yang terjadi akibat adanya deformasi dasar laut secara tiba-tiba, deformasi ini bisa diakibatkan oleh gempa, letusan gunung api, atau longsor yang terjadi di dasar laut. Istilah ini berasal dari bahasa Jepang yang diturunkan dari kata "*tsu*" yang berarti pelabuhan dan kata "*nami*" yang berarti gelombang

3.6.1

amplitudo

tinggi gelombang tsunami dengan arah ke atas atau ke bawah dari batas elevasi air yang dibaca pada pos duga pasang surut gelombang

3.6.2

magnitudo tsunami (m)

besaran tsunami yang terjadi yang nilainya berkaitan dengan tinggi gelombang tsunami yang mencapai pantai

3.6.3

periode

panjang waktu antara dua puncak atau palung yang berurutan, dan dapat berubah-ubah karena pengaruh gelombang yang kompleks. Periode tsunami umumnya berkisar antara 5 sampai 60 menit

3.6.4

rayapan tsunami

ukuran tinggi air laut di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan (datum). Pada umumnya tsunami tidak menyebabkan gelombang tinggi yang berputar setempat, namun datang berupa gelombang kuat dengan kecepatan tinggi di daratan, sehingga rayapan gelombang pertama bukanlah rayapan tertinggi

3.6.5

resonansi pelabuhan

refleksi (pantulan) menerus dan pengaruh gelombang dari ujung pelabuhan atau teluk sempit. Pengaruh ini dapat menyebabkan amplifikasi tinggi gelombang dan perpanjangan durasi dari aktivitas gelombang tsunami

3.6.6

tinggi rayapan tsunami

beda tinggi antara datum dengan elevasi air maksimum dan merupakan parameter yang paling penting untuk pembuatan peta bahaya banjir (*innundation map*)

3.6.7

tsunami lokal (regional)

sumber tsunami dengan jarak 1000 km dari daerah pantai yang ditinjau. Tsunami lokal atau berareal di sekitarnya mempunyai waktu tempuh sangat pendek (30 menit atau kurang), dan gelombang tsunami berareal sedang atau regional mempunyai waktu tempuh dalam orde 30 menit sampai 2 jam. Catatan: tsunami lokal kadang-kadang digunakan dengan mengacu pada tsunami dari pusat longsoran

3.6.8

waktu tempuh

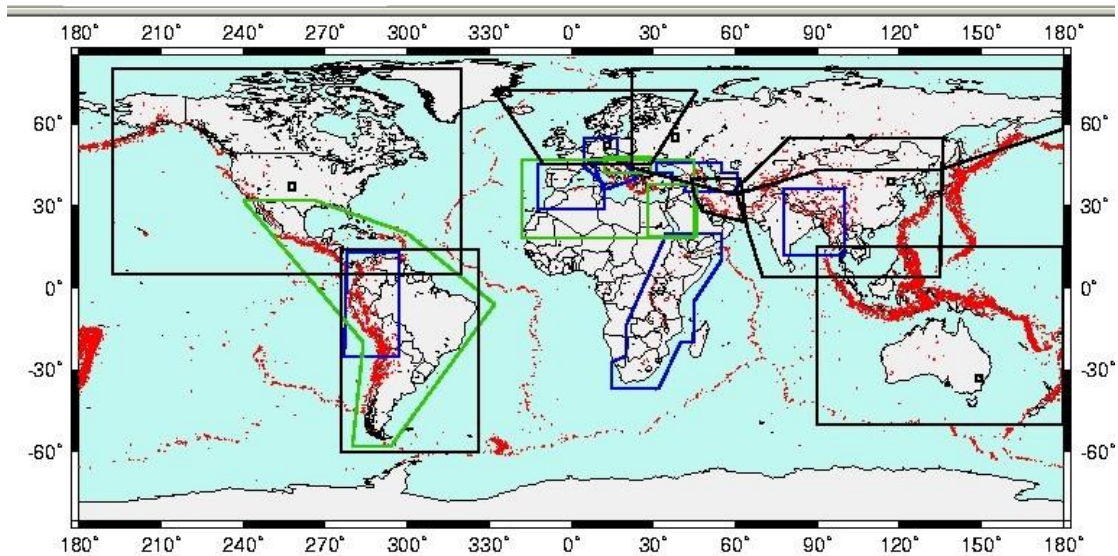
waktu (biasanya diukur dalam jam dan puluhan jam) yang diperlukan tsunami untuk menempuh (melambuh) dari sumbernya ke lokasi tertentu

4 Pengertian risiko tsunami untuk masyarakat: bencana, kerawanan, dan penyingkapan (dampak) tsunami (Prinsip 1)

4.1 Kegempaan

Indonesia adalah suatu kepulauan yang terdiri dari lebih 13.000 pulau, dengan tingkat kepadatan nomor empat tertinggi di dunia dan penduduk kurang lebih 220 juta jiwa. Dari peta kejadian gempa dunia (Gambar 1), kepulauan Indonesia terletak pada perpotongan dua jalur gempa dunia, yaitu jalur Alpide dan jalur Pasifik. Secara geologis Indonesia termasuk negara selain paling rawan terkena bencana gempa, juga termasuk negara yang sangat padat penduduknya. Dari kombinasi ke dua aspek ini, pemerintah sebaiknya memperhatikan secara khusus daerah-daerah dalam penanggulangan bencana untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian harta benda penduduk.

Pada beberapa tahun terakhir ini bencana alam akibat gempa bumi makin sering terjadi di Indonesia. Sebagai contoh gempa bumi di Laut Flores 12 Desember 1992 ($M_s=7,5$), Lampung 16 Februari 1994 ($M_s=7,2$), Banyuwangi 3 Juni 1994, Bengkulu 4 Juni 2000, Pulau Alor 24 Oktober – 15 Nopember 2004 ($M_s=7,3$), Nabire 6 Pebruari 2004 ($M_s=6,9$) dan 26 Nopember 2004 ($M_s=6,4$) yang menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda penduduk yang cukup besar. Gempa terakhir yang sempat tercatat terjadi pada tanggal 26 Desember 2004 dengan pusat gempa di lepas pantai barat Propinsi Nangroe Aceh Darussalam ($M_s=8,9$). Gempa tersebut telah memicu gelombang tsunami yang dampaknya terasa di 11 negara Asia dengan jumlah korban diperkirakan tidak kurang dari 150.000 jiwa.



Gambar 1 - Kejadian gempa bumi di dunia. sumber: <http://www.usgs.gov/>

Dari pengamatan bencana alam gempa yang akhir-akhir ini sering terjadi di Indonesia, dapat dilakukan inventarisasi lima jenis penyebab kerusakan yang diakibatkan gempa bumi, yaitu:

- a) penyebab utama adalah gaya inersia akibat guncangan gempa,
- b) penyebab ikutan yang mencakup :
 - 1) tsunami berupa gelombang pasang yang dapat menghancurkan dan menghanyutkan bangunan-bangunan ringan di desa-desa atau dusun-dusun di tepi pantai,
 - 2) perubahan struktur per lapisan tanah yang menggambarkan adanya penurunan dan proses likuifaksi,
 - 3) longsor di daerah perbukitan,
 - 4) kebakaran.

Di antara jenis-jenis penyebab ikutan akibat gempa bumi yang paling banyak menimbulkan korban jiwa adalah tsunami. Sehubungan dengan hal ini semua staf pemerintah pusat dan daerah, petugas dan pihak lain yang terlibat dalam penggunaan (implementasi) pedoman, harus mengetahui sifat dan pengaruh tsunami sebagai dasar dalam upaya penanggulangan (mitigasi) tsunami, yang mencakup kegiatan perencanaan secara komprehensif, penempatan (lokasi), peraturan bangunan/gedung dan bangunan untuk mitigasi risiko tsunami.

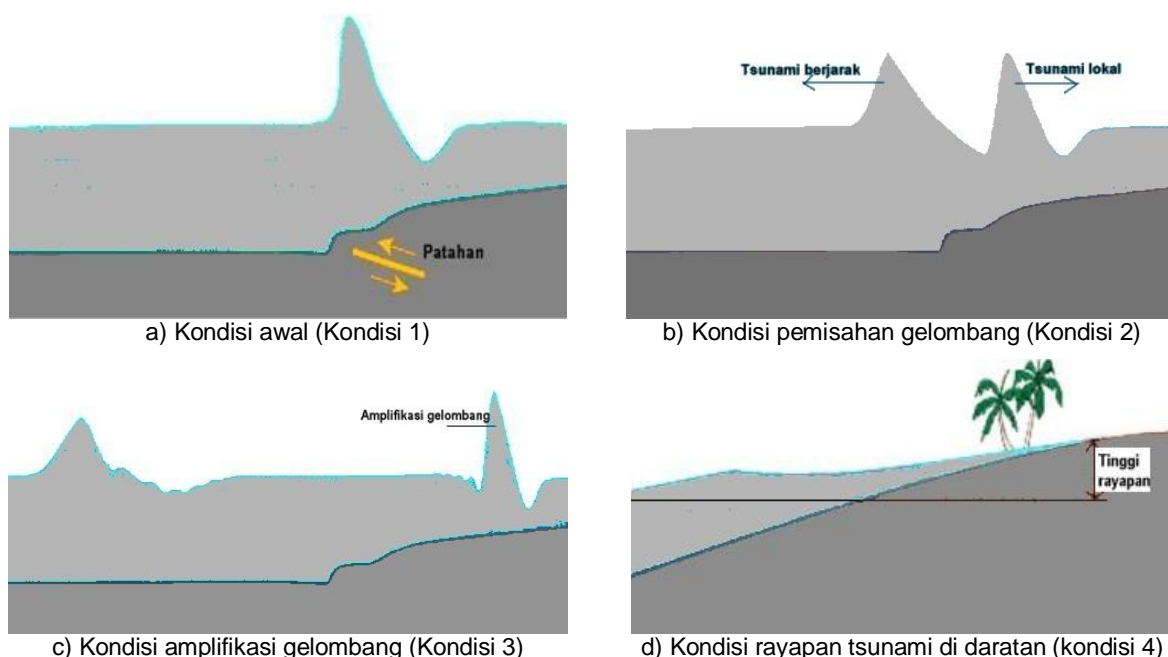
4.2 Kejadian tsunami

4.2.1 Mekanisme terjadinya tsunami akibat gempa bumi

Tsunami merupakan suatu rangkaian gelombang panjang yang disebabkan oleh perpindahan air dalam jumlah besar secara tiba-tiba. Tsunami dapat dipicu oleh kejadian gempa, letusan vulkanik, dan longsor di dasar laut, atau tergelincirnya tanah dalam volume besar, dampak meteor, dan keruntuhan lereng tepi pantai yang jatuh ke dalam lautan atau teluk. Mekanisme tsunami akibat gempa bumi dapat diuraikan dalam 4 kondisi yaitu: kondisi awal, pemisahan gelombang, amplifikasi, dan rayapan.

a) Kondisi awal (Kondisi 1)

Gempa bumi biasanya berhubungan dengan guncangan permukaan yang terjadi sebagai akibat perambatan gelombang elastik (*elastic waves*) melewati batuan dasar ke permukaan tanah. Pada daerah yang berdekatan dengan sumber-sumber gempa laut (patahan), dasar lautan sebagian akan terangkat (*uplifted*) secara permanen dan sebagian lagi turun ke bawah (*down-dropped*), sehingga mendorong kolom air naik dan turun. Energi potensial yang diakibatkan dorongan air ini, kemudian berubah menjadi gelombang tsunami (energi kinetik) di atas elevasi muka air laut rata-rata (*mean sea level*) yang merambat secara horisontal. Kasus yang diperlihatkan pada Gambar 2a adalah keruntuhan dasar lereng kontinental dengan lautan yang relatif dalam akibat gempa. Kasus ini dapat juga terjadi pada keruntuhan lempeng kontinental dengan kedalaman air dangkal akibat gempa.



Gambar 2 - Tsunami merupakan suatu rangkaian gelombang yang dalam dan panjang akibat perpindahan air dalam jumlah besar secara tiba-tiba, sumber: <http://www.usgs.gov/>

b) Pemisahan gelombang (Kondisi 2)

Setelah beberapa menit kejadian gempa bumi, gelombang awal tsunami (Kondisi 1) akan terpisah menjadi tsunami yang merambat ke samudera dalam (Gambar 2b) yang disebut sebagai tsunami berjarak (*distant tsunami*), dan sebagian lagi merambat ke pantai-pantai berdekatan yang disebut sebagai tsunami lokal (*local tsunami*). Tinggi gelombang di atas muka air laut rata-rata dari ke dua gelombang tsunami, yang merambat dengan arah berlawanan ini, besarnya kira-kira setengah tinggi gelombang tsunami awal (Kondisi 1). Kecepatan rambat ke dua gelombang tsunami ini dapat diperkirakan sebesar akar dari kedalaman laut (\sqrt{gd}). Oleh karena itu, kecepatan rambat tsunami di samudera dalam akan lebih cepat daripada tsunami lokal.

c) Amplifikasi (Kondisi 3)

Pada waktu tsunami lokal merambat melewati lereng kontinental, sering terjadi hal-hal seperti peningkatan amplitudo gelombang dan penurunan panjang gelombang (Gambar 2c). Setelah mendekati daratan dengan lereng yang lebih tegak, akan terjadi rayapan gelombang yang dijelaskan pada Kondisi 4.

d) Rayapan (Kondisi 4)

Pada saat gelombang tsunami merambat dari perairan dalam, akan melewati bagian lereng kontinental sampai mendekati bagian pantai dan terjadi rayapan tsunami (Gambar 2d). Rayapan tsunami adalah ukuran tinggi air di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan. Dari pengamatan berbagai kejadian tsunami, pada umumnya tsunami tidak menyebabkan gelombang tinggi yang berputar setempat (gelombang akibat angin yang dimanfaatkan oleh peselancar air untuk meluncur di pantai). Namun, tsunami datang berupa gelombang kuat dengan kecepatan tinggi di daratan yang berlainan seperti diuraikan pada Kondisi 3, sehingga rayapan gelombang pertama bukanlah rayapan tertinggi.

4.2.2 Kecepatan rambat tsunami

a) Kecepatan tsunami di lautan dalam (samudera) dengan gelombang cukup panjang dibandingkan dengan kedalaman laut (> 25 kali kedalaman laut), dapat diperkirakan dengan persamaan :

$$c = \sqrt{gh} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- c adalah kecepatan rambat (m/s),
- g adalah gravitasi (= 9,8 m/s²) ,
- h adalah kedalaman laut (m).

Sebagai contoh kedalaman laut h = 4 km, $c = \sqrt{9,8 \times 4000} = 198,1 \text{ m/s} = 713 \text{ km/jam}$.

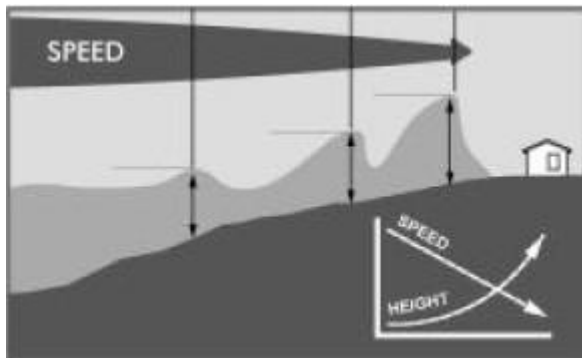
b) Pada lautan dalam kecepatan tsunami tidak terpengaruh oleh panjang gelombang. Namun, setelah mendekati daratan, panjang gelombang tsunami semakin memendek dibandingkan dengan kedalaman laut (1/2 L sampai 1/25 L), sehingga kecepatan gelombang semakin berkurang walaupun amplitudonya semakin tinggi. Perhitungan kecepatan gelombang (rambat tsunami) harus dilakukan dengan menggunakan persamaan yang lebih tepat dan memasukkan pengaruh panjang gelombang, sebagai berikut :

$$c = \sqrt{(gL/2\pi)(\tanh 2\pi h/L)} \dots\dots\dots (2)$$

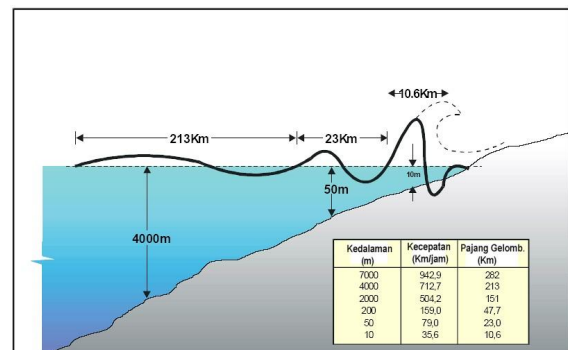
dengan :

L = panjang gelombang (m).

Sebagai ilustrasi kecepatan rambatan gelombang tsunami yang merupakan fungsi kedalaman laut, kecepatan rambat dan panjang gelombang, dapat dilihat pada Gambar 3.



a) Peningkatan tinggi gelombang setelah mendekati pantai



b) Ilustrasi hubungan antara kedalaman, kecepatan dan panjang gelombang

Gambar 3 - Ketika gelombang tsunami mendekati pantai, kecepatannya menjadi lambat dan secara dramatis tingginya meningkat, sumber: (<http://www.shoa.cl/oceano/itc/frontpage.html>)

c) Secara tipikal tsunami terbagi atas: tsunami lokal dan tsunami berjarak.

1) **Tsunami lokal**

Tsunami lokal berhubungan dengan episentrum gempa tsunami di sekitar pantai, sehingga waktu tempuhnya mulai dari awal sumber ke tempat masyarakat pantai dapat berlangsung antara 5 sampai 30 menit. Lokasi di atas daerah episentrum, akan menerima peringatan tsunami kira-kira 5 menit setelah kejadian gempa, yang merupakan waktu peringatan paling sesuai dengan teknologi terkini. Korban jiwa dan yang terluka akan berkurang, jika masyarakat dapat lari berevakuasi ke tempat yang lebih tinggi segera setelah merasakan gempa tanpa menunggu peringatan dari petugas setempat. Oleh karena itu, diperlukan informasi dan program pelatihan masyarakat secara efektif.

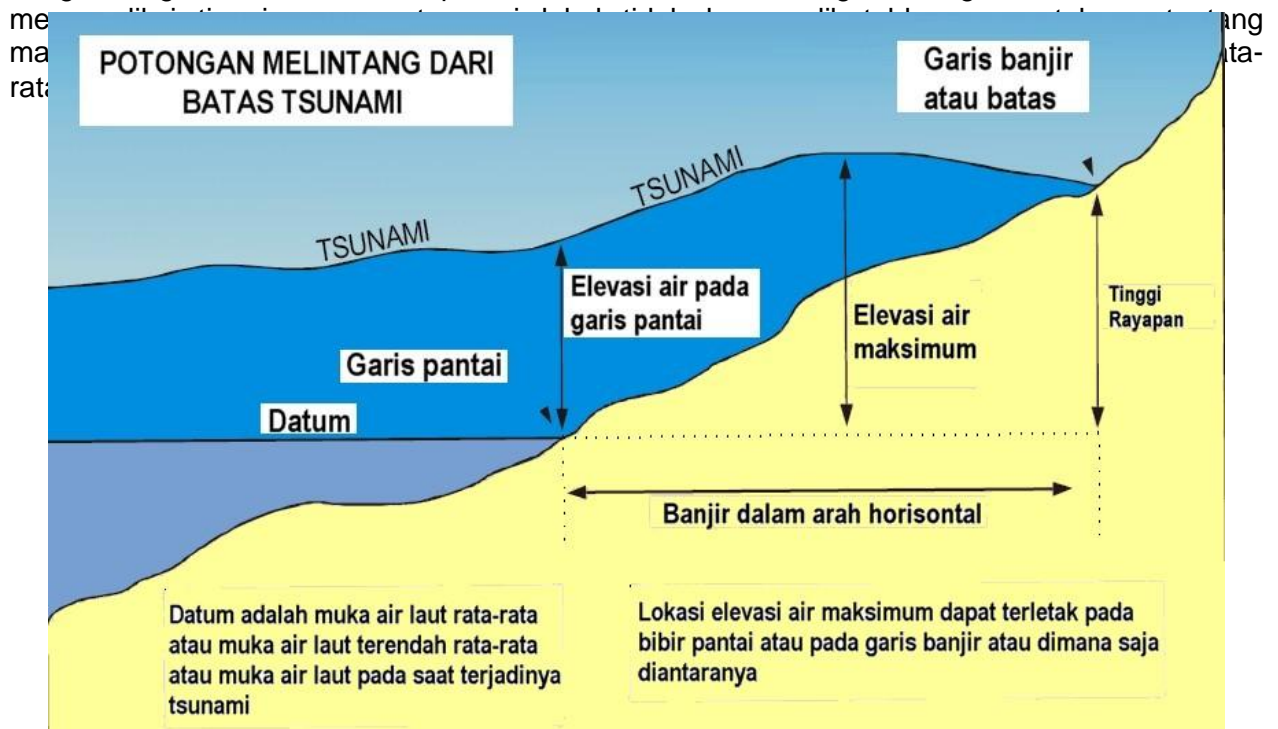
2) **Tsunami berjarak**

Tsunami berjarak adalah jenis tsunami yang paling umum terjadi di sepanjang pantai Pasifik dari Amerika Serikat. Contohnya gelombang di daerah Pasifik yang melintasi lautan sehingga energinya agak berkurang sebelum menghempas pesisir pantai Amerika Serikat. Dampak gabungan dari gempa dan tsunami regional yang berpusat di kepulauan Filipina pada tanggal 16 Agustus 1976 telah menewaskan kira-kira 8000 korban jiwa. Namun di Jepang pada tahun 1983 dan 1993 tidak menimbulkan gelombang yang lebih besar ke daerah lautan Pasifik. Jarak untuk mencapai pantai bervariasi antara 5½ jam sampai 18 jam, bergantung pada pusat tsunami, magnitudo tsunami, jarak sumber, dan arah pendekatan.

4.2.3 Aspek yang mempengaruhi tinggi rayapan tsunami

Tinggi rayapan tsunami menggambarkan beda tinggi antara datum dengan elevasi air maksimum, dan merupakan parameter yang paling penting untuk pembuatan peta bahaya banjir (*innundation map*), periksa Gambar 4.

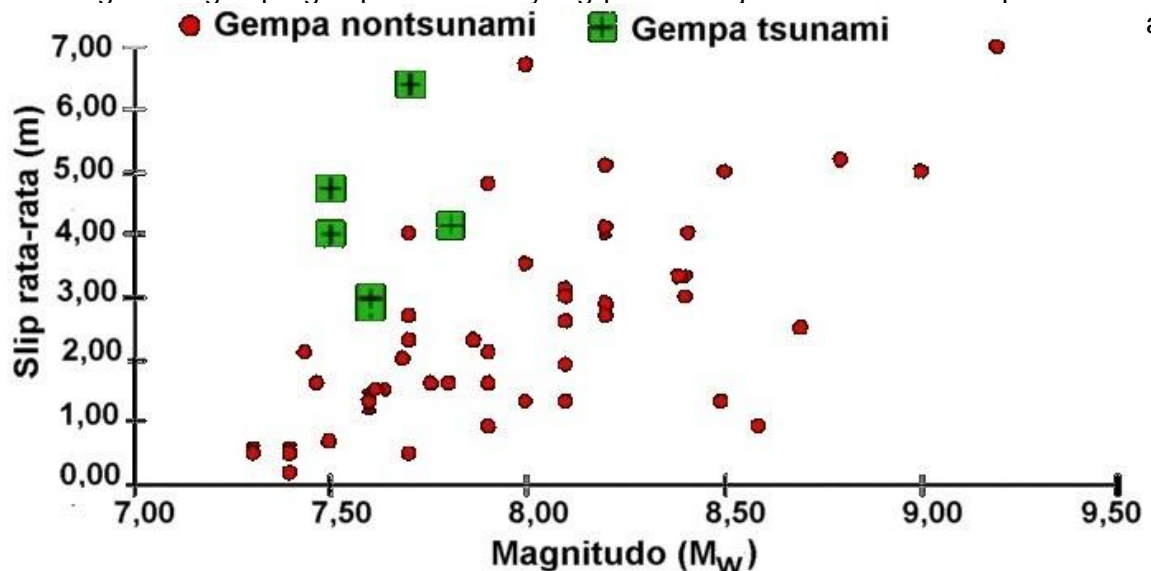
Hubungan antara parameter keruntuhan gempa (*earthquake rupture*) dan tsunami lokal adalah sangat kompleks. Tsunami berjarak (*distant tsunami*) yang merambat dari sumber gempa dengan magnitudo tertentu merupakan cara terbaik untuk mengukur magnitudo tsunami. Untuk



Gambar 4 - Potongan melintang batas rayapan tsunami, sumber : <http://www.shoa.cl/oceano/itc/frontpage.html>

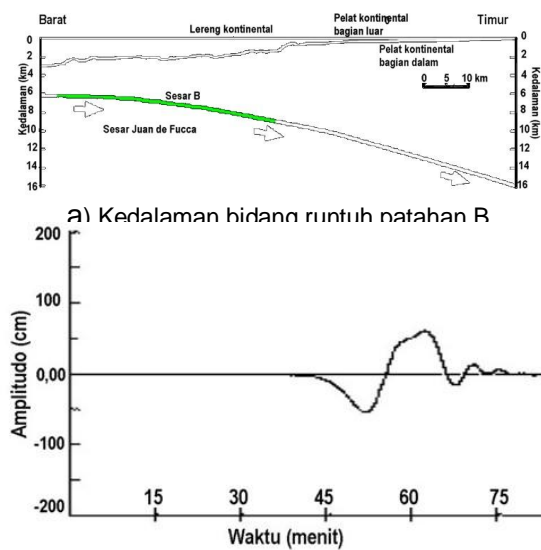
a) Pengaruh besaran *slip* rata-rata

- 1) Pada waktu terjadi gempa bumi, satu sisi dari patahan bergerak vertikal dan/atau horisontal terhadap sisi lainnya. Jarak (panjang) rata-rata antara ke dua sisi yang bergerak pada bidang runtuh disebut *slip* rata-rata. Hubungan antara *slip* rata-rata patahan dengan bentuk permanen dari dasar lautan adalah linier. Ini berarti jika *slip* rata-rata dari suatu gempa bumi EQ1 adalah dua kali *slip* rata-rata dari gempa EQ2, bentuk dasar lautan dapat mengalami perubahan dua kali lipat. Namun, amplitudo tsunami dengan *slip* rata-rata pada waktu merambat ke daratan tidak linier, sehingga rambatan tsunami akibat gempa EQ1 dan EQ2 mempunyai perbedaan amplitudo dua kali lipat.
- 2) Dari pengalaman tsunami di samudera Pasifik ditemukan bahwa faktor penentu terbesar terhadap besaran tsunami lokal adalah besarnya *slip* rata-rata pada bidang runtuh patahan. Pada umumnya besaran *slip* pada suatu gempa bumi akan meningkat bila ada peningkatan magnitudo gempa. Namun, perhitungan *slip* rata-rata juga harus mempertimbangkan parameter lainnya, seperti bidang runtuh dan sifat batuan sekeliling bidang runtuh yang juga sangat mempengaruhi magnitudo gempa.
- 3) Sebagai contoh pada Gambar 5, diperlihatkan hubungan antara *slip* rata-rata dengan magnitudo gempa-gempa subduksi yang pernah terjadi di dunia. Walaupun terlihat *slip*

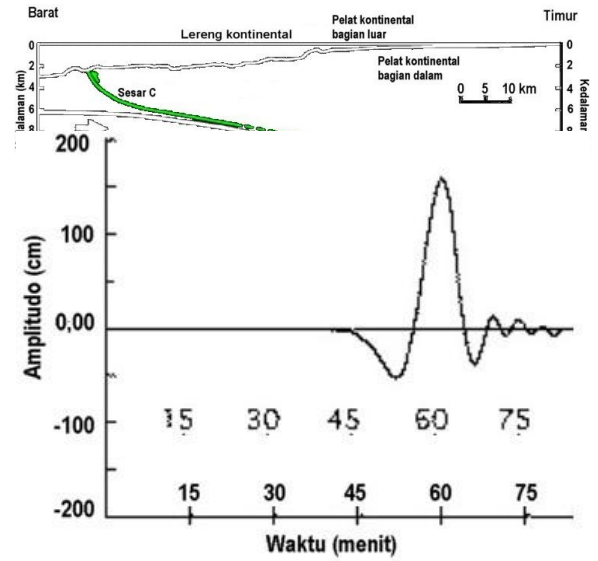


Gambar 5 - Hubungan antara magnitudo gempa non tsunami dan gempa tsunami dengan *slip* rata-rata, sumber : <http://www.usgs.gov/>

- 4) Pada gambar tersebut diperlihatkan 2 data yang berbeda, yaitu gempa non tsunami dan gempa tsunami. Gempa tsunami adalah gempa dengan pusat gempa di laut yang menimbulkan tsunami. Ternyata gempa bumi tsunami menimbulkan *slip* yang lebih besar dibandingkan dengan gempa non tsunami.
- b) Kedalaman runtuh (*Rupture*)
- 1) Besaran tsunami lokal juga dipengaruhi oleh kedalaman bidang runtuh gempa yang terjadi di dalam kerak bumi. Runtuhan gempa dangkal menghasilkan perubahan dasar lautan yang lebih besar, sehingga menghasilkan gelombang awal tsunami yang juga lebih besar.
 - 2) Sebagai contoh diperlihatkan pada Gambar 6 berikut, bagian kiri dari gambar memperlihatkan bidang runtuh sesar B dengan gambar marigram sintetik (hubungan amplitudo dengan waktu). Selanjutnya sesar C pada Gambar 7 dengan bidang runtuh gempa lebih dangkal, dapat menimbulkan gelombang awal tsunami dengan amplitudo yang lebih tinggi.



b) Bacaan amplitudo tsunami akibat patahan B



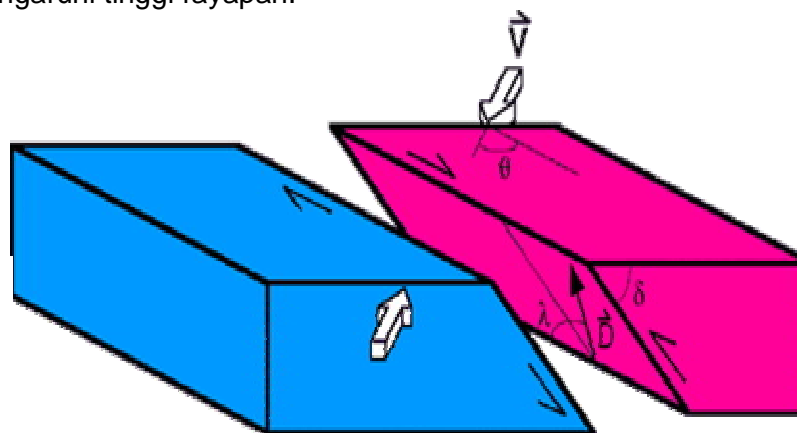
b) Bacaan amplitudo tsunami akibat patahan C

Gambar 6 - Pengaruh kedalaman bidang runtuh patahan B terhadap tinggi tsunami, sumber: <http://www.usgs.gov/>

Gambar 7 - Pengaruh kedalaman bidang runtuh patahan C terhadap tinggi tsunami, sumber: <http://www.usgs.gov/>

c) Orientasi dari vektor *slip*

- 1) Pada Gambar 8 diperlihatkan sesar naik (*thrust fault*), sehingga blok bagian atas bergerak ke atas terhadap blok bagian bawah. Selain pergerakan ke atas kemungkinan terjadi pergerakan ke arah horisontal (tegak lurus bidang gambar).
- 2) Sesar semacam ini disebut sesar miring (*oblique*), yang sering ditemui pada sesar di zona subduksi. Sesar *oblique* yang diperlihatkan pada Gambar 8 terjadi jika lempeng bagian bawah bergerak dengan sudut miring (δ) relatif terhadap pelat bagian atas.
- 3) Kemiringan vektor *slip* D pada bidang runtuh dengan *dip* δ diukur dengan sudut λ terhadap garis horisontal dan vektor *slip*. Komponen vertikal dari vektor *slip* sangat mempengaruhi tinggi rayapan.



Gambar 8 - Contoh sesar miring (*oblique*), sumber: <http://www.usgs.gov/>

4.2.4 Intensitas dan magnitudo tsunami

Skala intensitas yang sering digunakan adalah skala intensitas Imamura, Sokoliev dan magnitudo tsunami Abe (1993).

a) Intensitas Imamura

Intensitas ini diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$I = -27,1 + 3,55 M_w \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

I : intensitas atau magnitudo tsunami,

M_w : magnitudo momen.

Jika magnitudo momen dari gempa tsunami diketahui, intensitas tsunami dapat dihitung dengan persamaan (3). Kemudian tinggi rayapan dan potensi kerusakan dapat diperiksa pada Tabel 1.

b) Intensitas Sokoliev (1978)

Sokoliev (1978) membagi intensitas tsunami dalam 6 skala yang ditandai oleh tinggi gelombang rayapan (*run-up*), dan deskripsi secara lengkap disajikan dalam Tabel 2 yang diperoleh dengan pengukuran tinggi rayapan di lapangan pada daerah yang terkena bencana tsunami.

c) Magnitudo tsunami Abe (1993)

- 1) Abe memperkenalkan suatu cara empirik untuk menaksir magnitudo tsunami berjarak (*distant tsunami*) dengan data tsunami yang terjadi di Samudera Pasifik dan Jepang ($R = 100 - 3500$ km) dan menggunakan persamaan

$$M_t = \text{Log } H_c + \text{Log } R + 5,55 \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

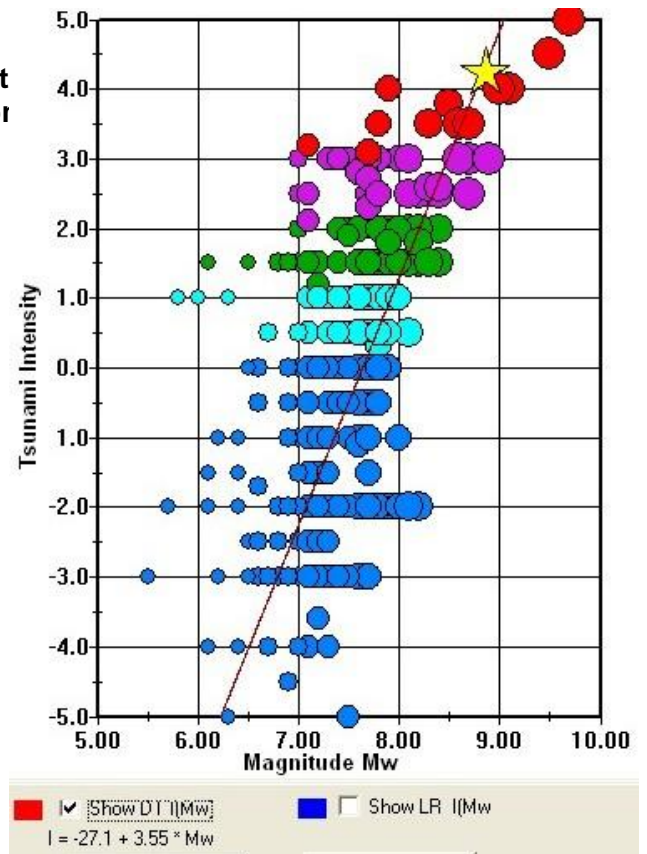
M_t : magnitudo tsunami (desimal),

H_c : amplitudo maksimum terbaca pada alat ukur gelombang (*peak-trough amplitude* m),

R : jarak dari episentrum sampai ke alat ukur gelombang (km).

Tabel 1 Hubungan antara intensitas, t
(<http://www.pi>)

Intensitas I atau m	Tinggi rayapan (m)	Potensi kerusakan
-2,0	<0.3	
-1,5	0.3 – 0.5	
-1,0	0.5 – 0.75	Tidak ada
-0,5	0.75 – 1.0	
0,0	1.0 – 1.5	Sangat sedikit kerusakan
0,5	1.5 – 2.0	
1,0	2 – 3	Kerusakan pantai dan pelabuhan
1,5	3 – 4	
2,0	4 – 6	Korban jiwa dan kerusakan kedalaman pantai
2,5	6 – 8	
3,0	8 – 12	Kerusakan berat sepanjang 400 km garis pantai
3,5	12 – 16	
4,0	16 – 24	Kerusakan berat sepanjang 500 km garis pantai
4,5	24 – 32	
5,0	> 32	



- 2) Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesamaan antara magnitudo gempa dengan magnitudo gempa tsunami $M_t = M_w$, sehingga persamaan (4) untuk tinggi rayapan H_t yang merupakan fungsi dari M_w dan R dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\text{Log } H_t = M_w - \text{Log } R - 5,55 + C \dots\dots\dots (5)$$

dengan :

C : konstanta , $C = 0$ untuk *fore arc* dan $C = 1$ untuk *back arc*.

- 3) Untuk tsunami lokal, persamaan (5) menghasilkan nilai tinggi rayapan yang sangat besar, sehingga Abe memperkenalkan suatu cara untuk membatasi tinggi rayapan dengan mengganti $R = R_0$ dan persamaan

$$\text{Log } (R_0) = 0,5 M_w - 2,25 \dots\dots\dots (6)$$

Dengan memsubstitusikan persamaan (6) ke persamaan (5), diperoleh persamaan baru

$$\text{Log } (H_r) = 0,5M_w - 3,3 + C \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

H_r : tinggi tsunami batas (m).

Sementara tinggi rayapan maksimum dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$H_m = 2 H_r \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

H_m : tinggi rayapan maksimum (m).

Intensitas	Tinggi Run-up	Deskripsi Tsunami	Frekuensi Kejadian di Laut Pasifik
I	0,5 m	Amat kecil. Gelombang sangat lemah dan hanya terdeteksi pada catatan pasang-surut.	1 kali tiap 4 bulan
II	1 m	Kecil . Gelombang terlihat oleh orang yang tinggal di sekitar pantai dan mengenal keadaan laut. Pada pantai yang datar gelombang tersebut mudah terlihat.	1 kali tiap 4 bulan
III		yang terjadi terjadi banjir. Perahu kecil terdorong ke Pantai. Kerusakan ringan dialami oleh bangunan dekat pantai. Pada daerah muara arus sungai berbalik hingga beberapa jauh kearah daratan	
IV	4 m	Besar. Terjadi banjir di daerah pantai. Penggerusan ringan pada tanah. Tanggul rusak. Bangunan ringan dekat pantai rusak. Bangunan permanen mengalami kerusakan atau terbawa ke laut. Pantai terkotori oleh debris yang mengapung.	1 kali per tahun
V	8 m	Amat besar. Seluruh pantai tergenang. Dermaga dan struktur berat dekat laut rusak. Bangunan ringan ancur. Penggerusan dasyat pada tanaman di darat. Pantai dikotori oleh benda mengapung, ikan dan binatang-binatang laut. Dengan perkecualian kapal besar, semua perahu terdampar ke daratan pengikisan berat. Manusia tenggeriam dan gelombang disertai suara gemuruh.	1 kali per 3 tahun
VI	16 m	Menghancurkan. Semua struktur bangunan mengalami kerusakan total atau sebagian untuk jarak beberapa jauh dari daratan. Banjir di pantai cukup dalam. Kapal-kapal besar mengalami kerusakan. Pohon-pohon tercabut atau hancur oleh gelombang. Jumlah kematian pada penduduk pantai luar biasa banyak.	1 kali per 10 tahun

4.3 Peta zonasi tsunami kepulauan Indonesia

Dalam mengembangkan peta tinggi rayapan tsunami untuk kepulauan Indonesia sangat diperlukan 2 buah data, yaitu besaran (magnitudo) gempa yang menimbulkan gempa tsunami dan persamaan empirik untuk menentukan tinggi rayapan tsunami.

4.3.1 Data kejadian tsunami

Data kejadian tsunami dikumpulkan dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Agency*), Amerika Serikat dari tahun 1500 sampai dengan 2005 (periksa Gambar 9 dan 10). Pengolahan data dilakukan secara statistik menggunakan prosedur *Gutenberg Richter* dengan persamaan-persamaan :

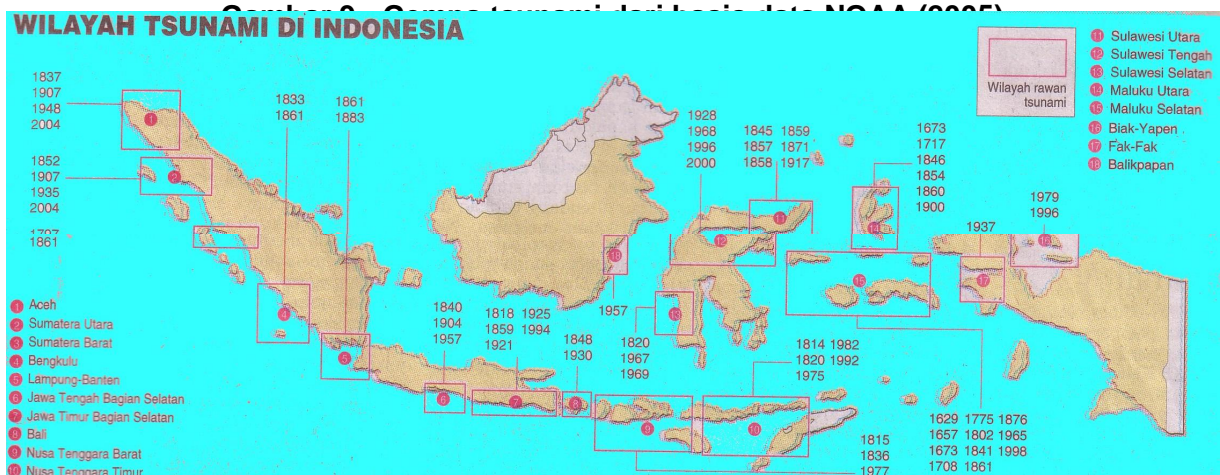
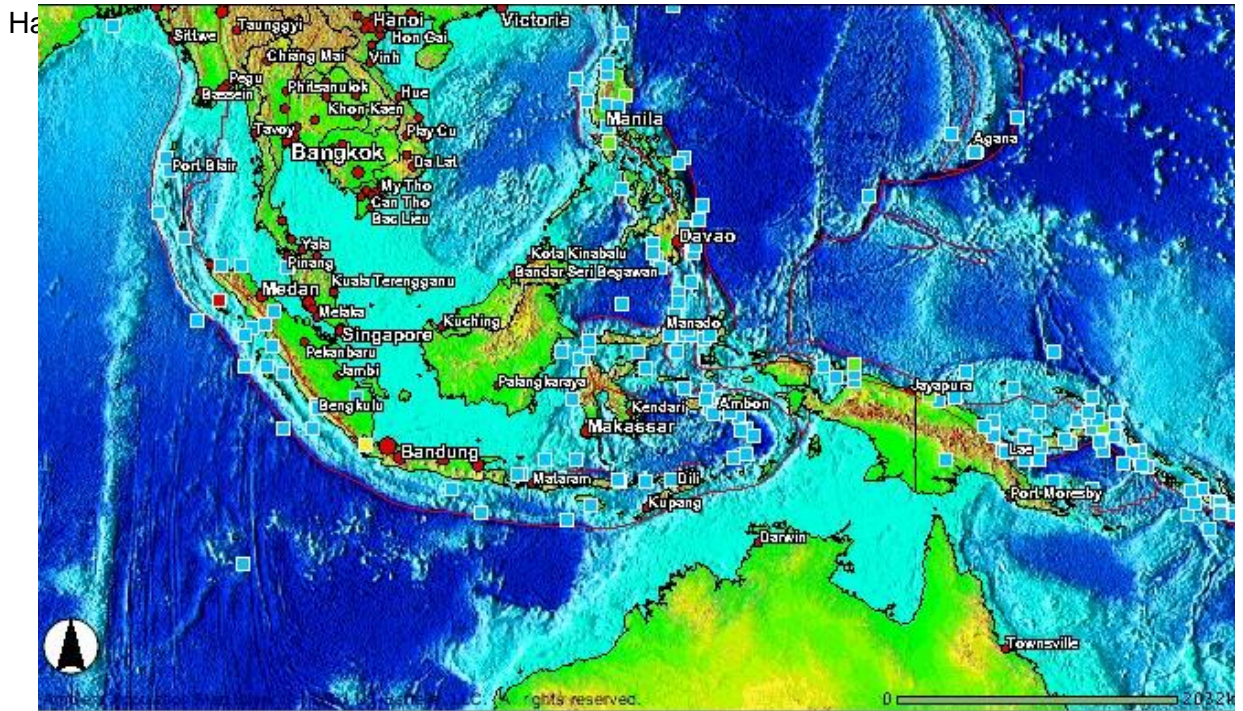
$$\text{Log } N(M_s) = a - b \cdot M_s \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$N_1(M_s) = \frac{N(M_s)}{T} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Log } N_1(M_s) = a_1 - b_1 \cdot M_s \quad \dots\dots\dots (11)$$

dengan :

- M_s : magnitudo gempa ,
- $N (M_s)$: frekuensi kumulatif selama waktu T kejadian gempa lebih besar dari magnitudo M_s ,
- $N_1(M)$: frekuensi kumulatif tahunan kejadian gempa lebih besar dari magnitudo M_s ,
- T : lama pengamatan,
- a & a_1 : konstanta yang bergantung pada lamanya pengamatan,
- b & b_1 : kontanta yang menyatakan karakteristik daerah kejadian gempa bumi.



Gambar 10 - Lokasi wilayah tsunami di Indonesia (Direktorat Geologi)

Tabel 3 Konstanta a_1 dan b_1 dari hasil analisis statistik dengan metoda Gutenberg Richter

No	Lokasi	a_1	b_1	R^2 (Koef.korelasi)
1	Aceh dan Sumatera Utara	2,5483	0,5667	0,957
2	Sumatera Barat dan Bengkulu	2,0186	0,5052	0,960
3	Sumatera Selatan dan Lampung	1,3793	0,4510	0,912
4	Jawa Selatan	1,9937	0,5436	0,996
5	Bali dan Nusa Tenggara	2,0406	0,5168	0,932
6	Sulawesi Utara	1,2422	0,3862	0,758
7	Sulawesi Tenggara	1,8626	0,4666	0,905
8	Laut Banda (Maluku)	3,4894	0,6873	0,946
9	Irian Jaya (Utara)	1,2496	0,3764	0,772

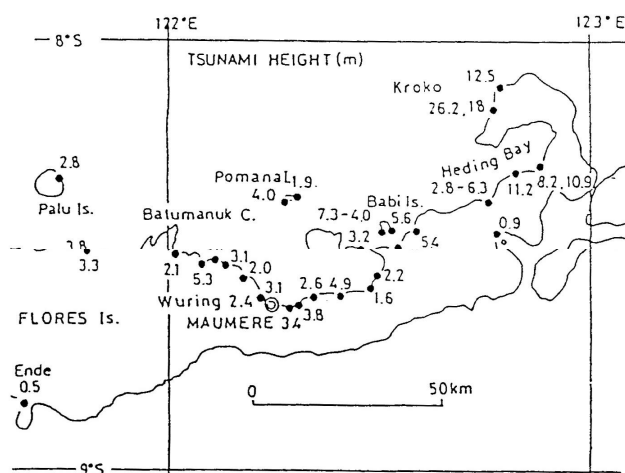
4.3.2 Persamaan empirik penentuan tinggi rayapan

Persamaan empirik yang digunakan dalam penaksiran tinggi rayapan adalah persamaan Abe (1993), yaitu persamaan (7) untuk tinggi rayapan batas dan persamaan (8) untuk tinggi rayapan maksimum.

4.3.3 Verifikasi persamaan Abe untuk beberapa kejadian tsunami di Indonesia

a) Tsunami Flores tanggal 12 Desember 1992

Tsunami Flores dengan $M_s = 7,8$ dan pusat gempa pada koordinat 8,480 L.S. dan 121,930 B.T., serta kedalaman 36 km USGS. Verifikasi persamaan tinggi rayapan Abe terhadap yang tercatat dapat dilihat pada Gambar 11.



Verifikasi Rumus Abe :

Gempa Flores tanggal 12 Desember 1992
 $M_s = 7,8$
 $M_w = 1,1 M_s - 0,64 = 1,1 \times 7,8 - 0,64 = 7,94$
 $\log H_r = 0,5 M_w - 3,3 = 0,5 \times 7,94 - 3,3 = 0,67$
 $H_r = (10)^{0,67} = 4,70 \text{ m (rata-rata)}$
 $H_m = 9,40 \text{ m (maksimum)}$

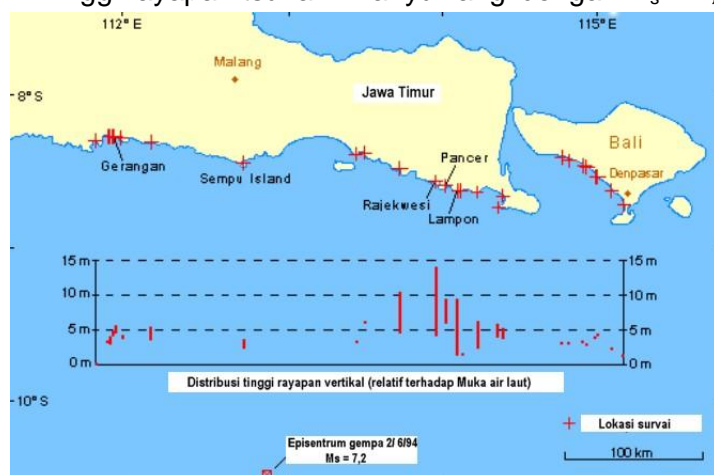
Tinggi rayapan terukur di lapangan bervariasi antara 2,60m sampai 12,40 m

Hasil perhitungan dengan persamaan di atas cukup teliti, hanya di Teluk Heding agak meleset sekitar 20% (dari maksimumnya).

Gambar 11 - Tinggi rayapan tsunami terukur dan verifikasi dengan persamaan Abe (1993) pada tsunami Flores tanggal 12 Desember 1992

b) Tsunami Banyuwangi tanggal 2 Juni 1994 Jawa Timur

Tinggi rayapan tsunami Banyuwangi dengan $M_s = 7,2$ dapat dilihat pada Gambar 12.



Verifikasi Rumus Abe :

$M_w = 1,1 \times 7,2 - 0,64 = 7,28$
 $\log H_r = 0,5 M_w - 3,3 + 0,2 = 0,5 \times 7,28 - 3,1 = 0,54$
 $H_r = (10)^{0,54} = 3,50 \text{ m}$
 $H_m = 7,00 \text{ m}$

Hasil perhitungan untuk Rajekwesi, Pancer dan Lampon meleset sebesar kurang lebih 50 %.

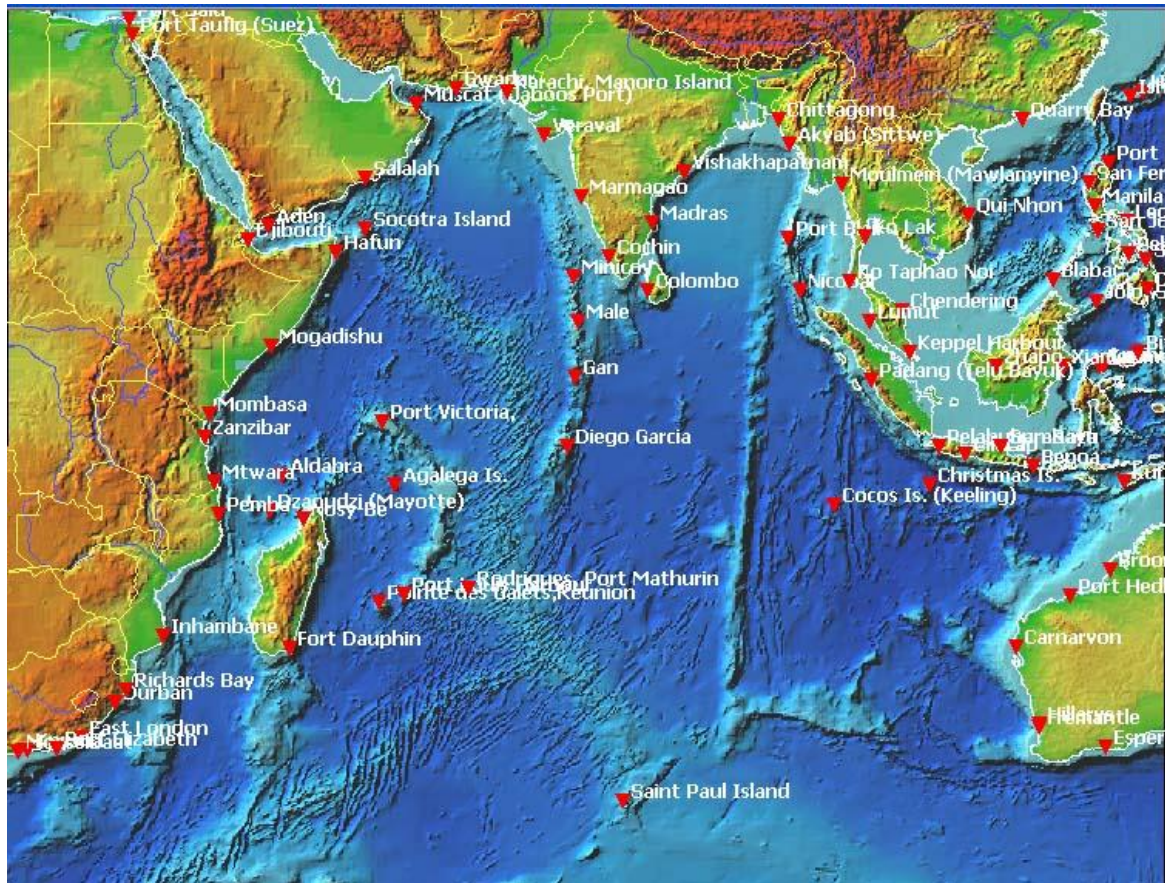
Gambar 12 - Tinggi rayapan tsunami terukur pada tsunami Banyuwangi tanggal 2 Juni 1994 dan diverifikasi dengan rumus Abe (1993)

c) Tsunami Aceh tanggal 26 Desember 2004

- 1) Tsunami Aceh ini terjadi dengan $M_s = 9$ (Harvard) dan kedalaman 10 km. Tinggi rayapan tercatat di lokasi yang berjarak jauh dapat dilihat pada stasiun dalam Gambar 13 dan Tabel 4, sedangkan tinggi rayapan tercatat di Banda Aceh dapat dilihat pada Gambar 14 dan Tabel 5.
- 2) Verifikasi rumus Abe untuk tsunami berjarak pada Tabel 4, menghasilkan $M_t = 9,1$ yang mendekati magnitudo gempanya $M_w = 9,2$.

Tabel 4 Tinggi rayapan tercatat pada beberapa lokasi yang berjarak akibat gempa Aceh 26 Desember 2004

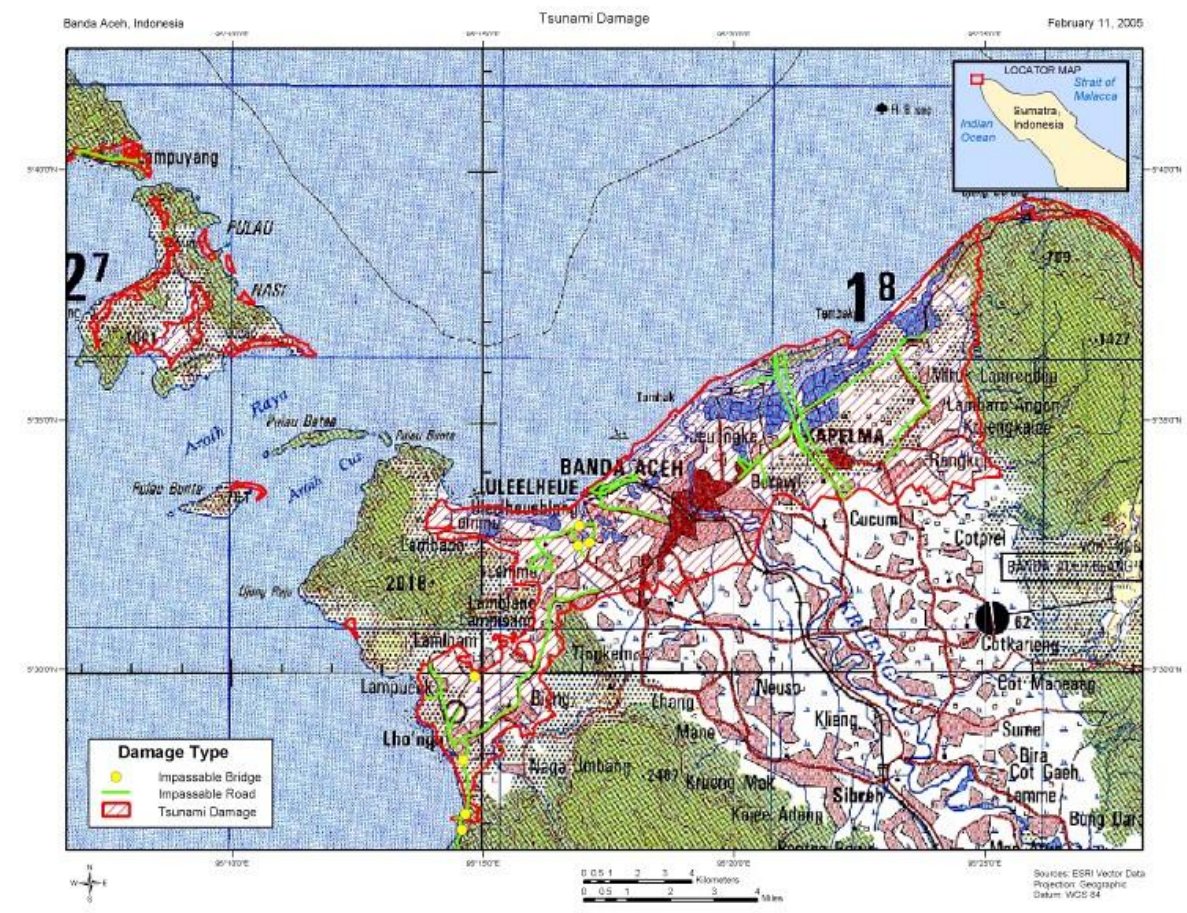
Stasiun	Ht(m)	R (km)	Mt
Vishakapatnam, India	2,4	2070	9,3
Tuticorin, India	2,1	2100	9,2
Kochi, India	1,3	2400	9,0
Cocos Is., Australia	0,5	1820	8,5
Hillarys, Australia	0,9	4600	9,2
Hanimaadhoo, Maldive	2,2	2500	9,3
Male, Maldive	2,1	2500	9,3
Gan, Maldive	1,4	2500	9,1
Diego Garcia, Chagos A	0,8	2700	8,9
Vishakapatnam, India	2,4	2070	9,3
Rata – rata			9,1



Gambar 13 - Letak stasiun pencatat tinggi gelombang di Samudera Hindia (sumber: <http://www.tsun.sccc.ru/>)

Tabel 5 Tinggi rayapan terukur pada koordinat-koordinat di Banda Aceh

Lintang Utara	Bujur Timur	Tinggi Rayapan (m)	Lintang Utara	Bujur Timur	Tinggi Rayapan (m)
5,4430	95,2401	20,00	5,4403	95,2411	30,00
5,4432	95,2423	27,90	5,5478	95,3097	9,80
5,4576	95,2468	34,90	5,5461	95,3067	10,30
5,4656	95,2420	27,67	5,5461	95,3058	9,80
5,4603	95,2456	21,98	5,5506	95,3067	10,20
5,4528	95,2445	18,47	5,5561	95,2842	15,60
5,4625	95,2427	23,84	5,5642	95,3189	10,10
5,5587	95,2841	12,20	5,5703	95,3228	10,70
5,5374	95,2913	9,00	5,4719	95,2439	15,30
5,4500	95,2417	23,60	5,4561	95,2447	20,80
5,4667	95,2444	31,90	5,4525	95,2444	1,50



Gambar 14 - Peta Banda Aceh lengkap dengan koordinat untuk tinggi rayapan terukur pada Tabel 5 (Sumber: <http://www.pmel.noaa.gov/>)

3) Hasil perhitungan tinggi rayapan untuk tsunami lokal dengan $M_t = 9,1$ adalah:

$$\text{Log } H_r = 0,5 \times 9,1 - 3,3 = 1,25$$

$$H_t = (10)^{1,25} = 15,84 \text{ m}$$

$$H_m = 31,68 \text{ m}$$

Ternyata hasilnya cukup sesuai dengan data terukur pada Tabel 5, sehingga dapat disimpulkan bahwa rumus Abe cukup teliti untuk diterapkan di Indonesia.

4.3.4 Peta zonasi tinggi rayapan

Berdasarkan data dari Tabel 3, digunakan persamaan (11) untuk memperkirakan M_s pada berbagai perioda ulang T , persamaan Abe (7) dan (8) untuk memperkirakan tinggi rayapan rata-rata H_r dan tinggi rayapan maksimum H_m , agar dapat disusun suatu Peta Zona Tsunami Indonesia. Peta ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan tinggi genangan banjir di Indonesia (Gambar 15) yang diakibatkan oleh tsunami lokal.

4.4 Pemahaman tingkat risiko tsunami bagi masyarakat

Pemahaman risiko tsunami merupakan langkah utama yang harus dilakukan masyarakat untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian harta benda. Dalam hal ini, ditekankan pada kompilasi dan pemanfaatan semua informasi bahaya tsunami lokal dan tsunami berjarak (jauh).

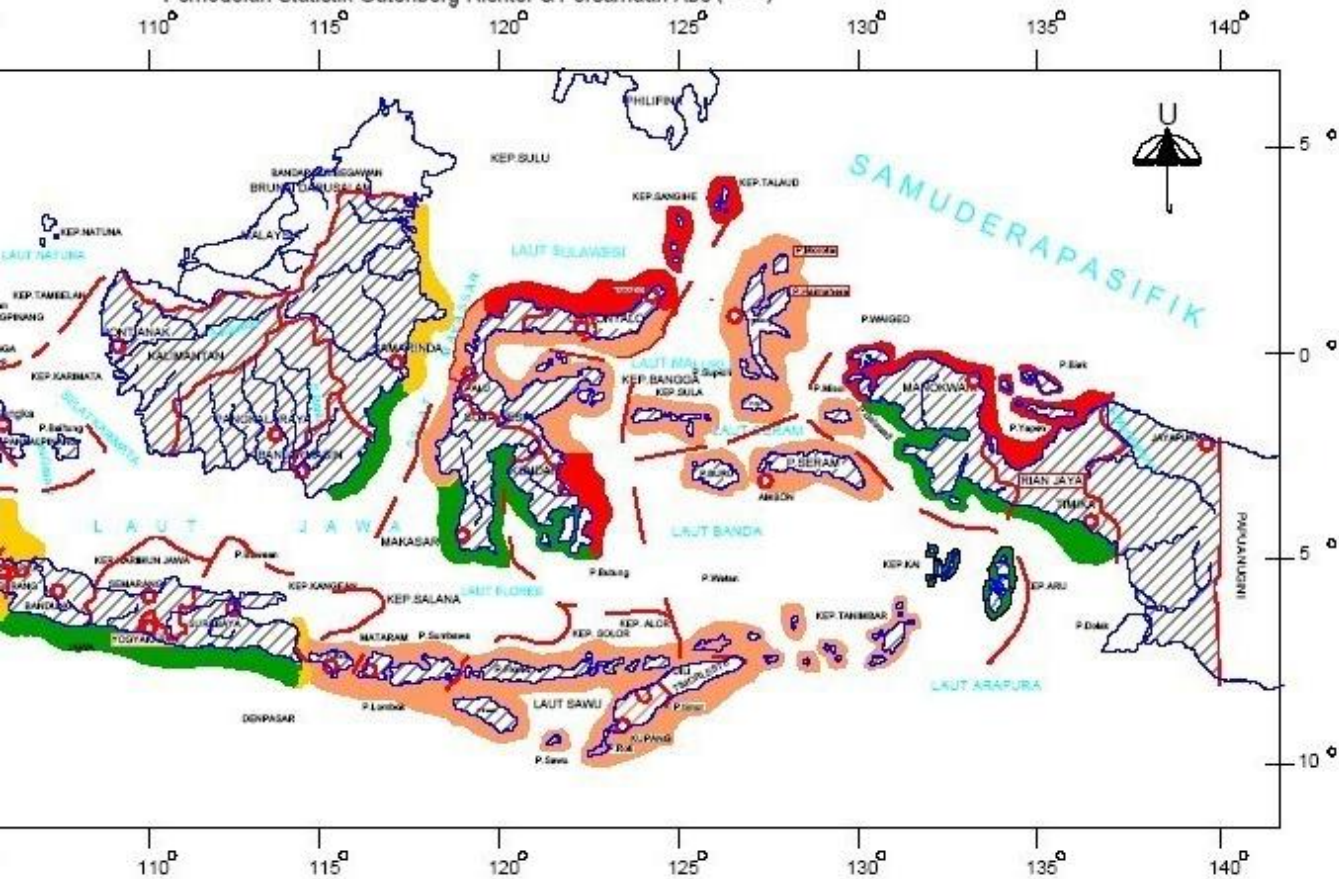
4.4.1 Prosedur penentuan tingkat risiko

Penentuan besarnya tingkat risiko atau tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bahaya bencana, dapat dilakukan dengan beberapa metode. Salah satunya adalah metode EDRI (*Earthquake Disaster Risk Index*) yang dikembangkan Davidson (1997). Menurut pendekatan ini, ada enam langkah dalam penentuan tingkat kerentanan (*index*) pada suatu daerah, yaitu:

- a) identifikasi faktor dan perencanaan kerangka konseptual, sebuah investigasi secara sistematis umumnya mencakup faktor-faktor geologis, teknik, sosial, ekonomi, politik, dan budaya yang mempengaruhi kerentanan suatu daerah. Sementara perencanaan kerangka konseptual dilakukan untuk mengelola semua faktor tersebut, agar dapat diketahui hubungan antara faktor pengaruh terhadap suatu daerah.
- b) pemilihan indikator, satu indikator sederhana atau lebih dan berupa angka yang bisa dihitung (seperti populasi, pendapatan penduduk per kapita, jumlah bangunan) dapat dipilih untuk mewakili setiap faktor, yang masih bersifat abstrak di dalam kerangka konseptual. Dengan mengoperasikan faktor-faktor tersebut, dan konsep kerentanan terhadap bencana, dapat dilakukan analisis secara kuantitatif dan obyektif.
- c) kombinasi matematis, sebuah model matematis digunakan untuk mengkombinasikan indikator-indikator tersebut ke dalam suatu indeks kerentanan bencana yang terbaik dalam merepresentasikan konsep kerentanan tersebut.
- d) analisis sensitivitas, analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan keabsahan hasil evaluasi, yang banyak dipengaruhi faktor probabilitas.
- e) presentasi dan interpretasi hasil, hasil analisis kemudian dipresentasikan menggunakan berbagai macam bentuk seperti tabel, grafik, peta dan sebagainya agar mudah dipelajari. Hasil matematis dari analisis ini juga perlu diinterpretasikan untuk menaksir kelayakan dan implikasinya.
- f) pengumpulan data dan evaluasi, berbagai macam data dikumpulkan untuk setiap indikator kerentanan pada setiap daerah penyelidikan. Kemudian nilai-nilai dari faktor-faktor utama yang berpengaruh dan dari indeks atau bobot kerentanan dievaluasi untuk setiap wilayah menggunakan model matematis yang diuraikan pada langkah ketiga.

PETA ZONASI TSUNAMI INDONESIA

Pemodelan Statistik Gutenberg-Richter & Persamaan Abe (1995)



T	Hbr	Hbm
50	3.2	6.4
100	6.3	12.6
200	12.3	24.6
500	16	32

RUMUS	
$Hr = Hbr \times a$	$Hm = Hbm \times a = 2 \times Hr$
Hr : Tinggi Rayapan Tsunami (m)	
Hm : Tinggi Rayapan Maksimum Tsunami (m)	
Hbr : Tinggi Rayapan Dasar Tsunami (m)	
Hbm : Tinggi Rayapan Dasar Maksimum Tsunami (m)	
a : Koefisien Zona Tsunami (m)	

ZONA	KOEFISIEN ZONA	
0	a = 0.00 - 0.29	
1	a = 0.30 - 0.49	
2	a = 0.50 - 0.69	
3	a = 0.70 - 0.89	
4	a = 0.90 - 1.10	

ar 15 - Peta zona tsunami Indonesia untuk penentuan tinggi rayapan

4.4.2 Identifikasi faktor dan penentuan kerangka konseptual

Faktor-faktor yang digunakan untuk menentukan indikator yang berpengaruh terhadap tingkat kerentanan bencana alam, sebaiknya terlebih dahulu didefinisikan dengan jelas. Strategi identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi risiko bencana alam gempa harus mencakup pengertian tentang bencana itu sendiri. Pengertian risiko bencana gempa di suatu daerah memerlukan pemahaman tentang bencana gempa, tsunami, longsor, dan likuifaksi.

Kemudian dilanjutkan dengan identifikasi faktor dan subfaktor yang terkait dengan bencana tersebut dan seterusnya, sehingga semua faktor dapat terinventarisasi. Kerangka konseptual harus disusun secara komprehensif walaupun data kuantitatif (berupa angka-angka) sulit diperoleh. Namun, definisi tentang suatu indeks atau tingkat kerentanan terhadap bencana akan berdampak pada luasnya cakupan yang terkait. Yaitu mencakup berbagai disiplin ilmu secara luas, seperti geologi, ekonomi, sosiologi, politik, lingkungan, dan lain-lain yang mempengaruhi sebuah daerah penyelidikan.

Kerangka konseptual yang digunakan dalam pedoman ini mengikuti kerangka konseptual *Davidson* (dalam disertasi doktoralnya, 1997), yang meliputi 5 faktor pengaruh tingkat kerentanan suatu daerah terhadap bencana alam seperti dapat dilihat pada Tabel 6. Faktor-faktor tersebut adalah faktor bencana, sosial-ekonomi, fisik, eksternal, serta penanggulangan darurat dan kapasitas pemulihan.

a) Faktor bencana (*hazards*)

- 1) Faktor bencana menampilkan fenomena geofisika yang menjadi faktor utama dalam penentuan tingkat kerentanan bencana, yang terbagi atas faktor guncangan gempa (*ground shaking*) dan bahaya sampingan (*colateral hazards*).
- 2) Faktor guncangan gempa merupakan komponen terpenting karena biasanya sebagai penyebab kerusakan secara langsung, dan faktor bahaya ikutan yang muncul karena pengaruh kekuatan gempa sebagai pemicunya. Bahaya ikutan terdiri dari likuifaksi, tsunami, longsor, kebakaran akibat gempa, dan kepadatan penduduk.

b) Faktor ketersingkapian (*exposure*)

- 1) Faktor ini menggambarkan ukuran dari suatu daerah investigasi, termasuk kuantitas dan distribusi manusia dan obyek-obyek fisik, jumlah dan jenis aktivitas yang didukungnya.
- 2) Faktor ini sangat penting dalam penentuan tingkat kerentanan, karena sebesar apapun bencana yang timbul, tanpa adanya populasi manusia dan infrastruktur di suatu daerah, maka tidak ada kerusakan yang akan timbul.
- 3) Risiko akan menjadi lebih besar dengan semakin besarnya faktor ketersingkapian. Faktor ketersingkapian ini terdiri atas infrastruktur fisik, populasi, ekonomi, dan sistem sosial politik.

c) Faktor kerentanan fisik (*vulnerability*)

Faktor ini menggambarkan tingkat kemudahan dan keparahan ketersingkapian suatu kota yang dipengaruhi oleh tingkat bencana tertentu. Faktor kerentanan fisik menyebabkan infrastruktur fisik berpotensi mengalami kerusakan, menimbulkan korban jiwa dan yang terluka, dan mengalami gangguan pada sistem sosial politik di suatu daerah.

d) Faktor hubungan eksternal (*external context*)

- 1) Dewasa ini, di antara kota-kota besar terjadi hubungan timbal balik di dalam suatu komunitas global. Faktor ini berfungsi untuk menggambarkan seberapa besar pengaruh bencana yang terjadi di suatu daerah terhadap kehidupan di daerah sekitarnya.

- 2) Faktor ini dibagi menjadi dua, yaitu faktor ekonomi dan faktor politik. Secara ekonomi bencana yang terjadi di suatu daerah tidak hanya menimbulkan gangguan kondisi ekonominya, tetapi juga kondisi ekonomi di daerah lain yang mempunyai hubungan perekonomian dengan daerah tersebut.
- 3) Faktor politik terbagi lagi menjadi dua, yaitu faktor politik dalam negeri dan faktor politik luar negeri. Faktor politik dalam negeri mengungkapkan besarnya gangguan politik yang timbul di antara daerah-daerah di dalam negeri, sedangkan faktor politik luar negeri menggambarkan keterkaitan politik antarnegara yang terkena bencana dengan negara lain.

**Tabel 6 Indeks risiko bencana gempa (Davidson, 1997)
(Earthquake Disaster Risk Index)**

Faktor	Komponen	Indikator	Data
1. Bencana	a) Goncangan gempa	X_{h1} = Perc. Gempa T=50thn X_{h2} = Perc. Gempa T=500thn X_{h3} = Persentase luas daerah tanah lunak	Peta gempa
	b) Ikutan (<i>Colateral Hazard</i>) - Likuifaksi - Tsunami - Longsor - Kebakaran - Kepadatan penduduk	X_{h4} = Persentase luas daerah berpotensi likuifaksi X_{h5} = Potensi tsunami X_{h6} = Potensi longsor X_{h7} = Persentase bangunan kayu X_{h8} = Kepadatan penduduk	Peta geologi Peta tsunami Peta rentan longsor BPS BPS
2. Faktor Sosial-Ekonomi (Exposure=Penyingkapan)	a) Faktor fisik	X_{S1} = Kependudukan X_{S2} = Per kapita GDP X_{S3} = Jumlah perumahan X_{S4} = Luas daerah	
	b) Populasi	X_{S5} = Kependudukan	
	c) Ekonomi	X_{S6} = Per kapita GDP	
3. Faktor Fisik (Vulnerability)	a) Faktor fisik	X_{F1} = Indikator peraturan gempa X_{F2} = Indikator kekayaan X_{F3} = Indikator umum kota X_{F4} = Kepadatan penduduk X_{F5} = Indikator kecepatan pengembangan daerah	Standar
	b) Populasi	X_{F6} = Populasi	
4. Hubungan Eksternal (External Context)	a) Ekonomi	X_{C1} = Indikator ekonomi	
	b) Politik	X_{C2} = Indikator politik DN X_{C3} = Indikator politik LN	
5. Penanggulangan darurat dan kapasitas pemulihan	a) Rancangan (<i>planning</i>)	X_{P1} = Indikator perancangan	
	b) Sumber daya	X_{P2} = Per kapita GDP X_{P3} = Pertumbuhan penghasilan 10 tahun terakhir X_{P4} = Ketersediaan perumahan X_{P5} = Jumlah rumah sakit per 100000 penduduk X_{P6} = Jumlah dokter per 100000 penduduk	
	c) Mobilitas dan Keterjangkauan	X_{P7} = Indikator cuaca yang ekstrim X_{P8} = Kepadatan penduduk X_{P9} = Lokasi daerah	

- e) Faktor penanggulangan darurat dan kapasitas pemulihan (*emergency response and recovery capability factor*)

Faktor ini menggambarkan seberapa efektif dan efisien sebuah daerah dalam merespon dan memulihkan dampak yang timbul, baik jangka pendek maupun jangka panjang. Respon ini dapat berupa tindakan-tindakan yang akan dilakukan sebelum maupun sesudah terjadinya bencana. Untuk menentukan tingkat efektivitas suatu daerah dalam merespon dan memperbaiki dampak bencana, dapat dilihat dari strategi suatu daerah dalam mempersiapkan ke tiga hal berikut ini.

- 1) Organisasi prabencana dan perencanaan operasional terhadap bencana. Faktor ini menggambarkan jumlah dan kualitas perencanaan serta prosedur untuk merespon bencana alam.
- 2) Sumber daya yang tersedia setelah bencana, dapat berupa uang, peralatan dan fasilitas, serta sumber daya manusia yang terlatih.
- 3) Mobilitas dan akses pasca bencana. Faktor ini sangat bergantung pada sistem transportasi pasca bencana, jumlah reruntuhan, lokasi suatu daerah, topografi daerah, tingkat isolasi, dan kondisi cuaca.

4.4.3 Pemilihan indikator kerentanan

Indikator-indikator kerentanan yang dipilih kemungkinan tidak sepenuhnya dapat mengikuti konsepsi di atas. Hal ini disebabkan karena kajian kerentanan bencana sulit dipenuhi, mengingat terbatasnya biaya dan waktu yang tersedia serta sulitnya untuk memperoleh data secara lengkap dari setiap kabupaten atau kotamadya di setiap propinsi. Sebagai bahan pertimbangan dalam hal ini adalah bahwa sasaran pada tahap ini hanya untuk menunjukkan besaran-besaran makro fisik, sosial-ekonomi dari kotamadya atau kabupaten yang dikaji. Pemilihan indikator kerentanan harus memenuhi : validitas indikator, kualitas dan ketersediaan data, dapat dipahami dengan mudah, keterukuran dan obyektivitas data, dan tingkat pengaruh indikator.

- a) Indikator-indikator yang digunakan seharusnya dapat mewakili aspek-aspek yang ada. Jika tidak, kerentanan yang tidak dapat mencerminkan keadaan sesungguhnya.
- b) Indikator-indikator yang digunakan harus berdasarkan data yang terpercaya dan tersedia untuk seluruh kabupaten dan kotamadya di wilayah yang ditinjau.
- c) Dapat dipahami dengan mudah.
- d) Data yang digunakan harus mencerminkan tingkat obyektivitas yang tinggi, sehingga hasil analisis dapat diandalkan. Selain itu, data harus bersifat kuantitatif, artinya mengandung sejumlah angka yang dapat diukur dan dihitung untuk memudahkan dalam proses evaluasi dan pengolahan data.
- e) Indikator langsung akan memberikan ukuran secara langsung pada suatu variabel, sedangkan indikator tidak langsung memberikan ukuran pada variabel lain yang diasumsi berkaitan langsung. Sebuah indikator langsung lebih peka terhadap perubahan, artinya bila nilai indikator berubah berarti nilai variabel pun berubah. Sementara sebuah indikator tidak langsung dapat berubah tanpa mengubah variabel yang diamati, begitu pula sebaliknya. Namun, indikator tidak langsung lebih sering dijumpai daripada indikator langsung.

4.4.4 Indikator sosial ekonomi

a) Kerentanan sosial

Kerentanan sosial terutama berkaitan dengan keberadaan kelompok-kelompok masyarakat yang rentan terhadap bencana, kepadatan penduduk dan rumah tangga, keberadaan lembaga-lembaga masyarakat setempat dan tingkat kemiskinan.

Berdasarkan hasil pengkajian kerentanan ini menunjukkan bahwa kelompok masyarakat yang memiliki tingkat kerentanan tinggi adalah anak-anak (< 5 tahun), orang tua atau jompo (≥ 65 tahun), orang yang sedang sakit, orang cacat, wanita hamil, masyarakat yang tinggal di daerah berkepadatan tinggi, dan masyarakat yang tinggal di daerah berbahaya seperti di lereng gunung berapi, pembangkit (pengujian) tenaga nuklir, di tepi pantai, tanah longsor dan lain-lain.

Secara umum, jika sekelompok masyarakat yang lingkungan dan kehidupannya berisiko, tinggal dan bekerja di daerah padat dengan persepsi dan kesadaran terhadap bencana rendah, tidak ada lembaga pendukung yang memadai (kantor atau institusi penanggulangan bencana), maka akumulasi dari faktor-faktor ini akan menghasilkan suatu tingkat kerentanan yang tinggi.

Kerentanan ekonomi mencerminkan besarnya risiko terhadap bencana yang berdampak pada kerugian atau hilangnya aset ekonomi dan proses ekonomi yang telah mapan dan menopang kesejahteraan ekonomi masyarakat setempat. Kajian ini meliputi tiga kelompok potensi kerugian yang berpotensi menghancurkan perekonomian masyarakat akibat bencana yang terjadi, yaitu:

- 1) potensi kerugian langsung (*direct loss potential*), yaitu hancurnya sarana dan prasarana perekonomian, seperti pabrik hancur dan tidak dapat memproduksi, produk pertanian hancur, distribusi barang terhenti,
- 2) hilangnya tenaga kerja, alat-alat produksi dan alat-alat pendukung lainnya seperti dokumen dan surat-surat berharga lainnya,
- 3) peluang terjadinya inflasi, terisolasinya daerah bencana dan meningkatnya pengangguran.

b) Kerentanan ekonomi

- 1) Tingkat kerentanan ekonomi dapat diperkirakan dengan menggunakan berbagai skenario bencana yang dapat mewakili ukuran skala permasalahan di suatu daerah tertentu. Bagian kawasan perkotaan dengan karakteristik sosial ekonomi tertentu, misalnya kawasan hunian padat merupakan kawasan yang sangat rawan terhadap dampak bencana alam.
- 2) Kerawanan akan semakin tinggi jika kawasan padat ini juga merupakan kawasan kumuh (yang biasanya mempunyai kualitas konstruksi bangunan yang buruk, walaupun jenis bahan bangunannya tidak begitu berbahaya jika runtuh), dan tingkat pendapatan keluarga penghuninya tidak cukup kuat untuk menanggung biaya rehabilitasi dan lain sebagainya.
- 3) Selain aktivitas penghunian di atas, bagian kawasan yang intensitas sebaran aktivitas sosial ekonominya tinggi, juga merupakan kawasan yang rawan. Akumulasi dari berbagai faktor tersebut dapat menimbulkan dampak sosial-ekonomi yang cukup besar jika terjadi bencana.
- 4) Indikator kerentanan yang digunakan dalam kondisi ini adalah: tingkat kepadatan hunian, serta tingkat intensitas dan keragaman aktivitas sosial ekonomi.
 - (a) Tingkat kepadatan hunian,
semakin padat tingkat hunian semakin rentan, dan data yang berkaitan adalah:
 - (1) kepadatan penduduk: jumlah penduduk, luas unit kajian,
 - (2) kepadatan keluarga: jumlah rumah tangga, luas unit kajian.

- (b) Tingkat intensitas dan keragaman aktivitas sosial ekonomi, semakin tinggi konsentrasi dan tingkat keragaman aktivitas sosial-ekonomi di unit kajian semakin rentan. Aktivitas tersebut dapat dilihat dari jenis-jenis kegiatan (usaha) yang menjadi sumber penghasilan dari setiap rumah tangga. Data yang terkait adalah jumlah rumah tangga yang diklasifikasikan berdasarkan sumber penghasilan.

4.4.5 Indikator struktur fisik

- a) Kerentanan fisik berkaitan erat dengan keberadaan bangunan sarana (perumahan, perkantoran, pasar, pabrik dan lain-lain), infrastruktur (transportasi, jaringan telekomunikasi, jaringan air bersih, listrik) dan fasilitas-fasilitas sosial dan umum seperti rumah sakit, puskesmas, sekolah, tempat ibadat, panti asuhan, dan tempat-tempat rekreasi. Kerentanan fisik ini sangat dipengaruhi oleh lokasi, jenis tanah, jenis bahan bangunan yang digunakan, teknik konstruksi dan kedekatan bangunan terhadap objek lainnya. Besarnya ancaman terhadap objek ini bervariasi sesuai dengan jenis dan intensitas bencana yang terjadi.
- b) Infrastruktur dapat dibagi menjadi beberapa komponen, dan pengkajian tingkat kerentanan fisiknya dapat dilakukan secara terpisah. Pengkajian infrastruktur dapat dilakukan dalam 3 komponen yaitu:
- 1) sistem angkutan, seperti jalan raya, jalan kereta api, jembatan, terminal, lapangan terbang, stasiun kereta api, pelabuhan laut dan fasilitas-fasilitas lainnya,
 - 2) utilitas, seperti jaringan air bersih, jaringan limbah dan jaringan listrik,
 - 3) jaringan dan instalasi telekomunikasi.
- c) Bagian kawasan yang mempunyai struktur fisik bangunan bukan perumahan dan prasarana dengan intensitas tertentu, mempunyai tingkat kerentanan yang berbeda. Demikian pula struktur fisik bangunan bertingkat mempunyai tingkat kerentanan yang berbeda, sehingga indikator yang digunakan adalah: intensitas bangunan umum, dan kepadatan bangunan bertingkat.
- 1) Semakin tinggi intensitas bangunan umum semakin rawan. Data yang terkait adalah jumlah unit bangunan, dan luas unit kajian.
 - 2) Semakin tinggi kepadatan bangunan bertingkat semakin rentan. Data yang terkait adalah jumlah bangunan bertingkat di unit kajian, dan luas unit kajian.

4.5 Strategi aplikasi informasi bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi (harta benda) di masa mendatang

4.5.1 Proses untuk mendapatkan informasi bencana tsunami lokal

a) Prediksi (perkiraan) genangan banjir akibat tsunami

- 1) Peta zona tsunami (lihat Gambar 15) merupakan peta yang dapat digunakan sebagai dasar pembuatan peta genangan untuk kota-kota di daerah pantai. Peta ini terbagi atas 5 zona yaitu zona 0, 1, 2, 3, dan 4. Tiap-tiap zona dilengkapi dengan koefisien zona (lihat Tabel 7), sementara perioda ulang tinggi rayapan tsunami dinyatakan dengan tinggi rayapan dasar (lihat Tabel 8).

Tabel 7 Koefisien zona tsunami

Zona	Koefisien zona a	Keterangan
0	< 0,29	Tidak ada
1	0,30 – 0,49	Rendah
2	0,50 – 0,69	Menengah
3	0,70 – 0,89	Tinggi
4	0,90 – 1,10	Sangat tinggi

Tabel 8 Tinggi rayapan dasar pada berbagai perioda ulang

Perioda ulang T (tahun)	H _{br} (m)	H _{bm} (m)
50	3,20	6,40
100	6,30	12,60
200	12,30	24,60
500	16,00	32,20

- 2) Tinggi rayapan tsunami dapat dihitung dengan persamaan :

$$H_r = a \times H_{br} \dots\dots\dots (12)$$

$$H_m = a \times H_{bm} = 2 H_r \dots\dots\dots (13)$$

dengan :

H_r = tinggi rayapan tsunami (m),

H_m = tinggi rayapan tsunami maksimum (m),

H_{br} = tinggi rayapan tsunami dasar (m),

H_{bm} = tinggi rayapan tsunami maksimum dasar (m),

a = koefisien zona tsunami ,

T = perioda ulang.

- 3) Sebagai contoh untuk kota Banda Aceh dengan $a = 1$, perioda ulang $T = 500$ tahun, dari peta pada Gambar 15 diperoleh $H_{br} = 16,00$ m. Dari persamaan (12) dapat diperoleh tinggi rayapan tsunami $H_r = 1 \times 16 = 16,00$ m dan $H_m = 32,00$ m. Perhitungan perioda ulang lainnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Perhitungan tinggi rayapan untuk kota Banda Aceh

T (tahun)	a (-)	H_{br} (m)	H_r (m)	H_{bm} (m)	H_m (m)
50	1,00	3,20	3,20	6,40	6,40
100	1,00	6,30	6,30	12,60	12,60
200	1,00	12,30	12,30	24,60	24,60
500	1,00	16,00	16,00	32,00	32,00

- 4) Berdasarkan hasil perhitungan tinggi rayapan pada Tabel 9, dapat disusun peta bencana tsunami untuk kota Banda Aceh dengan menggunakan peta topografi berskala 5.000 atau 10.000. Dengan anggapan datum muka air laut rata-rata (*mean sea level*), kota Banda Aceh dapat dibagi dalam 4 zona tingkat risiko atau kerentanan seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Batas-batas zona tingkat risiko peta bencana tsunami kota Banda Aceh

Zona	Kerentanan	Tinggi	Menengah	Rendah	Tidak Ada
Pantai terbuka bisa mencapai 3 km dari bibir pantai		Elev. 0,0–6,0 m	Elev. 6,0–12,0 m	Elev. 12,0–16,0 m	Elev. > 16,00 m
Catatan :		T = 100 thn	T=200 thn	T=500 thn	

- 5) Berdasarkan batas-batas zona tingkat risiko tsunami, dapat diperkirakan tinggi gelombang dan kedalaman genangan banjir untuk perioda ulang $T = 500$ tahun. Sebagai contoh untuk elevasi permukaan tanah di zona kerentanan tinggi +7,00 m, maka tinggi gelombang atau kedalaman genangan diperoleh melalui perhitungan tinggi rayapan dikurangi dengan elevasi permukaan tanah yaitu $16,00 - 7,00$ m = 9,00 m.

b) Data lain yang dibutuhkan dalam studi bencana tsunami

- 1) Seperti telah diuraikan dalam subbab 4.1, tsunami merupakan bencana ikutan yang ditimbulkan oleh gempa bumi, sehingga semua pengaruh gempa bumi seperti gaya-gaya inersia dan bencana ikutan lainnya misalnya proses likuifaksi dan longsoran harus dipertimbangkan.
- 2) Perkiraan jumlah gelombang dan kecepatan gelombang.
- 3) Perkiraan beban sampah (*debris*) dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 11.
- 4) Data indikator sosial ekonomi dan struktur fisik, yang telah diuraikan pada subbab 4.4.4 dan 4.4.5.

Tabel 11 Klasifikasi beban sampah yang dipengaruhi kondisi aliran dan genangan

Klasifikasi	Kondisi aliran dan genangan
Tidak ada	<i>Debris</i> tidak ada, genangan < 1 m, kecepatan aliran rendah.
Rendah	Potensi <i>debris</i> kecil, aliran berkecepatan rendah dan kedalaman genangan <1 m.
Sedang	Jumlah dan ukuran <i>debris</i> berpotensi sedang, aliran berkecepatan sedang dan kedalaman genangan 1 m – 3 m.
Hebat	Sejumlah besar dan ukuran <i>debris</i> berpotensi tinggi, aliran berkecepatan tinggi, dan kedalaman genangan > 3 m.

4.5.2 Hubungan antara informasi bencana tsunami dan proses perencanaan jangka pendek dan jangka panjang

- Kawasan pesisir pantai selalu menjadi lokasi menarik untuk tempat hunian manusia, sehingga meningkatkan pertumbuhan penduduk dan memicu pembangunan perumahan, fasilitas kelautan, dan *resort*. Faktor-faktor penting yang perlu dipertimbangkan tersebut berguna untuk perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, dan mitigasi bangunan yang ada serta kerugian korban jiwa dan harta benda.
- Dalam mempertimbangkan dampak kerawanan bencana alam pada bangunan yang ada dan yang baru, harus dipahami bahwa kejadian tsunami bergantung pada beberapa masalah lainnya, misalnya gempa, keruntuhan tanah akibat likuifaksi dan longsor di sekitar pantai. Oleh karena itu, program mitigasi bangunan perlu diperhitungkan terhadap semua kerawanan yang terkait, termasuk potensi interaksi pengaruh gabungan pada daerah itu.
- Selain itu, perlu dipertimbangkan pula kerawanan masyarakat di daerah kerusakan berat, kesulitan evakuasi, dan gelombang badai selama musim hujan yang akan menambah genangan dan perluasan kerusakan tsunami, kerusakan bangunan pelayanan listrik, komunikasi, air minum, air limbah dan gas alam, serta kerusakan pada sistem transportasi lokal (seperti jalan lalu lintas dan jembatan).
- Hal tersebut akan menambah masalah evakuasi, penyelidikan dan kesulitan operasi pertolongan. Terutama jika terjadi kebakaran akibat runtuhnya tangki bahan bakar dan pipa gas yang menyebar cepat oleh genangan tsunami dan melimpahkan bahan beracun. Bangunan pembangkit tenaga nuklir tahan gempa yang teratur harus didesain melebihi desain bangunan baru, sedangkan bangunan pembangkit tenaga nuklir di kawasan pantai harus didesain agar dapat menahan gaya-gaya akibat tsunami.

4.5.3 Manfaat informasi bencana tsunami dalam pembangunan infrastruktur umum dan dukungan untuk perlengkapan mitigasi

- Mitigasi risiko bencana alam merupakan aktivitas secara luas yang bertujuan untuk mengurangi korban jiwa dan yang terluka serta kerugian materi (harta benda) dan kejadian bencana alam ikutannya. *The federal emergency management agency (FEMA)* menentukan mitigasi bencana sebagai kegiatan berkelanjutan untuk mengurangi atau tanpa mempertimbangkan risiko jangka panjang korban jiwa dan kerugian materi dan dampaknya. Mitigasi bangunan pantai biasanya meliputi aspek penempatan, desain, konstruksi bangunan dan bangunan pelindung atau *shelter (FEMA, 1999, 4-4)*.
- Untuk bencana alam lainnya, perlu diketahui dahulu definisi-definisi berikut ini (*FEMA* publikasi tahun 1999).
 - Identifikasi bencana yang merupakan proses penentuan dan penjelasan bencana (termasuk faktor-faktor sifat fisik, besaran, kekuatan, frekuensi, dan penyebabnya) dan lokasi atau daerah pengaruhnya.
 - Risiko, sebagai potensi kehilangan atau kerusakan akibat bencana yang ditentukan dengan istilah probabilitas dan frekuensi, kinerja kejadian dan konsekuensi yang diperkirakan.

- 3) Perkiraan risiko yang merupakan suatu proses atau metode evaluasi risiko akibat bencana khusus yang ditentukan dengan istilah probabilitas dan frekuensi kejadian, besaran dan kekuatan, kinerja kejadian, dan konsekuensinya.
 - 4) Pengelolaan risiko, yang merupakan cara-cara penanggulangan untuk mengurangi, memodifikasi, mengganti, atau mengambil risiko yang berkenaan dengan pembangunan di daerah rawan bencana (FEMA, 1999, 4-4).
- c) Berhubung konsep mitigasi cukup sederhana, maka untuk mencapai mitigasi yang efektif perlu diketahui beberapa masalah kompleks yang terkait. Kegiatan mitigasi terdiri atas kebijakan umum, hubungan antar-pemerintahan, perkumpulan rekanan dan perorangan, kondisi ekonomi, risiko yang dapat diterima, serta rentang program dan aktivitas khusus.
 - d) Pada umumnya, prosedur dan program mitigasi didasarkan atas pemahaman sifat dan kemungkinan potensi bencana dan kerawanan daerah terhadap bencana. Kerawanan mencerminkan adanya kelemahan desain dan konstruksi bangunan, sistem dan masyarakat setempat, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan akibat bencana tersebut.

4.5.4 Evaluasi efektivitas penanggulangan bencana untuk estimasi mengurangi kerugian di masa mendatang

- a) Sebelum pembangunan dilakukan, sebaiknya diadakan kegiatan mitigasi pencegahan kerawanan bencana. Rencana mitigasi dibuat berdasarkan gabungan ilmu pengetahuan dan kebijaksanaan pemerintah daerah. Pembangunan yang ada atau sudah pasti dilaksanakan, sebaiknya dilakukan dengan dua buah strategi dasar perencanaan untuk menentukan potensi pengaruh bencana alam. Ada dua pendekatan sederhana, yaitu: (1) pengelolaan kerawanan bencana, dan (2) pengelolaan pembangunan.
- b) Pengelolaan kerawanan bencana dilakukan dengan memperbaiki drainase untuk mengendalikan banjir skala kecil dan menjaga daerah pembangunan tetap kering. Pengelolaan pembangunan infrastruktur dilakukan untuk mencegah konstruksi perbaikan bangunan di dataran banjir yang berkecepatan tinggi dan longsor yang efektif di bawah tepi bukit agar kerusakan lingkungan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan bangunan pengendali banjir atau longsor dengan biaya tinggi.
- c) Walaupun probabilitas kejadian tsunami sangat sulit ditentukan, namun dapat digunakan pendekatan yang sama seperti aplikasi probabilitas untuk kerawanan bencana lainnya. Pendekatan mitigasi tsunami dilakukan untuk mencegah pembangunan atau membatasi fasilitas di kawasan rawan tsunami, yang mungkin terjadi satu kali dalam setiap 100 tahun. Kejadian tsunami lokal pada bangunan pengendali diperkirakan hanya terjadi satu kali dalam setiap 500 tahun.
- d) Di kawasan rawan tsunami dengan frekuensi kejadian satu kali dalam setiap 2500 tahun, minimal harus dipertimbangkan adanya rencana evakuasi yang memadai, seperti desain evakuasi vertikal, dengan menentukan keamanan gedung, dan mengelola rencana evakuasi horisontal yang efektif dari daerah dataran rendah ke dataran lebih tinggi. Hal ini khususnya cocok untuk daerah yang berpenduduk padat atau adanya pengunjung pantai sebagai masyarakat pesisir pantai yang berisiko.
- e) Kegiatan tata guna lahan dan mitigasi lainnya yang dapat mengurangi kerusakan tsunami, misalnya pencegahan konstruksi di dataran banjir karena tanahnya sangat jenuh dan elevasinya rendah. Hal ini dimaksudkan mengurangi korban jiwa dan kerugian materi karena genangan tsunami dan guncangan gempa. Daerah pemanfaatan yang rendah seperti tempat parkir atau daerah tempat hunian yang dilindungi, juga dapat membantu mitigasi korban tsunami (misalnya daerah parkir yang luas di daerah pantai Hilo di Hawaii dan kota Crescent di California).

4.5.5 Evaluasi ulang kerawanan dan dampak tsunami terhadap masyarakat secara berkala

- a) Evaluasi ulang yang dilakukan untuk menentukan intensitas dan frekuensi tsunami, digunakan untuk perencanaan umum yang komprehensif, peraturan dan kebijaksanaan desain. Informasi ini harus mencerminkan kepentingan dan uraian konsekuensi kerawanan bencana, untuk keperluan evaluasi opsi mitigasi dan analisis kerawanan bangunan dan fasilitas lainnya.
- b) Hal ini perlu dilakukan untuk memberikan dasar-dasar ketentuan perencanaan umum, menentukan lokasi dan kriteria desain bangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, menentukan waktu evakuasi dan peringatan, serta mengevaluasi kerawanan bangunan tempat berlindung (*shelter*) jika diperlukan evakuasi vertikal.

5 Menghindari pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi di masa mendatang (Prinsip 2)

5.1 Tinjauan umum

Risiko kerawanan bencana tsunami dapat ditanggulangi dengan cara mencegah atau mengurangi korban jiwa dan yang terluka serta kerugian materi melalui suatu perencanaan tata guna lahan dengan mempertimbangkan perencanaan umum yang komprehensif, peraturan penentuan lokasi, dan peraturan subdivisi.

Kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan melalui penyelidikan jenis, pola dan kepadatan pemanfaatan lahan yang diizinkan dan yang seharusnya diizinkan di daerah berpotensi genangan tsunami berdasarkan pertimbangan risiko bencana.

Pertama-tama dilakukan dengan pertimbangan pandangan umum program dan peraturan yang ada, termasuk program dan peraturan perencanaan pantai dan tata guna lahan, serta program pengelolaan zona pantai dan masyarakatnya. Kemudian dilanjutkan dengan perencanaan dan pertimbangan secara komprehensif dalam perumusan strategi tata guna lahan masyarakat untuk mitigasi tsunami.

5.2 Peraturan perencanaan tata guna lahan untuk mengurangi risiko tsunami

Ada tiga konsep dasar perencanaan tata guna lahan untuk mitigasi kerawanan bencana tsunami. Prinsip dasar konsep ini adalah menghindari atau membatasi pembangunan di zona rawan kerusakan tinggi (contoh Tabel 10). Jika perencanaan tidak dapat dicegah atau dibatasi, tingkat kepadatan tata guna lahan, nilai bangunan gedung, dan tempat hunian penduduk harus dijaga seminimum mungkin. Namun, untuk pembangunan di kawasan rawan genangan tsunami, perencana dan pendesain terlebih dahulu harus mempelajari perencanaan lokasi dan atau teknik konstruksi bangunan infrastruktur yang diuraikan dalam sub-bab berikut ini.

- a) Konsep 1: Pembangunan baru seharusnya tidak ditempatkan di zona rawan kerusakan tinggi
 - 1) Perencanaan tata guna lahan dan penempatan lokasi bangunan baru harus dititikberatkan di luar kawasan rawan bencana.
 - 2) Zona rawan kerusakan tinggi harus dijaga sebagai kawasan terbuka dan terpadu dengan pembangunan tembok penghalang seperti lanskap, *berm*, dan dinding halang, untuk memperlambat dan mengatur atau mengendalikan tinggi gelombang (lihat Bab 6).
 - 3) Perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan bencana tsunami dan kondisi sosial ekonomi masyarakatnya, harus dilakukan melalui studi kelayakan terlebih dahulu.

- b) Konsep 2: Pembangunan baru di zona rawan kerusakan harus dirancang agar dapat mengurangi kerugian
 - 1) Masyarakat harus melakukan perubahan teknik perencanaan tata guna lahan dan metode perencanaan lokasi yang telah dipersiapkan untuk mengurangi kerusakan.
 - 2) Perencanaan tata guna lahan harus dilakukan dengan menggunakan sistem pembangunan secara berkelompok dengan tingkat kepadatan yang rendah.
 - 3) Perencanaan lokasi bangunan dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu penempatan lantai bangunan di atas muka air genangan, menyediakan tembok penghalang (*barrier*) untuk genangan, atau mengatur jarak dan orientasi bangunan untuk menghindari gaya tsunami pada bangunan dan bangunan sekitarnya (lihat Bab 6).
- c) Konsep 3: Pembangunan urban yang ada di kawasan rawan tsunami seharusnya dibangun/disesuaikan kembali (*retrofitted*) untuk pemanfaatan lain
Setelah kejadian bencana tsunami, masyarakat akan berupaya untuk mengembalikan dan memperbaiki daerah penduduk berisiko yang ada. Aktivitas yang akan dilakukan antara lain mereka akan mengungsi ke daerah yang lebih tinggi (kritis) di luar kawasan rawan bencana, menambah tembok penghalang (*barrier*), dan memperbaiki bangunan.

5.3 Proses implementasi strategi perencanaan tata guna lahan

Langkah-langkah yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan atau menyusun strategi tata guna lahan masyarakat untuk penanggulangan (mitigasi) risiko bencana tsunami meliputi: pemahaman hubungan antara penentuan lokasi dan perencanaan, pemahaman sistem penukaran lahan sekitar pantai yang menguntungkan (*trade-offs*), pengkajian ulang dan perbaikan tingkat keamanan bangunan yang ada, pengkajian ulang elemen tata guna lahan yang ada dan rencana lainnya, pengkajian ulang dan pembaharuan zonasi yang ada dan peraturan lainnya, serta perencanaan rekonstruksi pasca tsunami.

5.3.1 Pemahaman hubungan antara penentuan lokasi dan perencanaan

- a) Hubungan antara penentuan lokasi dalam kebijaksanaan perencanaan tata guna lahan harus benar-benar dipahami. Keberhasilan dalam mengurangi risiko bencana tsunami berbeda-beda bergantung pada keadaan lingkungan setempat, sehingga tidak dapat digunakan hanya dengan salah satu pendekatan saja.
- b) Ada atau tidak adanya pembangunan di kawasan rawan tsunami akan menentukan jenis pendekatan perencanaan yang memadai. Sebagai contoh: strategi mitigasi yang perlu dilakukan pada konversi lahan kosong untuk perluasan masyarakat yang ada atau pembangunan untuk masyarakat yang baru, akan berbeda dibandingkan dengan bentuk pembangunan lainnya seperti pengurangan, pembangunan kembali, penggunaan kembali, atau perubahan kependudukan.

5.3.2 Pemahaman sistem penukaran lahan sekitar pantai yang menguntungkan (*trade-offs*)

- a) Mitigasi dapat berarti persaingan antara sasaran penukaran lahan sekitar pantai yang menguntungkan (*trade-offs*) dengan masalah perencanaan tata guna lahan dan kerawanan tsunami. Sebagai contoh, jalan akses umum harus mengacu pada program pengelolaan zona pantai untuk penempatan bangunan pelayanan masyarakat di sekitar pantai, sehingga belum termasuk keamanan umum untuk mengurangi bangunan baru di daerah genangan tsunami.
- b) Pembangunan infrastruktur di kawasan pantai seperti tempat berlabuh dan pelabuhan alami yang harus dibangun kemungkinan dapat juga bertentangan dengan sasaran keamanan. Sasaran perencanaan lainnya seperti bagian hilir kota yang padat bisa juga terpaksa dibangun walaupun dengan risiko besar. Pada Gambar 16 diperlihatkan kerusakan pantai yang mencapai 3,30 km dari bibir pantai Banda Aceh akibat gempa tsunami tanggal 26

Desember 2004, yang kemungkinan dapat menimbulkan masalah pada waktu rekonstruksi kota.

- c) Sistem penukaran lahan sekitar pantai yang menguntungkan (*trade-offs*) harus dipertimbangkan pula dalam perencanaan umum. Pertimbangan kembali (revisi) suatu perencanaan umum secara komprehensif merupakan waktu yang tepat dilakukan untuk pemilihan alternatif dan penyeimbangan persaingan sasaran pembangunan.

5.3.3 Pengkajian ulang dan perbaikan tingkat keamanan bangunan yang ada

- a) Tingkat atau sifat kerawanan bangunan yang ada berdasarkan perencanaan umum yang komprehensif harus dikaji ulang untuk memastikan apakah telah mempertimbangkan dengan baik kerawanan tsunami dan pengelolaan risiko yang telah ditentukan. Informasi yang harus diinventarisasi dan diperbaharui dalam pengkajian ulang adalah:
- 1) informasi teknik, misalnya zona genangan banjir,
 - 2) informasi skenario ,
 - 3) sasaran dan kebijaksanaan.
- b) Di samping itu, harus dipahami pula bahwa kerawanan tsunami sering kali tumpang tindih dengan kerawanan lainnya, dan mitigasi kondisi kerawanan dapat pula membantu mitigasi risiko tsunami. Kerawanan tersebut dapat meliputi banjir, angin puting beliung, longsor, erosi pantai, dan gempa. Pada Gambar 17 diperlihatkan erosi (*scouring*) pantai sepanjang



Gambar 16 - Pemandangan dari udara kerusakan akibat gempa dan tsunami 26 Desember 2004 di Banda Aceh, memperlihatkan genangan banjir sampai mencapai \pm 3,30 km dari garis pantai. Pembangunan di daerah pantai kemungkinan dapat bertentangan dengan sasaran keamanan, sumber: *Quickbird Imagery* 28 Desember 2004



a) Sebelum tsunami



c) Setelah tsunami

Gambar 17 - Erosi sepanjang pantai Banda Aceh. Mitigasi untuk kondisi berbahaya

lainnya seperti kerawanan erosi, banjir, topan, dan gempa dapat membantu dalam mitigasi risiko tsunami, sumber: *Quikbird Imagery 28 Desember 2004*

5.3.4 Pengkajian ulang elemen tata guna lahan yang ada dan rencana lainnya

- a) Semua rencana tata guna lahan yang ada, rencana komprehensif lainnya, dan rencana khusus harus dikaji ulang untuk menentukan perubahan yang diperlukan dalam penanganan tingkat kerawanan tsunami dan cara pembaharuannya. Program dan kebijaksanaan tata guna lahan harus menitikberatkan kerawanan tsunami sebagai bagian dari program mitigasi tsunami secara komprehensif.
- b) Pembaharuan tersebut harus dititikberatkan pada lokasi dan kerawanan kerusakan tata guna lahan terhadap masyarakat setempat, yang meliputi :
 - 1) tempat hunian,
 - 2) pelayanan perdagangan dan pengunjung,
 - 3) perindustrian umum,
 - 4) perindustrian bahan berbahaya,
 - 5) fasilitas umum (sistem transportasi dan air),
 - 6) fasilitas kritis dan sistemnya (sistem komunikasi, tanggap darurat, pembangkit tenaga listrik, penyediaan air, dan gas alam).

5.3.5 Pengkajian ulang dan pembaharuan zonasi yang ada dan peraturan lainnya

Zonasi yang ada dan peraturan lainnya harus dikaji ulang dan diperbaharui dengan satu sasaran yaitu untuk menanggulangi korban jiwa dan kerugian harta benda/materi akibat tsunami. Persyaratan untuk perencanaan umum secara komprehensif dan zonasi serta peraturan biasanya berlainan di setiap Propinsi atau Kabupaten.

5.3.6 Perencanaan rekonstruksi pasca tsunami

- a) Bencana yang terjadi dapat mengubah semua pola pembangunan yang ada dan dibangun kembali dengan tujuan untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi akibat bencana ikutannya. Di samping itu, dapat juga menimbulkan dampak tekanan pada masyarakat dengan adanya pembangunan kembali secara cepat dan tepat seperti semula.

- b) Masalah pembangunan kembali harus disosialisasikan melalui proses perencanaan tata guna lahan sebelum kejadian bencana, agar masyarakat dapat dipersiapkan berkenaan dengan isu pembangunan kembali tersebut.
- c) Pembangunan kembali pada masyarakat yang menderita kerusakan tsunami, dapat didasarkan atas prinsip-prinsip perencanaan untuk pencegahan daerah rawan tinggi gelombang, desain lokasi di daerah tinggi gelombang untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi, serta mendaur ulang dan memperbaiki daerah urban berisiko yang ada.

5.4 Prinsip khusus strategi perencanaan tata guna lahan untuk mengurangi risiko tsunami

5.4.1 Strategi 1: Penentuan kawasan rawan tsunami untuk pemanfaatan kawasan terbuka

- a) Penentuan penggunaan zonasi rawan tsunami untuk kawasan terbuka seperti untuk pertanian, tempat parkir dan rekreasi, atau daerah rawan bencana alam, disarankan untuk dipertimbangkan sebagai strategi perencanaan tata guna lahan utama. Strategi ini didesain untuk menjaga agar pembangunan di kawasan rawan bencana dilakukan seminimum mungkin.
- b) Hal itu akan efektif dilakukan khususnya di daerah yang belum mengalami konsentrasi pembangunan. Namun demikian, daerah yang telah mengalami konsentrasi pembangunan sebagian, dan atau



Gambar 18 - Tempat parkir di Hilo, Hawaii, dengan penghalang pantai, penggunaan kawasan terbuka seperti tempat parkir dapat menjaga agar pembangunan di daerah rawan bencana dilakukan seminimum mungkin, sumber: NTHMP 2001

- c) Di daerah dengan konsentrasi pembangunan yang sangat pesat, program peralihan hak-hak pembangunan (*TDR*) kemungkinan akan lebih memadai. Hak peralihan pembangunan merupakan sarana pemindahan potensi pengembangan lokasi ke lokasi lain. Dalam hal ini, pemilik lokasi daerah pemindahan akan tetap mempertahankan harta bendanya, tetapi tidak dapat mengusulkan pengembangan.
- d) Pemilik suatu kawasan yang dapat mengusulkan kredit peralihan pembangunan, akan diizinkan untuk mengembangkannya. (*State of California, Office of Planning and Research, General Plan Guidelines, 1998*). Kredit peralihan pembangunan (*TDC*) dapat digunakan oleh kelompok masyarakat untuk menjelaskan programnya, dan saling tukar-menukar (*interchangeable*) dengan *TDR*.
- e) Suatu program peralihan (*TDR*) dapat mengurangi potensi pengembangan kawasan, yang diberikan melalui beberapa bentuk zonasi kembali dan batas-batas efektif atau larangan pengembangan daerah. Keuntungan program *TDR* adalah dapat memberi kesempatan mekanisme kompensasi untuk harta benda di daerah hilir zonasi itu. Kerugiannya adalah kemungkinan adanya kesulitan pengaturan dan lambatnya penanganan karena adanya

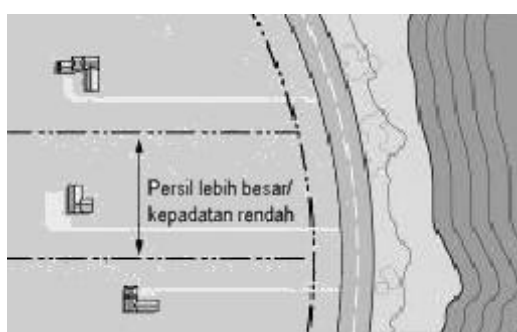
keberatan (*reluctance*) dan ketakutan dari pemilik harta benda sebelumnya, serta pemilihan lokasi pemindahan bangunan besar yang sesuai dan harus dilakukan secara hati-hati.

5.4.2 Strategi 2: Pencarian kawasan rawan tsunami untuk pemanfaatan kawasan terbuka

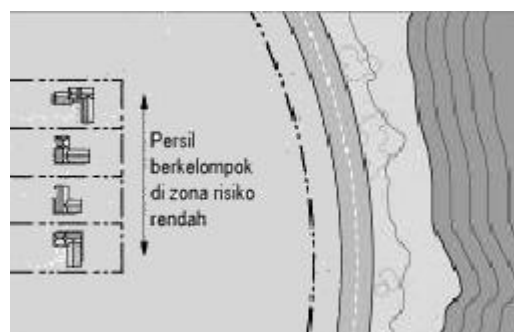
- a) Strategi ini dilakukan untuk memperoleh daerah rawan tsunami bagi pemanfaatan kawasan terbuka. Pencarian kawasan terbuka mempunyai beberapa keuntungan antara lain melalui pendekatan peraturan yang ketat (seperti zonasi), dan dikendalikan oleh badan pemerintah atau institusi yang tidak berorientasi mencari keuntungan (*non-profit*), serta tidak menimbulkan masalah pengambilan keputusan. Sedangkan kerugian utama pencarian tersebut adalah masalah biayanya.
- b) Ada beberapa macam pendekatan untuk perolehan tersebut. Pemilikan lahan merupakan pengaruh hak seseorang yang meliputi hak penjualan, penyewaan, dan pengembangan properti, sehingga beberapa dari hak-hak tersebut seperti hak membangun dapat dijual secara terpisah dari lokasi tempat harta benda itu.
- c) Macam-macam pendekatan pencarian adalah sebagai berikut:
 - 1) perolehan pembayaran biasa,
 - 2) pembelian hak pembangunan,
 - 3) program peralihan sebagian atau suka rela,
 - 4) sewa menyewa tanah atau pembelian sewa,
 - 5) penukaran lahan.

5.4.3 Strategi 3: Pembatasan pembangunan melalui peraturan tata guna lahan

- a) Di daerah yang dibatasi dan tidak layak menjadi kawasan terbuka, sebaiknya digunakan cara-cara perencanaan tata guna lahan lainnya. Antara lain strategi pengendalian jenis pembangunan dan pemanfaatan di kawasan rawan bencana yang diizinkan, dan mencegah penggunaan tempat hunian padat penduduk yang bernilai tinggi sampai sangat tinggi.
- b) Sebagai contoh, gambaran rencana dan wilayah zonasi dapat menggunakan batasan kepadatan atau areal persil yang besar (misalnya minimum 1 ha), untuk menentukan bahwa hanya penggunaan tempat hunian tidak padat yang diizinkan di daerah rawan bencana. Cara lainnya memerlukan pengelompokan pembangunan di daerah berisiko rendah. Masalah perencanaan lokasi dan desain dijelaskan secara rinci dalam Bab 6. Lihat Gambar 19 dan 20.



Gambar 19 - Penggunaan persil besar di zona rawan bencana tinggi dapat membatasi tingkat kepadatan hunian rendah, sumber: NTHMP 2001



Gambar 20 - Pembangunan di daerah berisiko rendah dapat dilakukan secara persil berkelompok, sumber: NTHMP 2001

5.4.4 Strategi 4: Perencanaan tata guna lahan pembantu melalui perencanaan perbaikan modal (capital improvement planning) dan anggaran belanja (budgeting)

- a) Proses pengaturan anggaran belanja dan perencanaan perbaikan modal digunakan untuk memperkuat kebijakan perencanaan tata guna lahan. Faktor utama dalam menentukan pola pembangunan berikutnya dapat digunakan jika pemerintah daerah setempat perlu memperluas fasilitas selokan dan saluran air, jalan, serta fasilitas dan pelayanan umum lainnya. Keputusan ini dapat merintang atau bahkan mendorong pembangunan di daerah rawan tsunami dan bencana lainnya.
- b) Perencanaan perbaikan modal untuk bangunan prasarana umum perlu dikoordinasikan secara cermat dengan program perencanaan tata guna lahan untuk menghindari daerah rawan bencana. Dengan meningkatnya keamanan prasarana umum, maka dapat meningkatkan pula kemampuan pemulihan masyarakat dari risiko bencana dan dapat memperbaharui pelayanan umum utama secepat mungkin.
- c) Mitigasi risiko kerawanan bencana alam harus terpadu dengan kebijakan pembangunan prasarana (infrastruktur). Kebijakan pembangunan infrastruktur sendiri sebenarnya tidak membatasi pembangunan di daerah tertentu. Namun, untuk memperkuat rencana tata guna lahan yang ada, dan meningkatkan kemampuan pasar untuk mendorong pengembangan pembangunan di daerah rawan tsunami, maka tidak diberikan subsidi biaya pembangunan infrastruktur (prasarana) untuk kawasan rawan kerusakan tinggi.

5.4.5 Strategi 5: Penyesuaian program dan persyaratan lain

- a) Keamanan elemen perencanaan umum secara komprehensif dan zonasi, subdivisi dan program lainnya didesain untuk membatasi peraturan yang berlaku untuk mitigasi risiko tsunami, meskipun untuk bencana tsunami telah dijelaskan secara terpisah. Beberapa program dan peraturan ini relatif dapat disesuaikan untuk daerah rawan tsunami. Sebagai contoh, persyaratan pembatasan dataran banjir yang ada, pengendalian lereng longsor dan tanah longsor, dan lingkungan hidup, berkaitan dengan pemandangan, rekreasi, dan perlindungan hutan (*wildlife-protection*) untuk membantu lebih memperhatikan potensi kerawanan tsunami yang harus dimodifikasi.
- b) Pemerintah daerah setempat harus mengkaji ulang program dan persyaratan ini agar dapat berperan serta dalam mengurangi korban jiwa dan kerugian materi akibat tsunami dan memodifikasi seperlunya.

6 Penentuan lokasi dan konfigurasi pembangunan baru di kawasan rawan bencana tsunami untuk mengurangi korban jiwa dan kerugian materi (Prinsip 3)

- a) Untuk pengembangan pembangunan di kawasan rawan bencana tsunami, perlu dibuat konfigurasi bangunan fisik dan penggunaannya di lokasi tersebut agar dapat mengurangi potensi kerugian korban jiwa dan kerugian materi. Hal ini meliputi strategi penentuan lokasi bangunan dan kawasan terbuka, interaksi penggunaan lahan, desain lanskap, dan pelaksanaan konstruksi dinding atau tembok penghalang.
- b) Petugas perencanaan dari pemerintah daerah dan tenaga bantuan proyek harus saling bekerja sama, untuk mengembangkan strategi mitigasi tsunami, yang meliputi:
 - 1) persetujuan tentang tingkat risiko bencana alam setempat,
 - 2) menyelidiki alternatif mitigasi,
 - 3) menyatukan strategi mitigasi dalam proses kaji ulang program pengembangan.
- c) Dalam menentukan langkah-langkah dasar dalam proses desain setempat, dan cara memasukkan kegiatan mitigasi tsunami dalam proses perencanaan umum pembangunan, perlu adanya pemahaman tentang peraturan yang terkait.

6.1 Peraturan perencanaan lapangan dalam mengurangi risiko tsunami (Konsep perencanaan dan mitigasi bencana tsunami)

Dalam pengembangan kerangka rencana umum yang komprehensif (perencanaan lapangan) untuk menentukan lokasi, konfigurasi, dan kepadatan pembangunan di kawasan rawan tsunami, diperlukan sekali cara-cara untuk mengurangi risiko tsunami dengan pemahaman peraturan pemerintah pusat, dan pemerintah daerah setempat yang terkait. Setiap proyek mempunyai suatu rangkaian kebijakan dan peraturan pemerintah pusat, serta pemerintah daerah setempat yang harus dipenuhi.

- a) Kebijakan dan peraturan pemerintah pusat dan pemerintah daerah yang terkait.
 - 1) Proses perencanaan tata guna lahan dan peraturan lain di daerah pantai harus disesuaikan dengan peraturan pemerintah pusat, pemerintah daerah atau pedoman yang berlaku.
 - 2) Pada umumnya, pedoman perencanaan umum memerlukan perencanaan setempat sesuai dengan kebijakan pemerintah pusat yang mencakup mitigasi dalam perencanaan umum secara komprehensif dan pengkajian lingkungan setempat. Sebagai contoh: *Federal Flood Insurance* menganjurkan agar proyek-proyek hanya dibangun di atas daerah banjir 100 tahunan atau daerah genangan. Beberapa negara lain menganjurkan juga untuk daerah akses umum atau penggunaan/ pemanfaatan daerah pantai.
- b) Peraturan setempat.
 - 1) Perencanaan kependudukan yang komprehensif merupakan tahap utama dari proses peraturan atau perencanaan tata guna lahan. Perencanaan secara komprehensif sebaiknya dilaksanakan dari hari ke hari melalui persetujuan dan pengkajian proyek perencanaan yang sedang berjalan. Pemerintah setempat khusus (daerah pantai), memerlukan persetujuan resmi untuk tata guna lahan, pemanfaatan kondisi dan rencana fisik pengembangan baru.
 - 2) Pada tahap perencanaan lapangan khususnya ditekankan pada daerah gugus atau kelompok dengan luas 1 sampai 80 hektar, di bawah pengendalian seorang pemilik. Perencanaan ini dibatasi untuk pencegahan bahaya tsunami secara keseluruhan, tetapi masih mempunyai kesempatan yang luas dalam desain proyek untuk mengurangi kerusakan akibat tsunami.

6.2 Proses implementasi strategi perencanaan lapangan

Pada waktu perumusan strategi perencanaan lapangan dan mitigasi tsunami diperlukan suatu proses pengkajian yang secara garis besar terdiri atas langkah-langkah sebagai berikut.

6.2.1 Menciptakan suatu proses pengkajian pembangunan proyek yang dapat bekerja sama, komprehensif dan terpadu

- a) Dalam proses perencanaan dan pengkajian daerah pantai diperlukan peraturan pemerintah pusat, pemerintah daerah setempat, dan cara kerja sama antara petugas perencanaan dari pemerintah setempat dan tenaga proyek untuk mengembangkan strategi mitigasi tsunami.
- b) Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam proses perencanaan dan pengkajian keadaan setempat adalah:
 - 1) persetujuan tingkat risiko bencana alam setempat,
 - 2) penyelidikan alternatif mitigasi,
 - 3) integrasi kegiatan mitigasi dalam pengembangan proses pengkajian.
- c) Perencanaan lapangan yang paling efektif di daerah pantai meliputi proses pengkajian proyek pembangunan yang mencerminkan lokasi dan keadaan kawasan rawan tsunami,

harus mempertimbangkan kebijakan dan peraturan terkait, yang merupakan bagian dari strategi mitigasi secara luas.

- d) Proses perencanaan dan pengkajian keadaan setempat yang interaktif dan tersedianya informasi, dapat menghemat waktu untuk membantu proyek dan memberikan penyelesaian mitigasi yang lebih baik, berdasarkan kriteria dan perencanaan yang telah ditentukan.

6.2.2 Pemahaman kondisi lapangan setempat

- a) Untuk memahami bencana tsunami diperlukan pembahasan global dan regional serta sumber-sumber yang berkaitan. Petugas perencanaan dari pemerintah setempat dan tenaga bantuan proyek harus dapat mengembangkan strategi mitigasi, yang menggambarkan karakteristik lapangan dan pengaruh langsung.
- b) Strategi mitigasi ini meliputi pemahaman pengaruh dampak tsunami terhadap hal-hal:
 - 1) keadaan geografi dan gambaran kondisi setempat,
 - 2) tata guna lahan dan jenis-jenis bangunan,
 - 3) pola pengembangan pengaturan tata ruang RTRW,
 - 4) kondisi sosial masyarakat setempat.
- c) Petugas perencanaan dari pemerintah setempat dan tenaga bantuan proyek harus mengembangkan strategi mitigasi yang mencerminkan karakteristik setempat dan berkaitan langsung. Kedalaman genangan banjir tsunami, kecepatan aliran, gelombang pecah atau keadaan yang tidak menyenangkan, beban *debris*, dan waktu peringatan biasanya bervariasi dari satu tempat dengan tempat lainnya.

6.2.2.1 Pengertian berkaitan dengan geografi regional dan berbagai kerawanan

- a) Secara geografi keadaan setempat sangat menentukan jumlah risiko kerawanan daerah. Di Indonesia “Peta Zonasi Tsunami Indonesia” pada Gambar 15 dapat dipakai sebagai acuan untuk mengetahui zona-zona yang mempunyai tingkat kerentanan tinggi, yang dirancang untuk tsunami lokal.
- b) Pada umumnya masyarakat yang telah mengalami tsunami mempunyai data sejarah dan geologi yang menunjukkan daerah berisiko tinggi. Data ini umumnya berada dalam jarak tertentu dari sumber tsunami, dan tidak pada sumber tsunami setempat itu sendiri sehingga datanya langka dan jarang sekali tersedia/ dimiliki oleh masyarakat pantai.
- c) Tahapan analisis setempat dapat dilakukan untuk menentukan parameter rencana setempat bagi mitigasi bencana tsunami. Beberapa kelompok masyarakat biasanya telah membuat peta daerah rawan bencana. Analisis khusus meliputi kondisi geografi, prasarana kritis, daerah jalan masuk (akses) dan jalan ke luar (*egress*), serta pola pengembangan yang ada dan yang akan datang. Pertimbangan lainnya mencakup kelayakan secara ekonomik dan tujuan desain berbasis masyarakat.
- d) Peta bencana regional dapat mengidentifikasi beberapa daerah berisiko, tetapi secara khusus tidak mencerminkan potensi bahaya akibat tsunami yang disertai bencana lainnya (misalnya genangan air, gempa, penurunan, banjir, kebakaran, keruntuhan prasarana, longsor, likuifaksi, erosi, dan kondisi bahaya lainnya). Oleh karena itu, petugas setempat sebaiknya mengidentifikasi kondisi kerawanan lainnya di samping gambaran elevasi dan batasan pesisir pantai.

6.2.2.2 Perencanaan kondisi lapangan setempat secara khusus

Masyarakat dan tenaga bantuan proyek perlu memperkirakan jenis-jenis kondisi pesisir pantai setempat untuk mengidentifikasi strategi mitigasi. Berikut ini disajikan ringkasan berbagai jenis kondisi pesisir pantai dan pertimbangan perencanaan setempat yang terkait.

- a) Masyarakat daerah pesisir pantai
 - 1) Pondok dan rumah di sepanjang pantai, *resort*, hotel-hotel, fasilitas rekreasi, dan jalan akses yang telah dikembangkan tanpa mempertimbangkan potensi genangan tsunami, kemungkinan dapat mengalami kerusakan, korban jiwa dan kerugian materi akibat tsunami.
 - 2) Dengan berjalannya waktu di daerah ini telah dibangun rumah-rumah individu dengan kehidupan ekonomi yang bergantung pada laut, fasilitas pelayanan regional, pembangkit tenaga, dan pemanfaatan industri yang kemungkinan dibangun di daerah genangan. Namun, genangan yang terjadi pada fasilitas tersebut dapat menimbulkan kerusakan lingkungan yang serius dari bahan kimiawi dan bakteri, sehingga perlu dipertimbangkan secara serius.
- b) Teluk (*bays*)
 - 1) Teluk, penutupan (*coves*) dan muara sungai khususnya rawan terhadap gelombang tsunami. Secara morfologi dapat mendorong air ke dalam delta pedesaan dan lembah penduduk, menggenangi pelabuhan dan pusat kota, serta merobohkan jembatan.
 - 2) Kerusakan akibat tsunami dapat meningkatkan keadaan pasang surut yang tinggi, pecahan badai (angin ribut), atau likuifaksi karena gempa.
- c) Pelabuhan (*harbors*)
 - 1) Kota-kota pelabuhan (seperti di Jepang) mendapat kesempatan studi kasus bencana akibat tsunami yang utama, karena daerah itu dapat mengalami kejadian tsunami dengan beberapa alasan seperti telah dijelaskan di atas.
 - 2) Daerah pantai yang tertutup (*coves*) dapat merupakan pertemuan sungai-sungai, dan dikembangkan sepanjang tepi pantai, sehingga kapal layar kecil, armada penangkap ikan, armada laut dan kegiatan perdagangan dapat berlabuh sekeliling pelabuhan.
- d) Kota pelabuhan (*ports*)

Sejak 30 tahun yang lalu fasilitas perdagangan laut telah diangkut dengan kapal muatan, yang memerlukan jarak tepi cukup jauh. Permukaan tepi ini dapat mengalami kerusakan akibat gelombang dan aliran *debris* yang besar.

6.2.3 Pemilihan strategi mitigasi setempat

- a) Perencanaan setempat sebaiknya memberikan suatu petunjuk umum tentang metode dan teknik yang dapat diterapkan pada pembangunan proyek di kawasan pantai. Analisis keadaan setempat dengan susunan kerangka mitigasi secara menyeluruh akan menghasilkan strategi mitigasi lapangan yang khusus. Tingkat analisis setempat dapat digunakan untuk menentukan parameter rencana mitigasi bencana tsunami setempat. Beberapa kelompok masyarakat telah membuat peta daerah rawan bencana, meskipun tidak selalu dapat digunakan untuk skala lapangan.
- b) Rencana daerah tersebut dapat dilakukan dengan analisis khusus yang meliputi kondisi geografi, lanskap, prasarana struktur kritis, daerah jalan akses dan jalan ke luar (*egress*), serta pola pengembangan yang ada dan yang akan datang.
- c) Tenaga ahli sebaiknya berkonsultasi dengan pihak terkait, untuk menentukan daerah rawan bencana secara akurat. Pertimbangan lainnya mencakup kelayakan secara ekonomik dan tujuan desain berbasis masyarakat.

A. 6.3 Strategi mitigasi dengan jenis-jenis pengembangan pembangunan

- a) Selama ini proses perencanaan pengembangan pembangunan setempat telah banyak dilakukan dengan tenaga bantuan proyek sebagai pendekatan mitigasi. Hal tersebut dilakukan dengan desain bangunan dan rekayasa cara penanganan gaya tsunami secara

aktif ataupun pasif, yang pada umumnya meliputi solusi di lapangan untuk mencegah, memperlambat, mengendalikan atau membatasi (merintang) genangan.

- b) Pendekatan mitigasi dapat dilakukan secara tunggal atau *hibrid* bergantung pada penggunaan lahan dan karakteristik setempat yang dihadapi. Ada empat teknik dasar perencanaan setempat yang dapat diterapkan pada proyek-proyek untuk mengurangi risiko tsunami, yaitu : mencegah daerah dari genangan, memperlambat aliran air, mengendalikan gaya-gaya air, dan membatasi/ merintang gaya-gaya air.
- c) Strategi dasar ini dapat digunakan sebagai pendekatan mitigasi terpisah atau gabungan secara luas. Hal ini dilakukan baik dengan metode pasif yang membiarkan tsunami melewati suatu daerah tanpa menimbulkan kerusakan maksimum, maupun metode aktif dengan memperkuat bangunan dan keadaan setempat agar dapat menahan gaya tsunami.
- d) Keberhasilan teknik-teknik ini bergantung pada intensitas kejadian tsunami. Jika kerawanan tsunami kurang dari yang diperkirakan, pengembangan daerah masih tetap diragukan terhadap kejadian yang lebih besar lagi.
- e) Cara tersebut dapat dipelajari dari segi perencanaan dan lapangan setempat untuk mengetahui stratifikasi vertikal dari penggunaan, pencegahan dan penghalang, dan rencana pemahaman pengendalian air akibat pembangunan, jalan ke luar yang ditempuh (*rute egress*), dan potensi distribusi *debris*.

a) Strategi 1: Cara pencegahan

Cara pencegahan kawasan rawan tsunami tentu saja merupakan metode mitigasi yang paling efektif. Tahap perencanaan keadaan setempat dapat meliputi penentuan lokasi bangunan dan prasarana pada elevasi yang lebih tinggi dari genangan banjir atau menempatkan bangunan di atas elevasi genangan tsunami dengan tiang atau panggung yang diperkuat (Gambar 21).

b) Strategi 2: Cara memperlambat

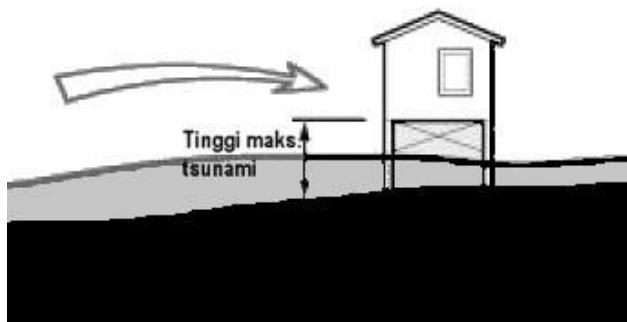
Cara memperlambat meliputi pembuatan penghambat gesekan untuk mengurangi energi gelombang yang merusak. Hutan, parit, lereng dan *berm* yang didesain secara khusus dapat memperlambat dan menahan *debris* akibat gelombang. Efektivitas cara ini bergantung pada estimasi genangan yang mungkin terjadi secara akurat (Gambar 22).

c) Strategi 3: Cara pengendalian

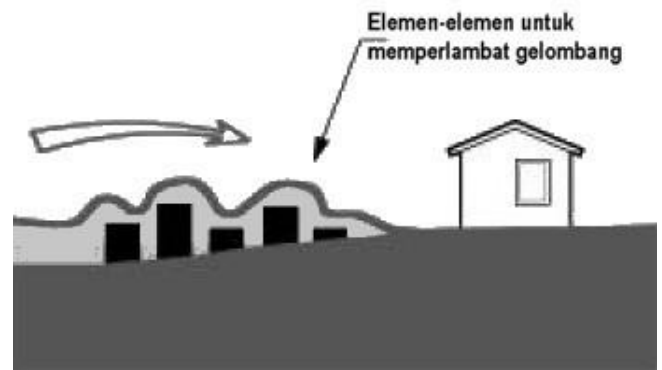
Cara pengendalian dilakukan dengan menggiring gaya tsunami agar tidak menghantam bangunan dan manusia dengan penempatan bangunan secara strategis, misalnya tembok miring dan parit-parit, serta permukaan yang diberi pelapis sehingga menimbulkan alur friksi yang rendah terhadap aliran air (Gambar 23).

d) Strategi 4: Cara merintang (*blocking*)

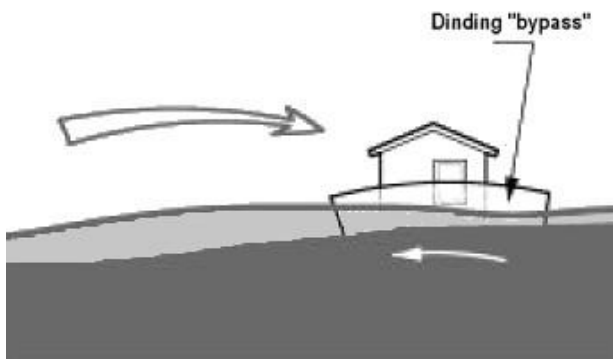
Bangunan yang diperkuat seperti tembok, *berm* dan teras yang dipadatkan, tempat parkir, dan konstruksi kaku lainnya dapat merintang gaya gelombang. Namun, cara merintang ini dapat memperkuat tinggi gelombang akibat efek refleksi (pantulan) atau membalikkan arah energi gelombang pada daerah lainnya (Gambar 24).



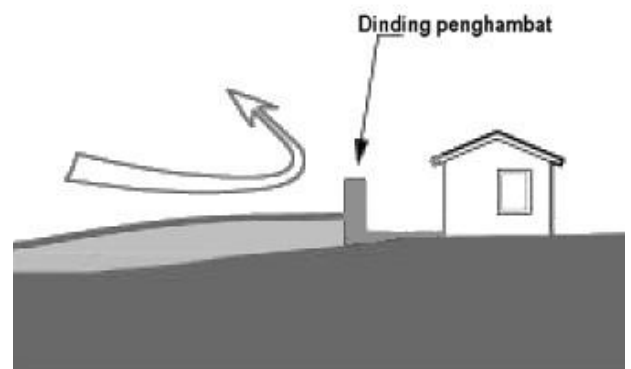
Gambar 21 - Cara pencegahan, sumber: NTHMP 2001



Gambar 22 - Cara memperlambat, sumber: NTHMP 2001



Gambar 23 - Cara pengendalian, sumber: NTHMP 2001



Gambar 24 - Cara merintang, sumber: NTHMP 2001

6.4 Strategi mitigasi untuk berbagai jenis pembangunan

Berbagai jenis pembangunan baru yang disebabkan oleh kerusakan tsunami dan identifikasi strategi penanggulangan jenis-jenis pembangunan yang berbeda dijelaskan berikut ini.

- a) Perumahan biasa (*infill housing*)
 Dalam lingkup masyarakat kecil, rumah-rumah perorangan dan perumahan biasa adalah bangunan yang paling umum ditemukan. Namun, dengan adanya kebijaksanaan politik dapat juga dibangun bangunan-bangunan kecil walaupun tidak mempunyai izin penempatan di luar daerah bencana. Yang diinginkan masyarakat adalah meningkatkan bangunan di atas elevasi genangan dari suatu tempat, untuk mencegah bencana akibat pukulan *debris* atau benturan bangunan lainnya.
- b) Bagian rencana bangunan baru dan bangunan di sekitarnya
 Untuk mengurangi kerusakan akibat tsunami, rencana bangunan baru di daerah pesisir pantai sebaiknya mencakup:
 - 1) menyediakan jarak maksimum antara bangunan,
 - 2) menempatkan bangunan di atas elevasi genangan,
 - 3) membangun perumahan di belakang hutan pengendali tsunami atau perkuatan bangunan yang lebih besar,
 - 4) menempatkan jalan akses utama di luar daerah genangan, dan jalan akses sekunder tegak lurus pada tepi pantai.
- c) Hotel bertingkat tinggi
 Hotel-hotel baru di daerah pantai adalah bangunan rangka beton bertingkat yang dibangun secara khusus. Bangunan bertingkat yang lebih rendah didesain untuk daerah umum,

seperti lobi dan bangunan penyangga (misalnya tempat parkir) untuk ruangan bertingkat lebih tinggi. Sebagai contoh di Hawaii, bangunan hotel yang lebih rendah didesain untuk memperbolehkan gelombang melewati lantai dasar parkir, sedangkan lobi dan tempat pelayanan menempati ruang-ruang bertingkat di atasnya agar tidak mengalami kerusakan. Bangunan bertingkat ini harus didesain agar dapat menahan gaya-gaya tsunami maupun gempa (Gambar 25).



Gambar 25 - Bangunan restoran di Hilo, Hawaii. Bangunan tingkat bawah didesain untuk memperbolehkan gelombang melewatinya. Sumber: NTHMP 2001

d) *Resort*

Resort dapat terdiri atas kawasan fasilitas dan pelayanan yang luas, termasuk pondok skala kecil, hotel-hotel besar, fasilitas olahraga, dan tempat rekreasi pantai. Perencanaan *resort* dapat digambarkan dalam berbagai metode mitigasi, termasuk kawasan terbuka dan hutan tsunami, penempatan bangunan di atas elevasi genangan yang diperkirakan, dan bangunan penyangga yang lebih kecil dengan hotel-hotel besar serta bangunan pelindung pantai.

5) Perdagangan

Pedesaan (*downtown*) dari masyarakat daerah pantai umumnya berada berdekatan dengan pangkalan labuh di daerah pantai. Jalan-jalan utama dibangun sejajar garis pantai dan dikembangkan secara khusus mengikuti syarat-syarat perdagangan. Ke dua pola pengembangan ini mudah terpengaruh (*susceptible*) kerusakan akibat tsunami, sehingga diperlukan perkuatan dan perluasan bangunan pelabuhan, agar dapat membantu melindungi daerah perdagangan di sekitarnya. Pembuatan struktur pemecah gelombang (*breakwater*) bergantung pada tsunami, namun dapat mengakibatkan tingginya gelombang sehingga menjadi tidak efektif. Bangunan baru sebaiknya dibangun di atas elevasi genangan banjir dan diperkuat serta didesain agar dapat menahan gaya-gaya tsunami.

6) Perindustrian

Dok kering, instalasi pemurnian (*refineries*), pembangkit tenaga dan fasilitas industri di pesisir pantai lainnya harus pula diperhatikan secara khusus. Jika diterjang tsunami yang besar, fasilitas minyak dan industri di pesisir pantai akan mengalami kerusakan.

7) Fasilitas penting dan kritis lainnya

Identifikasi metode mitigasi untuk jenis-jenis pembangunan yang berbeda diperlihatkan dalam Tabel 12.

Mitigasi untuk jenis-jenis pembangunan terpilih (sumber: NTHMP 2001, background paper)

Pengertian	Cara pengendalian	Cara memperlambat	Cara merintang
<p>ot yang tinggi. i genangan di atas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengatur jarak maksimum antara bangunan gedung. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menanam hutan tsunami di muka perumahan keluarga perorangan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan besar di depan perumahan keluarga perorangan.
<p>ot yang tinggi. i genangan pada tiang</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengatur jarak maksimum antara bangunan gedung. - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit.. - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menanam hutan tsunami di muka perumahan keluarga perorangan. - Tembok dan parit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan besar di depan perumahan keluarga perorangan.
<p>di luar daerah</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit.. - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk memperlambat air dan <i>debris</i> melayang. - Tembok dan parit. - Menanam hutan tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tembok - Desain bangunan yang diperkuat.
<p>ar di atas daerah parkir. angunan yang sempit sunami.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengatur jarak maksimum antara bangunan gedung. - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk memperlambat air dan <i>debris</i> melayang. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. - Menanam hutan tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan besar di depan perumahan lebih kecil. - Tembok. - Desain bangunan yang diperkuat. - Tembok pemecah gelombang untuk mitigasi.
<p>ecil di atas bagian i atas elevasi atan atau timbunan. angunan yang sempit sunami.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mengatur jarak maksimum antara bangunan gedung. - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk memperlambat air dan <i>debris</i> melayang. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. - Menanam hutan tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan besar di depan bangunan lebih kecil. - Tembok. - Desain bangunan yang diperkuat.
<p>di atas elevasi timbunan. angunan yang sempit sunami.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk memperlambat air dan <i>debris</i> melayang. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. - Menanam hutan tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tembok - Desain bangunan yang diperkuat.
<p>di atas elevasi timbunan. ian yang berbahaya g tinggi atau relokasi. angunan yang sempit sunami..</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk mengatur air, <i>debris</i> melayang dan bangunan yang mengalir. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan untuk memperlambat air dan <i>debris</i> melayang. - Tembok dan parit. - Pemberian pelapis permukaan yang rata. - Menanam hutan tsunami. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menempatkan bangunan besar di depan bangunan lebih kecil. - Tembok. - Desain bangunan yang diperkuat. - Tembok pemecah gelombang untuk bangunan dok
<p>daerah zona</p>	<p>Tidak ada</p>	<p>Tidak ada</p>	<p>Tidak ada</p>

6.5 Studi kasus: Rencana pembangunan pedesaan Hilo

Rencana pembangunan pedesaan Hilo pada tahun 1974 dimaksudkan untuk memedomani kegiatan pembangunan kembali pusat pedesaan Hilo, Hawaii. Rencana keamanan wilayah dibuat berdasarkan pengalaman batas genangan yang terjadi pada tahun 1946 dan 1960. Semua pembangunan ulang dalam keamanan wilayah ditujukan untuk desain permukiman dan standar desain bangunan gedung. Bangunan di bawah elevasi garis kontur 6,00 m didesain agar dapat menahan gaya tsunami maksimum. Kawasan parkir juga didesain agar dapat menyediakan tempat parkir bagi perdagangan di perkotaan dan berfungsi sebagai penghalang untuk melindungi bangunan di daratan terhadap serangan tsunami.

Pada tahun 1985 rencana pengembangan pedesaan Hilo diserahkan kepada pihak lain (*superceded*) dengan rencana pembangunan ulang pedesaan Hilo dan kebijakan *Flood control, of the Hawaii County Code* (Gambar 26a dan 27). Selain itu, diperlihatkan kerusakan akibat tsunami 26 Desember 2004 pada pabrik semen di Loknga (Gambar 26b).



a) Kerusakan gedung di Hilo, Hawaii karena tsunami tahun 1946. Sumber: *NTHMP* 2001



b) Pabrik semen di Loknga yang hancur akibat tsunami Aceh 26 Desember 2004

Gambar 26 - Contoh kerusakan gedung akibat tsunami



Gambar 27 - Penampang melalui daerah pedesaan yang lebih rendah dari Rencana pembangunan pedesaan Hilo. Sumber: *NTHMP* 2001

7 Perencanaan dan konstruksi bangunan baru untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 4)

7.1 Umum

Risiko akibat tsunami dapat ditanggulangi melalui desain dan konstruksi pembangunan infrastruktur yang dapat menahan gaya-gaya tsunami secara efektif. Yang perlu diperhatikan adalah pertimbangan desain dan konstruksi bangunan di kawasan rawan tsunami, peraturan bangunan yang berlaku dan pedoman yang berkaitan dengan gaya-gaya tsunami, serta saran umum pendekatan desain bangunan baru dan perbaikan bangunan yang ada. Selain itu, pencegahan pada kawasan rawan tsunami melalui perencanaan tata guna lahan, dan cara mengurangi kerusakan tsunami melalui perencanaan penentuan lokasi yang baik.

7.2 Komponen kegiatan dasar perencanaan umum bangunan di kawasan rawan tsunami

- a) Seperti telah dibahas dalam Prinsip 2 dan 3, teknik mitigasi yang paling efektif di kawasan rawan tsunami adalah menempatkan bangunan baru jauh dari zona tingkat kerawanan tinggi. Jika tidak memungkinkan, desain dan konstruksi bangunan di zona rawan tsunami harus mengikuti peraturan kinerja bangunan yang kritis mengalami tsunami.
- b) Proses desain dan konstruksi dapat mulai dilaksanakan dengan menggabungkan asumsi perencanaan umum dan persyaratan zonasi serta kondisi lapangan yang dapat diterapkan. Tahap awal pertimbangan untuk pencegahan kerusakan dan kehilangan bangunan akibat tsunami yang utama adalah pada tahap awal desain proyek disertai dengan informasi kinerja sebenarnya dan standar yang berlaku. Ketentuan tersebut akan memberi tuntunan desain akhir dan konstruksi jika diperlukan.
- c) Konsep dasar perencanaan gedung dan bangunan di kawasan rawan tsunami terdiri atas lima buah konsep yang terkait satu sama lain, yang merupakan perluasan dari Prinsip 2 dan 3.

7.2.1 Kegiatan 1: Pemahaman dan penjelasan bencana tsunami serta bencana lainnya yang berpengaruh pada lokasi bangunan

- a) Pada Bab 4 (Prinsip 1) telah dijelaskan secara rinci tentang kejadian gempa, kejadian tsunami, risiko tsunami dan zonasi tsunami. Pada Bab 5 (Prinsip 2) dan Bab 6 (Prinsip 3) dijelaskan tentang perencanaan dan penempatan lokasi bangunan. Uraian-uraian tersebut di atas akan membantu pelaksanaan studi risiko tsunami setempat, dan menentukan pertimbangan perencanaan dan penempatan lokasi bangunan.
- b) Sementara itu peraturan umum yang berlaku untuk mencegah kehilangan bangunan, hanya dapat diterapkan berdasarkan bangunan per bangunan karena adanya perbedaan penggunaan, ukuran, gambaran kinerja, material, karakteristik setempat, dan faktor-faktor lainnya.
- c) Pertimbangan mitigasi terdiri atas:
 - 1) Bekerja sama dengan pendukung atau pemilik proyek dalam memahami pengertian risiko dan strategi umum untuk mencegah korban jiwa dan kerugian materi di masa mendatang,
 - 2) mengadaptasi (menyesuaikan) dan menerapkan peraturan dan standar yang sesuai dengan desain bangunan,
 - 3) menentukan karakteristik setempat dan cara mitigasi yang harus dipertimbangkan dalam desain,
 - 4) menentukan persyaratan desain dan konstruksi melalui prosedur inspeksi konstruksi dan pertimbangan rencana yang tidak terikat dan memadai.

7.2.2 Kegiatan 2: Penentuan kinerja gedung atau bangunan dan pemanfaatan di masa mendatang

- a) Untuk berbagai alasan, beberapa bangunan dianggap lebih penting artinya dari yang lainnya, sesuai dengan fungsi, posisi (kedudukan), atau aktivitas terkait. Sebagai contoh, rumah sakit dan sekolah dapat diperuntukkan sebagai bangunan dengan kinerja lebih tinggi daripada bangunan akomodasi para turis. Hal ini perlu dilakukan karena jika tidak, maka setiap bangunan di kawasan rawan tsunami harus dibangun sampai minimal memenuhi persyaratan peraturan bangunan gedung tahan tsunami.

b) Beberapa aktivitas tersebut meliputi:

- 1) memastikan masyarakat telah melaksanakan persyaratan peraturan minimum secara memadai, yang berlaku untuk kerawanan bencana tsunami dan bencana setempat lainnya,
- 2) menentukan jenis bangunan yang mempunyai tingkat kepentingan relatif lebih tinggi yang harus didesain mengikuti persyaratan minimum yang lebih tinggi sesuai dengan peraturan, standar yang berlaku dan proses perizinan dan inspeksi,
- 3) memerlukan proses pengkajian ulang rencana dan inspeksi konstruksi, agar dapat diketahui kepentingan bangunan dan berlaku pada konstruksi.

7.2.3 Kegiatan 3: Pencegahan pembangunan bangunan baru di kawasan rawan tsunami tinggi

a) Penempatan lokasi bangunan baru di kawasan rawan tsunami tinggi sebaiknya dihindari, untuk mengurangi kesulitan masyarakat dengan batasan penempatan bangunan yang berlaku.

b) Strategi dasar kegiatan ini meliputi:

- 1) memeriksa usulan dan rencana bangunan baru untuk mempertimbangkan apakah alternatif lokasi dapat digunakan dengan efisiensi yang sama,
- 2) ketetapan tentang apakah ada insentif, seperti pemindahan hak pembangunan yang dapat memberi rangsangan pembangunan di kawasan rawan tsunami rendah,
- 3) memudahkan kontrol untuk mencegah konstruksi bangunan baru, yang mungkin memerlukan pemindahan bangunan yang ada di kawasan rawan tsunami tinggi.

7.2.4 Kegiatan 4: Bangunan seharusnya ditempatkan di atas elevasi air tinggi

a) Sama seperti dalam program pengelolaan bahaya banjir lainnya, bangunan seharusnya ditempatkan di atas elevasi genangan banjir akibat tsunami yang diperkirakan. Hal ini akan memberikan gambaran adanya lantai dasar terbuka yang tidak boleh digunakan.

b) Pertimbangan dasar ini meliputi:

- 1) memenuhi persyaratan desain penempatan bangunan di kawasan rawan tsunami yang sama seperti yang diperlukan untuk penempatan bangunan pengendali banjir,
- 2) menjamin adanya standar desain yang dapat dipergunakan untuk perhitungan gaya-gaya tsunami dan goncangan gempa permukaan,
- 3) mempertimbangkan persyaratan konstruksi dengan memperhitungkan dampak air yang membawa *debris* sebagai tambahan gaya tsunami.

7.2.5 Konsep 5: Pemberdayaan tenaga ahli teknik struktur dan pantai yang profesional dan arsitek yang berpengalaman dalam desain penyesuaian kembali (*retrofitting*) bangunan di kawasan rawan tsunami dan pengaruh genangan

a) Desain dan konstruksi bangunan yang baik akan dapat mengurangi pengaruh tsunami pada bangunan. Masyarakat seharusnya melibatkan tenaga ahli desain yang memiliki kompetensi dan berpengalaman dalam struktur, pantai dan geoteknik dan memberdayakan pada pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami tinggi.

b) Hal-hal yang harus dilakukan adalah:

- 1) mengidentifikasi proyek-proyek yang diusulkan dengan melibatkan tenaga-tenaga ahli yang profesional dan berpengalaman di bidangnya,

- 2) memastikan bahwa pelaksana pekerjaan pembangunan akan melibatkan tenaga bantuan khusus dalam perencanaan bangunan infrastruktur sedini mungkin,
- 3) menempatkan tenaga bantuan berpengalaman baik lokal maupun dari luar daerah yang dapat dihubungi secara cepat bila dibutuhkan.

7.3 Peraturan desain dan konstruksi untuk mengurangi risiko tsunami

Walaupun tersedia material dan teknik rekayasa bangunan yang baik untuk membantu desain dan konstruksi bangunan di kawasan rawan tsunami, namun dalam kasus tsunami besar hanya akan mengurangi kerugian saja, tetapi tidak dapat mencegah kerusakan hebat. Pendekatan terbaik untuk mengurangi atau mencegah kerugian tsunami adalah dengan menempatkan bangunan di luar daerah rawan tsunami (lihat Gambar 28).



Gambar 28 - Kerusakan gedung di Hilo, Hawaii karena tsunami 1960 meskipun tersedia material dan teknik rekayasa yang dapat diterapkan untuk menahan gaya-gaya tsunami dan genangan, dalam kasus tsunami yang hebat, hal tersebut hanya mengurangi kerugian tetapi tidak dapat mencegah kerusakan yang hebat, sumber: NTHMP 2001

7.3.1 Sasaran kinerja

- a) Desain bangunan infrastruktur bergantung pada serangkaian keputusan secara terpadu. Meskipun kemungkinan bangunan akan mengalami tsunami, namun diharapkan tetap dapat mencapai tingkat kinerja tertentu, dengan jumlah kerusakan yang masih dapat ditoleransi dan bangunan masih dapat berfungsi setelah terjadi hantaman tsunami.
- b) Keputusan ini ditentukan mulai dari penentuan pentingnya bangunan, risiko kerusakan, dan bagaimana kerusakan dapat ditoleransi sesuai dengan sasaran kinerjanya. Kinerja tersebut bergantung pada intensitas kerawanan tsunami, lokasi dan wujud bangunan (ukuran, bentuk, elevasi, orientasi), peraturan dan standar bangunan, pemilihan struktur dan material, kemampuan utilitas, kemampuan profesi perencanaan, dan mutu konstruksi.
- c) Peraturan dan standar bangunan merupakan salah satu aspek dari suatu rangkaian keputusan perencanaan dan desain secara terpadu, yang akan mempengaruhi biaya konstruksi, fungsi bangunan dari hari ke hari, nilai fasilitas, dan ketahanannya terhadap kerusakan.
- d) Pencapaian kinerja yang diinginkan memerlukan peran serta semua aspek dalam suatu keputusan untuk mendukung kinerja yang diharapkan, memahami keputusan yang akan mempengaruhi kinerja, dan mampu mengerjakannya. Pemilik pekerjaan proyek bertanggung jawab sepenuhnya terhadap penentuan kinerja yang dapat diterima serta penentuan tim desain dan konstruksi secara keseluruhan.

- e) Desain gedung harus berdasarkan pedoman prinsip-prinsip dan aplikasi rekayasa serta peraturan gedung, yang menetapkan standar minimum terkait dengan keselamatan dan keamanan umum. Namun, peraturan tersebut tidak dapat mewakili atau sebagai pengganti untuk kompetensi teknik dan desain atau konstruksi dan jaminan mutu.
- f) Keadaan yang dapat diterapkan pada tiap-tiap bangunan berbeda-beda, sehingga harus dipertimbangkan pendekatan dan kelayakannya untuk masing-masing bangunan. Setiap tenaga ahli desain sebaiknya dapat menerapkan keahliannya dalam penanganan daerah secara cepat dan layak berdasarkan ketentuan sesuai bidangnya. Selain itu, mereka harus dapat mengantisipasi dengan adanya pengetahuan tentang tsunami dan kinerja bangunan yang bervariasi dan perbaikannya.

7.3.2 Peraturan bangunan

Semua peraturan, standar dan pedoman desain dan konstruksi yang ada di Indonesia, harus digunakan secara optimal untuk memperoleh tingkat keamanan minimum di lokasi bencana, dengan ketentuan sebagai berikut.

- a) Peraturan/standar bangunan (gedung) telah menetapkan persyaratan minimum yang harus dipenuhi untuk melindungi mahluk hidup, kerusakan harta benda, dan melayani keselamatan, keamanan dan kesehatan umum dalam lingkungan pembangunan. Peraturan ini dapat diterapkan baik pada konstruksi bangunan baru maupun yang sedang dibangun kembali, diperbaiki, direhabilitasi atau diganti, atau jika sifat penggunaannya diubah pada posisi baru untuk meningkatkan risiko bencana.
- b) Peraturan bangunan sebaiknya telah mempertimbangkan pula persyaratan desain dan standar kebakaran, angin, banjir dan gempa, yang belum termasuk persyaratan desain bangunan agar dapat menahan gaya-gaya tsunami. Persyaratan ini diberlakukan untuk bangunan (gedung) di kawasan rawan banjir dan rawan bencana tinggi.
- c) Di samping itu, peraturan itu mencakup juga untuk desain struktur gedung dan bangunan yang mengalami banjir pantai khususnya akibat beban hidrostatis, beban hidrodinamik, beban dorong (*impulsive*), beban tanah, dan beban tsunami. Beban-beban tsunami terdiri atas gaya apung (*buoyant*), gaya gelombang (*surge*), gaya tarik atau seret (*drag*), gaya dorong (*impulse*), dan gaya hidrostatis.
- d) Dalam perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, sebaiknya melibatkan tenaga ahli teknik berpengalaman dalam bidangnya, misalnya bidang geologi, geoteknik, hidrologi, struktur, dan arsitek serta keahlian lain yang terkait.

7.4 Proses implementasi strategi desain dan konstruksi bangunan

Berikut ini dijelaskan pertimbangan-pertimbangan yang harus dimasukkan dalam proses implementasi desain bangunan baru atau perbaikan bangunan yang ada di kawasan rawan tsunami.

7.4.1 Mengadopsi/melaksanakan persyaratan khusus terkait dengan pemindahan, relokasi atau *retrofit* bangunan yang ada

- a) Untuk menunjang upaya perbaikan pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami, sebaiknya dilakukan penyesuaian kembali (*retrofit*) bangunan yang ada untuk mencapai sasaran kinerja yang diinginkan oleh pemilik dan masyarakat, dan dapat mengurangi kerusakan bangunan sekitarnya akibat *debris* melayang. Namun, pemindahan bangunan ke lokasi yang kurang berbahaya dan pertimbangan tertentu sebaiknya dikembangkan sebagai suatu teknik pengelolaan risiko tsunami.
- b) Standar untuk memperbaharui bangunan mencakup faktor-faktor yang sama seperti untuk membangun bangunan baru. Namun, biaya pembangunan untuk mencapai sasaran kinerja tertentu akan lebih tinggi setelah konstruksi awal selesai dilaksanakan.

- c) Kerawanan tsunami dari bangunan infrastruktur yang ada biasanya akan membatasi jumlah alternatif dan biaya aktivitas perbaikan bangunan yang dapat menahan beban hidrodinamik dan beban impak. Lihat Gambar 29.



Gambar 29 - Pada muara sungai Columbia, Astoria, Oregon, beberapa teknik mitigasi risiko tsunami yang digunakan untuk pembangunan baru dapat diterapkan pada pembangunan yang ada, tetapi penerapannya akan dibatasi oleh kendala setempat dan kondisi gedung, sumber: *NTHMP 2001*.

- d) Dalam menentukan tingkat kinerja, pemilik seharusnya mempertimbangkan frekuensi dan intensitas bencana tsunami, tingkat kinerja yang diinginkan, dan kerawanan gedung. Jika kinerja bangunan yang diharapkan tidak dapat diperoleh, sebaiknya dipertimbangkan berbagai alternatif perbaikan lainnya.
- e) Cara-cara peningkatan ketahanan bangunan terhadap tsunami perlu dilakukan berkaitan dengan bencana yang sering terjadi. Hal ini mencakup meningkatkan gedung di atas elevasi banjir dasar, memperbaiki fondasi agar dapat menahan gerusan dan erosi, serta membuat angker dan rangka bangunan yang dapat menahan guncangan gempa. Cara-cara ini dapat mengurangi kerusakan tsunami, khususnya untuk tsunami kecil yang secara statistik lebih sering terjadi. Namun, tidak dapat memastikan bahwa bangunan dapat menahan kerusakan akibat bencana tsunami yang lebih besar (Gambar 30).



Gambar 30 - Baut angker. Peralatan untuk menahan guncangan gempa, seperti angker dan bangunan rangka, dapat juga mengurangi kerusakan akibat tsunami, sumber: *NTHMP 2001*.

7.4.2 Modifikasi peraturan dan standar desain

- a) Peraturan, standar dan persyaratan lainnya yang mengatur konstruksi pantai seharusnya dimodifikasi untuk dapat menanggulangi bencana tsunami bagi gedung dan bangunan yang baru. Kebijakan setempat sebaiknya dapat menentukan tujuan dan sasaran

kinerja minimum, dan mengajak pemilik untuk menentukan sasaran kinerja yang lebih tinggi jika diperlukan.

- b) Persyaratan peraturan bangunan seharusnya dapat diberlakukan untuk semua bencana, khususnya gempa yang kemungkinan berpusat di kawasan rawan tsunami setempat. Namun, peraturan dan standar tidak menjamin bangunan akan dapat menahan gaya-gaya tsunami.
- c) Keputusan teknik, analisis khusus setempat, dan konstruksi yang baik merupakan aspek-aspek penting untuk menghasilkan sasaran kinerja yang diinginkan. Tenaga ahli yang berpengalaman dalam bidang teknik pantai dan struktur seharusnya dilibatkan dalam pembahasan tentang desain bangunan infrastruktur penting di kawasan rawan tsunami. Lagi pula, semua pembangunan seharusnya didesain berdasarkan studi bencana tsunami yang ditangani oleh tenaga ahli pantai profesional dan berpengalaman.
- d) Rekomendasi sebaiknya dikoordinasikan dengan teknisi dalam bidang bencana lainnya, karena mereka akan memberikan dasar-dasar perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan bencana dan kinerja yang sama (misalnya di Hawaii, persyaratan tsunami dikaitkan dengan zona banjir yang ditentukan oleh *FEMA* menjadi zona banjir pantai). Persyaratan peraturan bangunan gedung tahan gempa di daerah rawan gempa yang dapat menyebabkan guncangan tanah dasar dan keruntuhan, harus benar-benar dapat dikontrol.

7.4.3 Penerapan informasi kerawanan bencana tsunami setempat

- a) Intensitas dan frekuensi kejadian tsunami sangat bervariasi di sepanjang pesisir pantai di Indonesia. Peta zonasi tsunami Indonesia pada Gambar 15 dapat digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan tinggi rayapan. Gaya-gaya tsunami kuat yang disertai gaya gelombang dapat menggenangi bangunan bertingkat dua dan tiga, menimbulkan aliran dengan kecepatan lebih dari 15 m/s (50 ft/s), membawa *debris* yang beratnya berton-ton, serta menggerus pasir tepi pantai dan merusakkan fondasi.
- b) Untuk kejadian yang sama, tempat-tempat di sekitarnya dan yang elevasinya lebih tinggi hanya mengalami pengaruh pembasahan akibat aliran air yang lambat. Pertimbangan perbedaan bencana diperlukan dalam desain bangunan untuk kondisi kritis, walaupun biasanya cenderung tidak pasti. Yang penting adalah menentukan kerawanan akibat bencana yang relevan dengan desain bangunan.

7.4.4 Pemilihan intensitas kejadian tsunami untuk desain

- a) Walaupun tsunami kecil umumnya hanya menimbulkan sedikit kerusakan, tetapi lebih sering terjadi daripada kejadian tsunami yang lebih kuat. Tsunami yang sangat hebat jarang sekali terjadi dan biasanya tidak diperhitungkan kecuali untuk fasilitas kritis.
- b) Probabilitas kejadian atau interval ulang dapat mencerminkan frekuensi dan intensitas kejadian. Pedoman pemilihan frekuensi dan intensitas kejadian dapat diambil dari cara penanganan bencana lainnya.
- c) Desain bangunan seharusnya dipertimbangkan terhadap tsunami dengan siklus satu kali setiap 500 tahun. Gedung yang penting dan memuat sejumlah besar orang serta sukar untuk evakuasi di kawasan pantai yang dilanda tsunami, seharusnya dipertimbangkan terhadap kejadian tsunami lebih besar yang mungkin terjadi dalam siklus satu kali setiap 2500 tahun. Desain bangunan untuk kejadian tsunami lebih besar dengan interval siklus lebih lama, sebaiknya diperhitungkan terhadap elevasi air yang lebih tinggi dan gaya-gaya yang lebih besar. Tabel 13 memberikan gambaran perioda ulang desain yang dipilih untuk bencana yang berlainan.

7.4.5 Penentuan tingkat kinerja bangunan

- a) Konstruksi bangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami bergantung pada pemanfaatan yang didukung oleh kinerja bangunan selama dan setelah kejadian tsunami, serta kebutuhan pemilik dan masyarakat setempat.
- b) Tingkat kinerja bangunan mencerminkan perkiraan yang terkait dengan kerusakan dan kemampuan bangunan untuk mendukung aktivitas masyarakat setelah kejadian bencana. Jika tingkat kinerja bangunan yang diinginkan dikombinasi dengan probabilitas dan intensitas kejadian serta tingkat keterbatasan yang mungkin dicapai, akan dapat mencerminkan sasaran kerjanya.
- c) Meskipun data kuantitatif secara statistik tidak tersedia untuk menghitung ketahanan struktur terhadap tsunami, namun pertimbangan faktor-faktor ini secara kualitatif akan memberikan informasi yang bermanfaat bagi pemilik bangunan dan tenaga ahli desain.
- d) Bangunan sebaiknya direncanakan dengan mempertimbangkan tujuan atau sasaran berikut ini:
 - 1) melindungi masyarakat umum dari bencana,
 - 2) melindungi keselamatan umum (terhindar dari pencemaran, bahan beracun dan yang dapat terbakar),
 - 3) melindungi pelayanan darurat umum yang penting (kantor polisi, kantor pemadam kebakaran dan pengelola keadaan darurat),
 - 4) melindungi prasarana yang diperlukan untuk perdagangan (jalan akses, utilitas),
 - 5) mencegah degradasi lingkungan hidup (terhindar dari polusi).

Tabel 13 Periode ulang untuk desain

Periode melampaui	Periode ulang (tahun)	Aplikasi desain
50 tahun	475	Digunakan untuk menentukan tingkat guncangan gempa desain untuk konstruksi menurut standar gedung SNI 03-1726-2002 dan standar desain jembatan SNI-03-2833-1992.
100 tahun	1000 – 10.000	Digunakan untuk desain rumah sakit, sekolah dan fasilitas penting di California ¹ . Digunakan untuk bendungan tipe urugan dan tanggul Pd.T-14-2004-A
1 tahun	100	Menentukan banjir dasar sebagai elevasi puncak banjir. Gedung baru dan perbaikan besar pada gedung yang ada harus ditempatkan aman terhadap banjir, dan rumah prefabrikasi ditingkatkan di atas elevasi ini. Di daerah pantai dengan tingkat bencana tinggi ² , gedung hanya dapat dibangun di atas fondasi tiang, pir pancang atau kolom.
	100-500	Suatu daerah bencana banjir sedang yang tercantum pada peta laju jaminan banjir sebagai daerah yang terletak antara batas-batas elevasi banjir dasar dan 500 tahun.
1 tahun	50	Kecepatan angin dasar untuk gedung jika melebihi kecepatan minimum sebesar 70 mph.
1 tahun	00	Suatu faktor penting sebesar 1,15 digunakan untuk meningkatkan gaya dari kecepatan dasar angin.

besar, MCE untuk daerah pantai umumnya mempunyai periode ulang satu kali setiap 1000 tahun.

banjir tinggi, biasanya mempunyai kecepatan air yang besar dan tinggi gelombang yang lebih besar dari 1,00 m. Zona ini dinyatakan dalam peta sebagai zona 4. Daerah tanpa kecepatan tinggi dinyatakan dalam peta sebagai zona 0. Di daerah zona pada tiang dan kolom sehingga: 1) bagian struktur horisontal terendah berada di atas elevasi banjir dasar, 2) seorang ahli perancangan fondasi, dan 3) daerah di bawah (hilir) gedung adalah terbuka atau tertutup dengan menggunakan dinding pemisah.

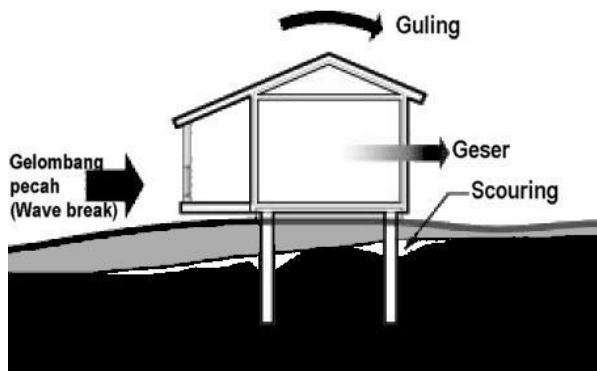
e) Empat tingkatan kinerja yang diusulkan:

- 1) Tingkat minimum, bangunan yang ditempatkan, didesain dan dibangun pada tingkatan ini harus dapat menahan gaya-gaya hidrostatis dan hidrodinamik tanpa memindahkan fondasi atau lokasinya. Bangunan yang mengalami kerusakan hebat akibat banjir, kemungkinan tidak dapat menahan dampak dari *debris*, gaya-gaya gelombang pecah, gerusan atau keruntuhan tanah dasar. Bangunan ini sebaiknya didesain agar memenuhi standar minimum untuk mengantisipasi pengaruh bencana lainnya. Penghuni bangunan ini harus dipersiapkan untuk dapat melakukan evakuasi dan mencari tempat yang aman.
- 2) Tingkat aman, bangunan yang ditempatkan, didesain dan dibangun pada tingkatan ini harus dapat melawan gaya-gaya dari tekanan hidrostatis dan hidrodinamik (dorongan dan tarik) dan *debris* serta dampak gelombang pecah (lihat Tabel 14). Fondasi bangunan seharusnya telah didesain dan diantisipasi terhadap gerusan (*scouring*) dan keadaan jenuh air. Penghuni dipersiapkan untuk dapat melakukan evakuasi secara vertikal ke bagian bangunan di atas elevasi gelombang. Kerusakan luas diperkirakan dapat terjadi pada sebagian bangunan yang dipengaruhi oleh banjir dan gaya-gaya hidrodinamik serta dampak *debris*, tetapi keterpaduan struktural harus dipertahankan dengan baik. Bangunan ini sebaiknya didesain tahan terhadap gempa, pengaruh keruntuhan tanah, dan kebakaran tanpa menimbulkan kerusakan struktural yang berarti. Bergantung pada tinggi dan lokasinya, bangunan ini seharusnya dapat berfungsi sebagai tempat pelarian/berlindung terhadap sumber tsunami terdekat.
- 3) Tingkat hunian kembali, bangunan yang didesain dan dibangun pada tingkatan ini harus dapat menahan gaya-gaya yang sama seperti bangunan yang didesain pada tingkat aman dan tetap dapat dihuni serta berfungsi dengan baik setelah kegiatan pembersihan, perbaikan minimum, dan restorasi (pemugaran) utilitas beberapa minggu kemudian. Untuk memenuhi standar ini sebaiknya diberlakukan larangan lokasi yang lebih ketat dan pemilihan material bangunan yang tahan banjir. Lokasi bangunan dan elevasi lantai yang lebih rendah harus dipertimbangkan secara khusus.
- 4) Tingkat operasional, bangunan yang ditempatkan, didesain dan dibangun pada tingkatan ini harus dapat melawan gaya-gaya yang sama seperti bangunan yang didesain dengan tingkat hunian kembali, tetapi harus mempunyai sistem keadaan darurat (utilitas, dan lain-lain), yang diperlukan untuk mendukung penggunaan bangunan segera setelah terjadi tsunami. Bangunan ini biasanya ditempatkan di luar kawasan rawan tsunami.

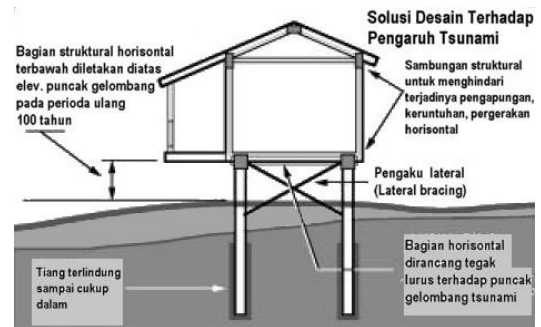
7.5 Prinsip khusus strategi desain dan konstruksi pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami

7.5.1 Strategi 1: Memilih solusi desain pembangunan infrastruktur yang memadai akibat pengaruh tsunami

- a) Desain dan konstruksi bangunan baru dan penyesuaian kembali (*retrofit*) bangunan yang ada, seharusnya dipertimbangkan terhadap gaya-gaya yang terkait dengan tekanan air, tekanan apung (*buoyancy*), aliran air dan tinggi gelombang, dampak *debris*, gerusan (*scouring*) dan kebakaran (Gambar 31 dan 32).
- b) Bangunan beton, masonry dan rangka baja berat yang dibangun secara memadai biasanya akan tetap baik pada waktu mengalami tsunami, kecuali jika disertai dengan guncangan gempa. Bangunan rangka kayu, rumah buatan pabrik, dan bangunan rangka baja ringan pada elevasi lebih rendah di sekitar tepi pantai merupakan bangunan rawan tsunami. Akan tetapi, tidak semua daerah yang dipengaruhi oleh gelombang tsunami akan mengalami gaya-gaya yang merusak.



Gambar 31 - Gaya-gaya pada bangunan akibat tsunami, sumber: NTHMP 2001

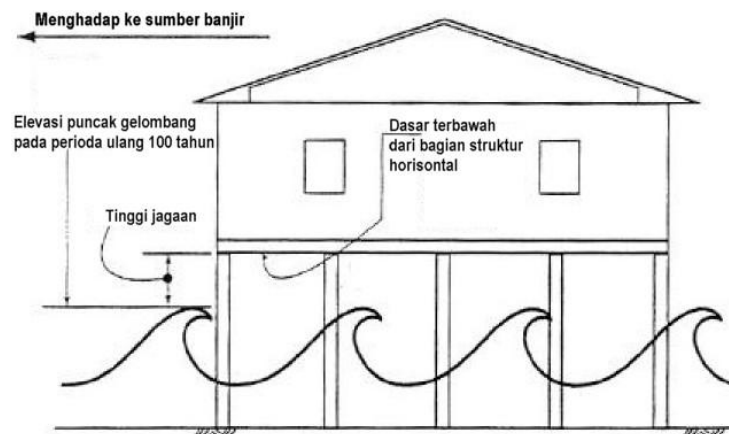


Gambar 32 - Solusi desain untuk pengaruh tsunami, sumber: NTHMP 2001

- c) Bangunan di kawasan rawan bencana rendah yang dipengaruhi oleh kedalaman air gelombang dangkal, seharusnya tetap dapat menahan kerusakan yang dapat diperbaiki jika didesain dan dikonstruksi dengan baik. Gaya aliran dan gelombang pecah, *debris* yang bergerak cepat, dan aliran gerusan kemungkinan akan melebihi kemampuan bangunan untuk menahan bencana, kecuali jika bangunan tersebut didesain dengan elemen dan material secara khusus. Pada Tabel 14 dijelaskan tentang pengaruh tsunami terhadap kemungkinan solusi desain yang memungkinkan.

7.5.2 Strategi 2: Hubungan antara desain dan tenaga ahli dengan bencana lainnya

- a) Pedoman desain teknik dan arsitektur untuk gaya-gaya tsunami telah dimuat dalam manual konstruksi pantai dari FEMA (*FEMA 55*). Pedoman ini memuat beberapa perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan peraturan Honolulu. Pedoman konstruksi pantai sebaiknya mengacu pada beberapa dokumen baru yang berlaku. Referensi dari *Corps of Engineers, Coastal Engineering Technical Notes*, tersedia pada *web site* yang sama. Lihat Gambar 33.
- b) Ketentuan teknik merupakan deskripsi singkat yang mengidentifikasi daerah bermasalah dan memberikan informasi teknik atau data untuk solusi permasalahan. Sebagai contoh, *CETN-III-38* memberikan metode perhitungan gaya-gaya gelombang pada tembok. Ke dua manual dan ketentuan teknik itu memberikan metode dan nilai-nilai yang diperlukan tenaga ahli teknik untuk menentukan tingkatan gaya dan desain bangunan di kawasan rawan tsunami.



Gambar 33 - Persyaratan zona banjir V dalam manual konstruksi pantai, sumber: NTHMP 2001

Bel 14 Dampak tsunami dan solusi desain yang memungkinkan

Dampak

ai dasar
ai bagian bawah
m mekanik, listrik dan komunikasi dan
a material gedung, perlengkapan, dan
an, daftar barang, materi pribadi)
erah yang terpengaruh dengan polusi
ir
ostatik (tekanan pada dinding yang
h perubahan kedalaman air pada sisi
an)
oyancy) atau gaya angkat yang
h pengapungan
ah menyebabkan ketidakstabilan lereng
ngan daya dukung
odinamik (gaya dorong yang disebabkan
l gelombang pada gedung dan gaya tarik
n oleh aliran sekeliling gedung dan gaya-
g dihasilkan)
ing)
odinamik
urugan
erbakar yang terbawa air dan sumber
nition) dalam gedung

Solusi desain

- memilih tempat pada elevasi yang lebih tinggi
- meninggikan gedung di atas elevasi banjir
- jangan menyimpan atau memasang peralatan dan material vital pada lantai dasar yang terletak di bawah elevasi genangan tsunami
- melindungi fasilitas gudang material berbahaya yang harus tetap berada di daerah bencana tsunami
- menempatkan sistem mekanik dan peralatan pada tempat yang lebih tinggi dalam gedung
- menggunakan beton dan baja untuk bagian gedung yang dpt mengalami genangan
- mengevaluasi daya dukung tanah dalam kondisi jenuh.
- menempatkan gedung di atas elevasi banjir
- memasang angker gedung sampai fondasi
- menyediakan bukaan yang memadai untuk mengalirkan air mencapai tinggi yang sama di dalam maupun di luar gedung
- mendesain pengaruh tekanan air statik pada tembok/dinding
- menempatkan gedung di atas elevasi banjir
- memasang angker gedung sampai fondasi
- evaluasi daya dukung dan kuat geser tanah yang menyangga fondasi gedung dan lereng urugan dalam kondisi jenuh
- menghindari kemiringan atau merubah kemiringan lereng yang dapat mengalami ketidakstabilan bila terjadi penurunan air tiba-tiba.
- menempatkan gedung diatas elevasi genangan banjir
- desain untuk gaya air dinamik pada dinding dan elemen gedung
- memasang angker gedung sampai fondasi
- menempatkan gedung
- desain untuk beban impak
- menggunakan tiang dalam atau tembok pangkal (*pier*)
- melindungi terhadap gerusan sekitar fondasi
- desain untuk gaya gelombang pecah
- menempatkan gedung
- desain untuk beban impak
- desain untuk gerusan dan erosi tanah di sekitar fondasi dan tiang pancang
- desain dinding penahan air atau dinding sekat yang kedap air (*bulkheads*) untuk menahan tanah jenuh tanpa air di udik
- melindungi dengan sistem drainase yang memadai
- desain untuk gerusan dan erosi tanah di sekitar fondasi dan tiang pancang
- menggunakan material tahan api
- menempatkan gudang material yang mudah terbakar di luar daerah rawan bencana kuat.

7.5.3 Strategi 3: Inspeksi konstruksi untuk memastikan apakah persyaratan telah terpenuhi

- a) Tsunami merupakan salah satu bahaya hebat berkaitan dengan pembangunan infrastruktur di sepanjang daerah pantai. Komponen kunci dari perlawanan terhadap tsunami, gempa, banjir, kebakaran, erosi dan gaya-gaya berbahaya lainnya adalah: desain memadai yang dapat mewakili sistem struktur menerus dan gabungan, dan konstruksi memadai yang menggunakan material bermutu dan petugas terkait yang profesional.
- b) Kondisi dan tingkatan gaya bergantung pada faktor-faktor umum selama kejadian kerawanan bencana yang berbeda-beda. Persyaratan peraturan untuk bahaya ikutan lainnya akan meningkatkan perlawanan bangunan terhadap tsunami, khususnya di daerah yang tidak mengalami gaya-gaya dampak dan hidrodinamik yang besar. Karena itu, prinsip dasar untuk meningkatkan kinerja bangunan yang kemungkinan akan mengalami tsunami adalah memberlakukan peraturan dan standar bangunan untuk kawasan rawan bencana.

8 Mitigasi bangunan prasarana terhadap bencana tsunami dengan pembangunan kembali dan rencana tata guna lahan dan pembangunan proyek (Prinsip 5)

Tantangan untuk melindungi pembangunan infrastruktur yang ada terhadap kerugian akibat tsunami cukup banyak dan kompleks. Bagi masyarakat pantai pembangunan perlindungan yang ada kemungkinan merupakan satu-satunya opsi mitigasi yang memadai. Akan tetapi, tata guna lahan, bangunan sarana dan prasarana yang berubah-ubah seiring dengan waktu, akan mendukung perlunya pertimbangan hubungan antara perlengkapan perlindungan terhadap kerugian tsunami (dan bencana lainnya), untuk membantu memperkecil kerawanan terhadap masyarakat di masa mendatang.

8.1 Peraturan pembangunan kembali di kawasan rawan tsunami

- a) Upaya pengembangan masyarakat baru dapat dilaksanakan dengan berbagai cara, termasuk menentukan kembali penggunaan lahan yang diizinkan, perubahan standar zonasi, perubahan penggunaan gedung dan hunian, penyesuaian kembali (*retrofitting*) dan rehabilitasi bangunan, dan membangun kembali daerah-daerah untuk memperbaiki kepentingan ekonominya.
- b) Demikian pula dengan pertimbangan-pertimbangan khusus di kawasan rawan tsunami, seperti perlindungan bangunan *land-marks* dan bangunan bersejarah, menciptakan panorama, penyediaan akses baru ke daerah pantai, perbaikan pelayanan, dan akomodasi tempat hunian dan aktivitas perdagangan yang diperlukan.
- c) Jika beberapa teknik mitigasi tsunami yang digunakan dalam pengembangan baru dapat diaplikasikan pada bangunan yang ada, penerapannya hanya akan dibatasi oleh kendala lapangan dan kondisi bangunan setempat.
- d) Proses konstruksi kembali setelah bencana akan memberikan kesempatan untuk menciptakan (memodifikasi) penggunaan lahan, implementasi rencana pembangunan kembali, rehabilitasi bangunan, dan pengosongan lahan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi korban jiwa atau kerugian harta benda di masa mendatang.

8.2 Proses mengurangi kerawanan tsunami dengan pembangunan kembali

8.2.1 Inventarisasi daerah dan properti berisiko

- a) Jika dirasa kurang memadai, perlu dilengkapi dengan inventarisasi bangunan, fasilitas kritis, dan elemen prasarana untuk daerah rawan genangan tsunami (untuk pembahasan lebih rinci lihat Prinsip 1). Secara rinci, inventori harus memperhitungkan jenis struktur bangunan, umur, ukuran dan konfigurasi, material konstruksi, dan pemanfaatannya.
- b) Kondisi gedung dan karakteristik konstruksi perlu diperhitungkan untuk keperluan risiko mitigasi. Kemunduran mutu bangunan yang signifikan akan memerlukan penggantian, walaupun kemungkinan cukup memadai dengan melakukan *retrofit* dan rehabilitasi.

- c) Bangunan-bangunan yang kompleks pada umumnya akan mengalami pengembangan atau modifikasi seiring dengan waktu, sehingga gambar bangunan lama sudah tidak memadai lagi. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan studi teknik untuk menentukan karakteristik aktual bangunan sebelum dilakukan rehabilitasi konstruksi secara khusus atau rencana penyesuaian kembali (*retrofit*).

8.2.2 Evaluasi dan pengkajian ulang rencana dan peraturan untuk pembangunan kembali, retrofit dan rehabilitasi

- a) Secara berkala masyarakat disarankan untuk melakukan pengkajian dan revisi penggunaan lahan yang lebih mendalam, komprehensif, dan pengembangan rencana manajemen. Rencana berkala yang baru diharapkan dapat memberikan pandangan luas, sehingga dapat mengembangkan pembangunan kembali dan kebijaksanaan serta perencanaan baru.
- b) Peraturan bangunan terutama ditujukan untuk konstruksi baru, umumnya tidak untuk renovasi dan *retrofit* secara komprehensif atau rinci. Peraturan bangunan setempat harus diperbaharui dengan memperhitungkan risiko mitigasi berkaitan dengan renovasi gedung. Sebagai tahap awal, peraturan mengenai *retrofitting* bangunan gedung tahan bahaya gempa dapat digunakan juga untuk bahaya tsunami.

8.3 Prinsip khusus strategi pembangunan kembali di kawasan rawan tsunami

Berikut ini akan dijelaskan prinsip-prinsip dari ke lima strategi pembangunan kembali di kawasan rawan tsunami.

- a) Strategi 1: Mengadopsi program khusus dan peraturan pembangunan

Ada berbagai peraturan pembangunan khusus dan program yang dapat digunakan oleh masyarakat setempat untuk mengurangi risiko tsunami, antara lain:

- 1) mendesain ulang dan zonasi ulang lahan di kawasan rawan tsunami untuk pemanfaatan secara konsisten dan risikonya,
- 2) membatasi penambahan pada bangunan yang ada di kawasan rawan tsunami,
- 3) membeli properti dan memindahkan atau memilih kembali lokasi bangunan tertentu di kawasan rawan tsunami.

- b) Strategi 2: Menggunakan strategi pembangunan kembali untuk mengurangi risiko tsunami

Pengembangan kembali akuisisi lahan dan modal dapat digunakan pada lingkup wilayah, untuk menggambarkan kembali bagaimana keadaan penggunaan bangunan prasarana, penyesuaian kembali bangunan-bangunan khusus, atau pemindahannya di kawasan rawan tsunami untuk mengurangi risiko tsunami.

- c) Strategi 3: Menggunakan insentif dan perlengkapan finansial lainnya untuk membantu pencegahan korban jiwa dan kerugian materi

Salah satu kunci sukses pengembangan kembali dan cara-cara pembaharuan lainnya, akan membantu pemilik bangunan untuk mempertahankan biaya rencana perubahan. Ada beberapa insentif yang biasa digunakan untuk membantu kegiatan perbaikan, misalnya pengurangan pajak properti, biaya perizinan dan inspeksi, dan pinjaman lunak. Petugas setempat harus menentukan bagaimana insentif digunakan, termasuk risiko mitigasi sebagai faktor yang harus diperhitungkan.

- d) Strategi 4: Mengadopsi dan menentukan tenaga ahli untuk penyesuaian kembali bangunan yang ada secara khusus

- 1) Penyesuaian kembali (*retrofit*) bangunan yang ada harus dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap tsunami hingga tahap kemampuan kinerja yang diinginkan, atau untuk mengurangi *debris* melayang yang dapat merusak bangunan di sekitarnya. Penyesuaian

kembali mungkin diperlukan untuk semua bangunan di kawasan rawan bencana, atau hanya dilakukan jika ada modifikasi substansi terhadap struktur bangunan yang ada atau perubahan hunian bangunan.

- 2) Kompleksitas yang terkait dengan kekuatan struktur bangunan yang ada memerlukan pengembangan, adopsi, dan implementasi peraturan, standar, dan prosedur secara khusus. Selain itu, ada persyaratan khusus misalnya peraturan pemerintah tentang rehabilitasi bangunan bersejarah, baik yang memenuhi ataupun yang tidak memenuhi persyaratan perlindungan terhadap tsunami. Fleksibilitas diperlukan untuk menentukan apakah teknik mitigasi dapat diterapkan secara efektif pada properti tanpa harus mengadakan penyelidikan rinci tentang karakteristik aslinya.
- 3) Standar pembaharuan bangunan meliputi faktor-faktor yang sama seperti konstruksi bangunan baru. Akan tetapi, pembaharuan yang mengarah pada tujuan kinerja yang ditentukan akan lebih mahal biayanya jika dilaksanakan setelah konstruksi awal selesai. Kerawanan bangunan yang ada sulit dicegah karena adanya keterbatasan jumlah alternatif dan biaya perlengkapan perbaikan untuk menerima beban-beban hidrodinamik dan dampaknya.
- 4) Karena sering terjadi gabungan dengan bencana lainnya, cara-cara untuk meningkatkan ketahanan terhadap tsunami sebaiknya dilakukan melalui studi kelayakan. Studi ini meliputi penentuan elevasi bangunan di atas elevasi banjir dasar, perkuatan fondasi untuk menahan gerusan dan erosi, serta pengangkeran dan rangka (*bracing*) bangunan untuk menahan goncangan gempa. Secara statistik cara-cara ini dapat mengurangi kerusakan tsunami khususnya untuk tsunami kecil, namun tidak dapat memastikan bahwa bangunan mampu menahan gaya-gaya pada saat kejadian tsunami besar.
- e) Strategi 5: Melibatkan tenaga ahli teknik dan arsitek yang profesional dan berpengalaman dalam desain perlengkapan untuk melindungi bangunan yang ada secara efektif. Seperti telah dibahas dalam Prinsip 4, perlu dilibatkan tenaga ahli untuk membantu dalam desain cara-cara mengurangi kerugian secara khusus di masa mendatang. Tenaga ahli ini sangat diperlukan berkaitan dengan cara-cara perbaikan dan peningkatan pembangunan yang ada, karena adanya kompleksitas sesuai dengan pembangunan proyek dan kepercayaan yang besar atas pengalaman dan keputusannya. Perencana dan tenaga ahli teknik yang profesional dalam rehabilitasi dan *retrofit* dapat dikumpulkan melalui asosiasi profesi dan yang berhubungan dengan praktisi setempat.

9 Perencanaan dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi dampak tsunami (Prinsip 6)

9.1 Peraturan desain dan penentuan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis

- a) Bangunan prasarana dan fasilitas kritis sering kali dibangun di daerah pantai yang rawan bencana tsunami. Pelayanan fasilitas ini akan berdampak kepada masyarakat sesuai dengan kinerjanya pada waktu kejadian bencana, sehingga perlu dipertimbangkan sebagai bagian dari upaya pengelolaan risiko tsunami.
- b) Pengelolaan risiko tsunami merupakan tanggung jawab bersama antara pemerintah dan sektor-sektor perorangan. Hubungan antara pemilik bangunan dan pengendali peraturan untuk beberapa bangunan prasarana dan fasilitas kritis di wilayah khusus diatur bersama-sama dengan instansi pemerintah setempat, dan otonomi luas antara investor dan pemilik perusahaan utilitas.
- c) Berikut ini, diuraikan beberapa bangunan prasarana dan fasilitas kritis serta penerbitan yang berkaitan dengan penentuan lokasi, penempatan, desain atau konstruksi bangunan baru serta perlindungan fasilitas yang ada di kawasan rawan bencana tsunami (contoh lihat Gambar 34 dan 35).



a) Kerusakan pada jembatan layang jalan raya 109 negara bagian Washington melewati sungai Copalis dari tsunami tahun 1964. Sumber: *NTHMP* 2001



b) Kapal menghantam jembatan di Banda Aceh (tsunami 26 Desember 2004)

Gambar 34 - Contoh kerusakan pada bangunan prasarana akibat tsunami



Gambar 35 - Perlemahan akibat gelombang melalui jembatan jalan kereta api pada sungai Wailuku di Hilo, Hawaii pada waktu tsunami tahun 1946, sumber: *NTHMP* 2001

- d) Perencanaan bangunan prasarana dan fasilitas kritis di kawasan rawan tsunami seharusnya dipertimbangkan secara hati-hati untuk mendapatkan kinerja bangunan yang baik. Perencanaan bangunan prasarana baru seharusnya dievaluasi sehubungan dengan meningkatnya risiko karena pengaruh pertumbuhan. Sebagai contoh, konstruksi bangunan dan fasilitas baru yang didukung oleh institusi pelayanan baru yang ada di kawasan rawan bencana.
- e) Bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang ada dapat mencerminkan kinerja yang kemungkinan mengganggu dan menimbulkan kesulitan dan membutuhkan biaya perbaikan tinggi, serta tidak praktis untuk melakukan pemindahan lokasi khususnya dalam jangka pendek. Namun, pemahaman dan antisipasi risiko tsunami terhadap fasilitas yang ada, dapat membantu penyusunan strategi jangka panjang antara risiko dan penanggulangannya.

9.2 Proses implementasi dan strategi desain bangunan prasarana dan lokasi fasilitas kritis

Ada empat konsep dasar untuk pembangunan prasarana dan fasilitas kritis. Sebagai dasar konsep tersebut adalah perlu adanya pemahaman bahwa tanggung jawab mitigasi bencana tsunami dapat meluas. Hal ini bergantung pada masyarakatnya, sistem prasarana dan fasilitas kritis yang dimiliki dan dikelola oleh institusi dan pemerintah setempat, wilayah khusus, perusahaan perorangan, organisasi *non-profit*, institusi gabungan dan lainnya.

9.2.1 Konsep 1: Pemahaman tanggung jawab mitigasi tsunami

- 1) Informasi yang akurat berguna untuk membantu pelaksanaan studi risiko tsunami setempat. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan data hasil studi bangunan prasarana dan fasilitas kritis serta identifikasi pihak-pihak yang bertanggung jawab terhadap lokasi, desain, konstruksi, operasi dan pemeliharaan bangunan infrastruktur.
- 2) Pekerjaan ini mencakup hal-hal sebagai berikut:
 - 1) inventori dan pengumpulan data bangunan prasarana dan fasilitas kritis di kawasan rawan bencana,
 - 2) identifikasi organisasi yang bertanggung jawab dan perwakilannya dalam proses mitigasi bencana.

9.2.2 Konsep 2: Pemahaman dan gambaran serta kewaspadaan bencana tsunami untuk bangunan prasarana dan fasilitas berbahaya

- a) Berhubung sifat dan perbedaan kepentingan yang bervariasi dari sistem prasarana dan fasilitas berbahaya, maka harus dilakukan upaya penyusunan tingkat kepentingan relatif bagi masyarakat dan penentuan sasaran kinerja untuk membantu kegiatan mitigasi.
- b) Pekerjaan ini mencakup hal-hal berikut :
 - 1) menentukan perencanaan upaya mitigasi gempa dan tsunami, yang digabungkan dengan bencana kritis setempat, seperti potensi longsor atau keruntuhan tanah,
 - 2) menentukan suatu skala kepentingan relatif untuk membantu upaya mitigasi terpusat (misalnya mencegah kerusakan pada sistem air minum kemungkinan lebih penting daripada mencegah kerusakan pada sistem air limbah),
 - 3) menyusun interval umur layan yang dapat diterima untuk masing-masing bangunan (misalnya rumah sakit umum minimal harus berfungsi dalam satu jam setelah kejadian tsunami, sedangkan jalan utama kemungkinan baru dapat berfungsi untuk dilewati setelah dua minggu).

9.2.3 Konsep 3: Mengadopsi kebijakan manajemen risiko yang komprehensif

- a) Kesulitan yang dialami disebabkan oleh beberapa hal, misalnya penempatan bagian bangunan dan fasilitas baru di kawasan rawan bencana tinggi seharusnya dapat dicegah jika memungkinkan. Karena kegiatan tersebut dapat dilakukan untuk mengurangi kerawanan pada masyarakat dan keterbatasan pelayanan, sehingga tidak menurunkan pertumbuhan di daerah tersebut.
- b) Strategi dasar mencakup hal-hal berikut:
 - 1) mengkaji perencanaan sistem dan fasilitas baru, apakah ada alternatif lain yang dapat digunakan dengan efisiensi yang sama di lokasi, alinyemen dan rute itu,
 - 2) menentukan apakah akan berhasil atau tidak berhasil, jika bangunan dan fasilitas harus berfungsi di kawasan rawan bencana tinggi,
 - 3) jika penempatannya tidak praktis, tentukan mekanisme lain yang memadai untuk mengisolasi daerah kerusakan, misalnya katup tutup-buka, penyimpangan (*detours*) dan lainnya.

9.2.4 Konsep 4: Memberdayakan tenaga ahli teknik pantai, struktur dan arsitek yang profesional dan berpengalaman dalam desain (atau *retrofitting*) bangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami dan pengaruh genangan

- a) Desain dan rekayasa yang efektif akan sangat mengurangi besarnya pengaruh tsunami pada bangunan prasarana dan fasilitas kritis. Masyarakat harus menentukan tenaga ahli desain yang profesional di bidang pantai, kegempaan dan geoteknik dan memberdayakan secara beraturan pada pembangunan infrastruktur di kawasan rawan bencana tinggi (lihat Gambar 36 dan 37).
- b) Masyarakat seharusnya melakukan hal-hal berikut :
 - 1) mengidentifikasi pembangunan infrastruktur yang direncanakan dan melibatkan tenaga ahli yang profesional dan berpengalaman dalam bidangnya,
 - 2) memperhatikan bahwa organisasi yang dipilih telah melibatkan tenaga bantuan khusus sedini mungkin dalam perencanaan pembangunan infrastruktur,
 - 3) menentukan tempat dan jauhnya jarak dari tempat pembangunan dengan sumber tenaga bantuan ahli yang dapat dihubungi jika diperlukan.



Gambar 36 - Sebuah mobil yang terhempas diantara puing-puing akibat tsunami di Banda Aceh, Sumber: (tsunami 26 Desember 2004)



Gambar 37 - Genangan akibat tsunami di saluran stasiun Kodiak Naval akibat tsunami tahun 1964, sumber: NTHMP 2001

9.3 Macam-macam bangunan

Macam-macam bangunan dan pemanfaatannya secara khusus, yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami meliputi fasilitas kritis, fasilitas pelayanan penting, fasilitas berbahaya, bangunan hunian khusus, dan fasilitas yang bergantung pada muka air (lihat Tabel 15 dan 16).

a) Fasilitas kritis

Fasilitas disebut kritis karena huniannya atau fungsinya. Fasilitas ini melayani kepentingan umum yang utama, rumah hunian sejumlah besar orang atau penduduk tertentu, atau yang dapat mengancam masyarakat jika mengalami kerusakan. Fasilitas kritis mencakup fasilitas pelayanan penting, fasilitas berisiko dan bangunan hunian khusus misalnya kegiatan pemerintahan yang penting untuk melanjutkan kehidupan masyarakat, bangunan dengan hunian yang besar, atau bangunan dengan hunian yang tidak dapat melakukan evakuasi segera.

b) Fasilitas pelayanan penting

- 1) Fasilitas pelayanan penting terdiri atas rumah sakit dengan ruang pembedahan dan pelayanan kedokteran darurat, kantor polisi dan kantor pemadam kebakaran, garasi dan tempat berlindung (*shelters*) kendaraan dan pesawat udara, bangunan dan *shelter* di pusat-pusat operasi darurat dan masyarakat serta fasilitas lainnya.
- 2) Hal tersebut diperlukan untuk tanggap darurat, peralatan pembangkit tenaga siap pakai dan tampungan bahan bakar untuk fasilitas penting, tangki atau bangunan lainnya yang memuat rumah atau penyangga air atau material peredam kebakaran atau peralatan yang diperlukan untuk perlindungan fasilitas kritis lainnya.
- 3) Pelayanan bisnis perorangan dapat mempertimbangkan beberapa fasilitas penting, misalnya lokasi-lokasi fasilitas komputer, komunikasi atau basis data yang akan diperlukan untuk keberadaan beberapa perusahaan.

c) Fasilitas berbahaya

- 1) Fasilitas berbahaya mencakup bangunan gedung dan bangunan bukan gedung yang berupa rumah atau penyangga atau memuat bahan beracun keras dan kronik (menahun), bahan peledak atau kimiawi yang mudah terbakar.
- 2) Lepasnya material berbahaya yang tidak terkendali ke udara atau air dapat mencelakakan manusia, mencemari lingkungan hidup dan menimbulkan kebakaran pada lahan dan air.
- 3) Oleh karena itu, fasilitas berbahaya harus aman beserta isinya jika terjadi bencana. Peraturan bangunan yang meliputi persyaratan penggunaan gaya-gaya gempa dan angin harus benar-benar diperhitungkan dalam desain fasilitas berbahaya.

d) Bangunan hunian khusus

- 1) Bangunan hunian khusus terdiri atas sekolah, kursus, gedung hunian besar, gedung dan fasilitas dengan tempat hunian dan pemeliharaan pasien dan orang lanjut usia, penjara dan bangunan, serta peralatan dalam stasiun pembangkit tenaga dan fasilitas utilitas umum lainnya.
- 2) Bangunan hunian khusus harus dapat menahan bencana tanpa membahayakan penghuninya.
- 3) Sistem keselamatan dan keamanan pada bangunan ini harus didesain untuk gaya-gaya sebesar 50 % lebih besar daripada kondisi normal.

e) Fasilitas bangunan pantai (*waterfront*)

- 1) Beberapa fasilitas memerlukan sebuah lokasi pada atau berdekatan dengan air sesuai dengan fungsinya. Secara ekonomis bangunan itu sangat menguntungkan, karena dapat mengambil material atau mendistribusi hasilnya dengan kapal, menggunakan kapasitas air laut atau mendukung rekreasi air dan pemanfaatan perdagangan (misalnya pelabuhan dan fasilitas pelabuhan).

- 2) Beberapa pemanfaatan muka air dan ketergantungannya dapat berupa:
- fasilitas pelayanan penting (misalnya instalasi penjagaan pantai dan tanggap pelimpahan minyak serta fasilitas pembersihan),
 - bangunan hunian khusus (misalnya stasiun pembangkit tenaga nuklir dan bahan bakar fosil),
 - fasilitas berbahaya (misal fasilitas penanganan bahan bakar dan gudang).
- Pada umumnya fasilitas ini tidak bergantung pada lokasi muka air tetapi hanya perlu terlindung/ tertutup (tidak bergantung secara langsung pada manfaat airnya).

Tabel 15 Contoh prasarana dan fasilitas kritis

PRASARANA

Sistem transportasi:

- Jalan, jalan raya, jembatan, tempat parkir dan bangunan, serta sistem pengendali lalu lintas.
- Bantalan jalan dan jalan kereta api (*track*), jembatan, dan kereta api serta tempat penghubung untuk muatan dan penumpang.
- Sistem transit (kereta api, troli, trem, dan kereta motor), fasilitas gudang dan pemeliharaan, sistem sub stasiun pembangkit tenaga, sistem pengendali, jembatan, terowongan dan cerobong.
- Lapangan terbang dan menara pengendali.
- Pelabuhan laut dan sistem pengendali lalu lintas laut, terminal laut, fasilitas bongkar muat, fasilitas gudang (termasuk tangki pertanian), galangan kapal, dan tambatan kapal, tiang, tembok laut, dan bagian atau dinding sekat kedap air di kapal (*bulkheads*).

Sistem utilitas:

- Sistem pembangkit listrik, transmisi, sub stasiun, dan distribusi.
- Sistem produksi gas alam, prosesing, gudang, transmisi, pompa dan distribusi.
- Sistem komunikasi jaringan darat : stasiun penghubung, jaringan utama, dan jaringan data.
- Sistem selular, stasiun penghubung, antena, dan menara.
- Sistem kabel untuk televisi, radio dan data.
- Sistem satelit untuk televisi dan data.
- Sistem air minum: sistem-sistem sumur, sumber-sumber air, tampungan, pompa, serta pengolahan dan distribusi.
- Fasilitas pengumpulan saluran air, utama, pompa, pengolahan dan air terjun (*outfalls*).
- Jaringan pipa yang mengangkut minyak, bahan bakar dan hasil minyak tanah lainnya.
- Fasilitas aliran air permukaan, drainase dan jaringan pipa.

FASILITAS KRITIS

Pelayanan penting:

- Kantor polisi.
- Kantor pemadam kebakaran.
- Rumah sakit dengan ruang-ruang bedah, pemeliharaan mendadak, atau darurat.
- Fasilitas dan peralatan operasi darurat dan komunikasi.
- Garasi dan tempat perlindungan untuk kendaraan dan pesawat darurat.
- Peralatan pembangkit tenaga siap pakai untuk pelayanan penting.
- Tangki atau bangunan lain yang berisi air atau bahan peredam api lainnya atau peralatan yang diperlukan untuk melindungi fasilitas penting, berbahaya atau hunian khusus.
- Stasiun pengawal permanen.

Bangunan hunian khusus:

- Sekolah.
- Universitas dan tempat kursus.
- Pusat pengobatan penduduk dan rumah perawatan dan pemulihan.
- Komunitas pensiunan.
- Bangunan hunian besar.
- Stasiun pembangkit tenaga dan fasilitas utilitas lain yang diperlukan untuk pengoperasian kontinu.

Fasilitas berbahaya:

- Dermaga/galangan bahan bakar dan gudang.
- Gudang bahan bakar nuklir yang boros.
- Fasilitas gudang bahan kimiawi.
- Mobil dan truk tangki kereta api dengan muatan bahan kimiawi.
- Gudang mesiu, dermaga/galangan muatan, dan pelabuhan.

Tabel 16 Penggunaan matrik yang dapat diterima
Pemanfaatan Tingkat kerentanan bencana tsunami¹

Pemanfaatan	Tinggi	Sedang	Rendah
Fasilitas penting	TIDAK ²	TIDAK ²	OK ³
Fasilitas kritis	OK ^{2,3}	OK ^{2,3}	OK ^{2,3}
Bangunan hunian khusus	TIDAK	TIDAK	OK ³
Prasarana di laut	OK ³	OK ³	OK ³
Prasarana terbuka di laut	TIDAK	TIDAK	OK

¹. Dalam desain gedung, untuk penjelasan periksa Prinsip 1

². Hanya jika bergantung pada lokasi muka air.

³. Hanya jika risiko berkurang terhadap perluasan maksimum yang memadai.

9.4 Pertimbangan khusus strategi desain dan lokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis untuk mengurangi risiko tsunami

9.4.1 Proses perencanaan

- a) Sebuah proses perencanaan bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang ada dapat melibatkan perorangan dan institusi serta perusahaan yang bertanggung jawab terhadap bangunan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan pengetahuan tentang bencana alam dan perluasan bencana tsunami, sebab-sebab kerawanan, dan risiko kerusakan sebagai pertimbangan untuk pengelolaan risiko bencana.
- b) Faktor-faktor ini harus digabungkan secara memadai dan dipertimbangkan dalam proses keputusan kebijaksanaan umum, seperti pengkajian lingkungan hidup, tata guna lahan dan perencanaan kependudukan (masyarakat), program pantai, pembagian lahan, pembangunan kembali daerah yang ada, biaya modal, dan peraturan desain dan konstruksi bangunan.
- c) Studi bencana, kerawanan, risiko dan akibat akan membantu pengelola fasilitas untuk memahami pertimbangan masyarakat maupun ancaman terhadap kepentingan milik mereka, yang meliputi:
 - 1) Menentukan kerawanan bencana tsunami dan menjelaskannya dengan intensitas (dampak yang diperkirakan) dan probabilitas kejadian,
 - 2) Mengidentifikasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis di kawasan rawan tsunami dan menguraikan fungsi bangunan yang diperlukan tersebut sebagai informasi penting bagi masyarakat,
 - 3) Menjelaskan mengapa masing-masing fasilitas tidak dapat menahan kerusakan akibat gaya-gaya tsunami,
 - 4) Menentukan sasaran kinerja yang memadai yang diinginkan (misal syarat kerusakan yang dapat diterima untuk intensitas dan probabilitas tsunami yang ditentukan),
 - 5) Untuk bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang baru, penentuan sasaran kinerja yang memadai dan penggunaannya bergantung pada lokasi muka air,
 - 6) Untuk bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang ada, penentuan pertimbangan apakah opsi mitigasi dan gabungan opsi dapat mengurangi risiko, dan apakah risiko tersisa yang akan dapat diterima,
 - 7) Mengadopsi kebijakan untuk mengelola risiko tsunami dan memadukannya ke dalam program pengelolaan pantai, rencana tata guna lahan, rencana biaya modal, program peraturan bangunan, dan prosedur lainnya yang digunakan untuk mengendalikan penggunaan keamanan fasilitas di sekitar tepi pantai,
 - 8) Mempersiapkan dan mengadopsi rencana penanggulangan kerusakan jangka panjang dengan strategi yang mencakup pemindahan lokasi atau jika memungkinkan dapat meningkatkan bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang ada terhadap gaya-gaya tsunami, serta yang memberikan fasilitas berlebihan (*redundant*) dan cara tanggap darurat untuk mengurangi dampak kerusakan bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang berisiko.

9.4.2 Pertimbangan umum

- a) Memberlakukan peraturan bangunan dan zonasi yang berkaitan dengan tsunami dan semua kerawanan bencana lainnya (gempa, kebakaran, angin, genangan banjir, erosi dan gerusan, material berbahaya).
- b) Melakukan studi kemasyarakatan secara luas untuk menentukan kerawanan bencana tsunami dengan intensitas, periode ulang, dan lokasinya.
- c) Fasilitas pelayanan penting harus dapat berfungsi setelah kejadian bencana. Konsep desain ini memerlukan penggunaan gaya gempa dan angin yang mungkin bekerja, dan observasi struktur selama konstruksi fasilitas pelayanan itu. Sebagai contoh: *UBC* menggunakan faktor penting untuk meningkatkan gaya-gaya sebesar 15% sampai 50% melebihi yang dihitung dengan kategori hunian lain, untuk menghasilkan bangunan yang lebih kuat.
- d) Mempersiapkan jika terjadi pengrusakan prasarana dan fasilitas kritis di kawasan rawan tsunami yang tidak dapat dielakkan dan tidak dapat dibangun baru atau disesuaikan kembali (*retrofitted*) untuk menahan gaya-gaya tsunami.
- e) Jika bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang bergantung pada muka air tidak dapat didesain baru atau disesuaikan kembali terhadap tsunami, harus dipertimbangkan biaya yang tinggi dan langkah-langkah yang memadai untuk evakuasi, tanggap darurat, pemulihan, dan pemindahan.
- f) Jenis bangunan prasarana tertentu dapat mempengaruhi perluasan dan intensitas bencana tsunami (seperti gelombang pecah, tembok laut, tanggul jalan).
- g) Menyediakan fasilitas berlebihan (*redundant*) dan prasarana.
- h) Masing-masing program pengelolaan pantai harus memberikan petunjuk untuk memeriksa ulang atau mengadopsi cara-cara yang memadai untuk prasarana yang ada dan yang baru, fasilitas kritis, penggunaan ketergantungan muka air, dan kerawanan bencana tsunami. Perencanaan pembangunan dan persyaratan izin kebijaksanaan dan konsistensi pemerintah setempat harus berhubungan dengan cara-cara penanggulangan secara menyeluruh, serta mempertimbangkan ke tiga strategi pembangunan berikut ini.

9.4.3 Strategi 1: Menentukan lokasi atau desain bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang baru di luar kawasan rawan tsunami

- a) Tidak mengizinkan konstruksi bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang baru dibangun di daerah rawan tsunami atau gagal mengendalikan standar dan peraturan yang berlaku.
- b) Melarang fasilitas kritis yang baru di kawasan rawan bencana tsunami kecuali jika:
 - 1) bangunan bergantung pada muka air,
 - 2) risiko dapat dikurangi melalui cara-cara mitigasi dan perencanaan darurat untuk mencapai perluasan fasilitas yang akan berfungsi seperti yang diinginkan,
 - 3) kebutuhan fasilitas yang berisiko kerusakan berat selama tsunami (misal rumah sakit yang terpencil, kawasan rawan tsunami yang diperlukan di sekitar penduduk untuk kegiatan darurat yang rutin).
- c) Melayani tempat-tempat untuk prasarana dan fasilitas kritis di luar kawasan rawan tsunami atau di kawasan rawan yang dapat dikurangi melalui cara-cara yang memadai.
 - 1) Pada umumnya fasilitas kritis tidak perlu ditempatkan di kawasan rawan bencana tsunami agar dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa fasilitas penting kemungkinan perlu ditempatkan di kawasan rawan bencana tsunami, karena lokasi alternatif tidak dapat melayani kebutuhan masyarakat sehari-hari.
 - 2) Tidak mengizinkan perbaikan prasarana yang kemungkinan dapat mempengaruhi konstruksi fasilitas lainnya yang tidak dapat menahan bencana tsunami.

- 3) Mempertimbangkan dampak prasarana baru pada intensitas dan distribusi bencana. Apakah hal ini dapat mengubah pola drainase, mengurangi potensi genangan atau aliran saluran dengan cara yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap bencana?

(Lihat lampiran D untuk uraian persyaratan dalam status *State of Oregon* yang berkaitan dengan kerawanan bencana tsunami dan bisa memberikan keputusan pemanfaatannya yang masuk akal).

9.4.4 Strategi 2: Melindungi atau merelokasi prasarana dan fasilitas kritis yang ada

Untuk melindungi atau merelokasi bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang ada, perlu dilakukan hal-hal berikut:

- a) memperkuat atau meningkatkan fasilitas yang ada,
- b) memindahkan lokasi bagian bangunan dari fasilitas yang berisiko,
- c) meninggikan fasilitas yang ada di atas elevasi genangan, dan melindunginya terhadap gaya-gaya dampak (tembok atau dinding beton dan kolom bertulang) dan gerusan,
- d) membangun tembok penghalang (*barriers*),
- e) menyediakan fasilitas berlebihan (*redundant*),
- f) memanfaatkan bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang sudah lama ada, jika diperlukan untuk pemindahan lokasi fasilitas atau menggunakan standar desain yang dapat mengizinkan kinerja yang dapat diterima setelah kejadian tsunami,
- g) tidak mengizinkan perluasan atau renovasi fasilitas yang ada di kawasan rawan tsunami bila tidak dapat mengurangi risiko bencana,
- h) mempersiapkan rencana darurat yang berkaitan dengan situasi darurat dan percepatan pemulihan. Lihat Gambar 38.



Gambar 38 - Kebakaran tangki minyak tanah akibat kerusakan tsunami tahun 1964 pada jalan raya 101 dekat Crescent City, California. Sumber: NTHMP 2001

9.4.5 Strategi 3: Rencana untuk keadaan darurat dan perbaikan (*recovery*)

- a) Menyiapkan rencana darurat untuk menanggulangi situasi darurat dan perbaikan yang diperlukan.
- b) Jika bangunan prasarana dan fasilitas kritis yang bergantung muka air tidak dapat didesain baru atau disesuaikan kembali agar dapat menahan gaya-gaya tsunami, maka perencanaan harus memperhitungkan evakuasi, tanggap darurat, *recovery* dan pemindahan fasilitas.
- c) Perlu dipertimbangkan bahwa kejadian tsunami dapat menyebabkan bangunan mengalami benturan *debris* yang menerjang manusia dan bangunan statis.

10 Perencanaan kegiatan evakuasi vertikal (Prinsip 7)

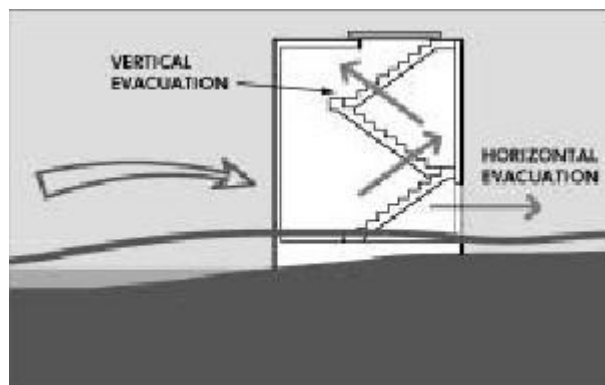
10.1 Pertimbangan umum perbedaan karakteristik bencana

- a) Walaupun jenis-jenis kerusakan yang ditimbulkannya serupa, namun dalam beberapa hal kerusakan bencana tsunami dan angin puting beliung berbeda. Karena angin puting beliung terjadi pada jarak tertentu, dapat diikuti (*tracked*) dengan distribusi peringatan waktu, bahkan jika angin tersebut berubah arahnya. Peringatan selanjutnya memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk mengambil tindakan pencegahan, misalnya melakukan evakuasi ke daerah yang lebih jauh. Badai yang menimbulkan banjir pantai juga dapat diperkirakan, yang bergerak relatif lambat hanya menerjang bangunan pesisir pantai, dan genangannya hanya menimpa bagian bawah bangunan, seperti *basement* dan lantai dasar.
- b) Namun, tsunami dapat terjadi pada jarak jauh atau lokal, dan setiap jenisnya dapat disertai dengan gelombang ganda. Gelombang tsunami ini dapat bergerak sangat cepat (tidak selalu), sangat tinggi (50 ft atau lebih), dan membawa banyak *debris* sebagai alat pemukul atau penghantam (*battering rams*), seperti pohon, bongkah, kerusakan gedung, mobil, kapal kontainer dan kapal laut.
- c) Jika hal itu terjadi, sistem peringatan harus dapat memberitahu publik tentang jarak tsunami jauh, sehingga dapat mempersiapkan mereka dalam beberapa jam untuk melakukan aktivitas perlindungan. Peringatan ini harus dapat memberikan waktu yang cukup, agar mereka dapat menghindari aktivitas kritis dan melakukan evakuasi dari daerah rendah ke lokasi yang lebih tinggi atau lebih jauh. Selain itu, tsunami lokal hampir tidak memberikan waktu peringatan (5 sampai 30 menit), dan kemungkinan disertai dengan guncangan tanah akibat gempa kuat, longsor, dan dampak pantai lainnya.
- d) Masalah yang diakibatkan oleh kerusakan gedung, keruntuhan sistem utilitas, dan tidak berfungsinya sistem transportasi, khususnya terjadi di kawasan rawan keruntuhan tanah dasar, seperti likuifaksi, penyebaran tanah dan pemerosotan tanah atau penggelinciran (*slumping*).
- e) Dengan demikian, pertimbangan desain dan penempatan untuk menanggulangi angin puting beliung dan tsunami lokal maupun tsunami jauh sangat berbeda. Pedoman mitigasi tsunami harus dapat menunjukkan perbedaan yang terkait khususnya dengan tsunami lokal yang disertai dengan dampak gempa lainnya.

10.2 Peraturan evakuasi vertikal

- a) Konsep evakuasi vertikal diperlukan dalam penentuan lokasi dan desain bangunan untuk masyarakat pantai di kawasan rawan tsunami. Konsep ini sama seperti cara tanggap darurat dan persiapan darurat terhadap angin puting beliung. Pertimbangan kelayakannya sama seperti pada waktu pengembangan pulau-pulau penghalang pantai yang kuat, yang biasanya hanya dilayani oleh satu jembatan.
- b) Berdasarkan hasil penyelidikan menunjukkan, bahwa evakuasi vertikal lebih rumit digunakan di kawasan rawan tsunami karena adanya perbedaan karakteristik bencana, misalnya guncangan tanah yang kuat dan potensi keruntuhan tanah, dan implikasinya pada penempatan, desain dan konstruksi. Masalah perencanaan lain yang berkaitan dengan evakuasi vertikal antara lain pengelolaan jumlah hunian, penyediaan keamanan dalam gedung, penggantian kerugian (kompensasi) pemilik gedung, dan pernyataan masalah pertanggung jawaban.
- c) Strategi penyelamatan pertama sebelum gelombang tsunami tiba adalah mengevakuasi manusia dari zona bencana baik secara horisontal ataupun vertikal. Di beberapa daerah, evakuasi vertikal kemungkinan merupakan satu-satunya cara evakuasi untuk bahaya tsunami setempat dengan waktu peringatan yang singkat.
- d) Evakuasi horisontal (misalnya manusia berpindah ke lokasi yang lebih jauh jika terancam tsunami, angin puting beliung atau banjir) merupakan cara yang paling umum digunakan.

- e) Evakuasi vertikal, tidak umum digunakan dan masih merupakan ragam percobaan di beberapa daerah. Untuk membantu mengurangi potensi berdesakan dan keterlambatan karena banyaknya manusia yang berpindah ke tingkat bangunan gedung atas yang relatif tinggi, evakuasi ini harus didesain dan dibangun dengan baik.
- f) Sistem peringatan yang efektif dan informasi umum, pemberitahuan, dan program pelatihan sangat diperlukan untuk keberhasilan cara evakuasi baik vertikal ataupun horisontal (Gambar 39). Selain itu, ke dua cara itu memerlukan identifikasi bangunan yang aman dan berdekatan yang dapat digunakan secepatnya, khususnya untuk bencana tsunami setempat, dan yang pusat evakuasinya didesain dalam rencana darurat setempat untuk tsunami jauh dan tsunami lokal. Sistem peringatan tsunami akan dibahas lebih rinci berikut ini. Dalam hal ini, petugas pelayanan darurat bertanggung jawab terhadap prosedur dan rencana evakuasi umum.



Gambar 39 - Kegiatan evakuasi horisontal dan vertikal, sumber: NTHMP 2001

10.3 Proses implementasi strategi evakuasi vertikal (Konsep dasar)

Kegiatan evakuasi berdasarkan atas empat konsep dasar, yang diperoleh atau dirumuskan dari berbagai sumber hasil penelitian evakuasi akhir-akhir ini, khususnya evakuasi vertikal di kawasan rawan angin puting beliung. Masyarakat yang terancam bahaya tsunami dapat menggunakan cara evakuasi vertikal, khususnya jika tidak ada waktu ataupun jalan lain yang memadai untuk mengungsi dari daerah berbahaya di daratan (evakuasi horisontal).

10.3.1 Konsep 1: Pengertian evakuasi vertikal

- a) Evakuasi vertikal memanfaatkan bangunan bertingkat banyak yang ada sebagai tempat pelarian pengungsi. Proses evakuasi merupakan cara tanggap darurat dan persiapan darurat, sehingga pertimbangan mitigasi yang utama adalah menentukan lokasi, mendesain, dan membangun bangunan yang dapat menahan gaya-gaya tsunami dan gaya gempa tsunami lokal yang diperkirakan.
- b) Cara evakuasi vertikal sebaiknya dilakukan dengan pemahaman berikut ini:
 - 1) bagaimana tsunami dapat mempengaruhi komunitas,
 - 2) sifat persediaan gedung umumnya dan kemampuan untuk menahan gaya-gaya tsunami dan gempa,
 - 3) persyaratan penempatan, desain dan konstruksi yang harus dipenuhi oleh gedung baru yang didesain sebagai tempat berlindung (*shelter*) vertikal,
 - 4) bagaimana rencana darurat lokal yang biasanya memberikan masalah peringatan, pendidikan umum, dan respon pengoperasian.
- c) Mengevakuasi manusia dapat menyelamatkan jiwa dan mengurangi kecelakaan, sehingga tidak menimbulkan kerugian materi dan ekonomi yang berlebihan. Di daerah pantai yang

padat penduduk dan bangunan, jalan, jembatan, dan cara evakuasi horisontal lainnya yang terbatas, atau waktu peringatan yang mungkin tidak cukup, kemungkinan evakuasi vertikal diperlukan sebagai alternatif atau tambahan pada evakuasi horisontal.

- d) Perencanaan tata guna lahan, penempatan, dan desain bangunan yang baik, seperti telah dibahas dalam bab di atas, memberikan kesempatan kepada masyarakat yang mengalami bencana tsunami (minimal sebagian) untuk melakukan evakuasi vertikal.

10.3.2 Konsep 2: Menentukan standar memadai yang berlaku untuk bangunan baru

- a) Pada umumnya membuat desain dan konstruksi bangunan baru yang memenuhi standar yang berlaku lebih mudah daripada memperbaiki bangunan yang ada. Bangunan baru yang didesain dengan bagian yang berfungsi sebagai *shelter* evakuasi vertikal harus mempunyai keterpaduan struktur yang cukup agar dapat menahan gaya-gaya tsunami yang diperkirakan dan guncangan tanah akibat gempa tsunami lokal.
- b) Peraturan bangunan dan standar yang berlaku seharusnya dapat digunakan untuk menentukan besarnya perlawanan tsunami dan gempa untuk bangunan baru. Standar-standar ini harus dapat berlaku melebihi persyaratan keselamatan minimum dari peraturan setempat yang berlaku.
- c) Masyarakat dan pemilik bangunan juga harus mencari informasi teknik tambahan dan menentukan serta melibatkan bantuan tenaga ahli profesional di bidang teknik pantai, geoteknik dan struktur.

10.3.3 Konsep 3: Inventori bangunan-bangunan yang ada

- a) Persiapan bangunan untuk evakuasi vertikal sangat bervariasi berlawanan dengan masyarakatnya. Keadaan akan menjadi kritis jika inventori masyarakat dan perkiraan bangunan-bangunan yang dapat berfungsi sebagai tempat berlindung (*shelter*) pada evakuasi vertikal sulit dilakukan. Hal ini disebabkan karena informasi penting bangunan yang ada, seperti hasil gambar dan perhitungan umumnya tidak tersedia.
- b) Dalam hal ini, tenaga ahli profesional diharapkan dapat memegang peranan dalam evaluasi kapasitas bangunan yang dapat menahan gaya dan guncangan yang diprediksi dan membuat laporan untuk rehabilitasi dan perbaikan yang didesain untuk memperkuat bangunan.
- c) Bergantung pada sifat persiapan bangunan yang ada, beberapa bangunan kemungkinan dapat berfungsi sebagai tempat berlindung manusia untuk waktu yang terbatas. Pada umumnya bangunan tersebut minimal harus berupa bangunan tinggi bertingkat dua, dengan tingkat pertama dibiarkan terbuka untuk genangan. Beberapa bangunan harus diperkuat agar berfungsi sesuai dengan tujuannya.
- d) Untuk menentukan gedung-gedung yang ada dapat diberlakukan sebagai *shelter* evakuasi vertikal diperlukan hal-hal sebagai berikut:
 - 1) melaksanakan survai bangunan-bangunan yang ada sebagai calon *shelter*,
 - 2) bekerja sama dengan pemilik dan pihak lain yang terlibat perbaikan bangunan (jika diperlukan) yang ditentukan sebagai *shelter*,
 - 3) menempatkan atau memberitahukan masyarakat tentang bangunan mana yang ditentukan berfungsi sebagai *shelter* setelah peringatan tsunami atau guncangan tanah yang kuat karena gempa setempat.

10.3.4 Konsep 4: Menentukan rencana darurat dan program informasi untuk evakuasi

- a) Untuk keberhasilan evakuasi vertikal, diperlukan bangunan yang tahan tsunami, cara tanggap darurat, dan persiapan darurat. Yang terpenting adalah petugas evakuasi untuk masyarakat di sekitarnya yang bertanggung jawab atas program perencanaan dan pengelolaan darurat serta pengoperasiannya sesuai dengan rencana evakuasi vertikal.

Selain itu, seharusnya melibatkan pula pemilik bangunan dan pihak terkait lainnya dalam proses penentuan program evakuasi vertikal.

- b) Evakuasi masyarakat dari daerah yang terancam bencana harus dilakukan dengan segera. Rencana darurat setempat dan program persiapan harus meliputi prosedur untuk penerimaan dan penyebaran peringatan dan informasi evakuasi, penyediaan pemindahan orang-orang, dan tempat hunian yang teratur, khususnya untuk pengunjung musiman.
- c) Kegiatan tersebut mencakup:
 - 1) mengkaji ulang secara teratur sifat dan kepadatan penghuni dan pengunjung musiman di daerah rawan genangan,
 - 2) menentukan sistem informasi, peringatan setempat dan pengumuman kepada publik dan memberikan informasi kepada masyarakat secara teratur,
 - 3) menentukan dan menyelesaikan masalah atau peraturan yang sah yang berkaitan dengan pelaksanaan prosedur evakuasi vertikal,
 - 4) mencakup cara-cara evakuasi yang memadai dalam perencanaan operasi darurat setempat, prosedur pemeliharaan pengungsi pasca tsunami/gempa setempat dan evaluasi kerusakannya (Gambar 40).



Gambar 40 - Tanda rute evakuasi tsunami di Crescent City, California, sumber: NTHMP 2001

10.4 Prinsip khusus strategi rencana evakuasi vertikal untuk mengurangi dampak tsunami terhadap manusia

- a) Penggunaan bangunan evakuasi vertikal harus dapat dijamin tidak akan rusak kecuali ada pengembangan, sehingga tidak menjadi ancaman bagi jiwa manusia dan dapat tetap berfungsi sebagai *shelter* darurat yang aman.
- b) Keamanan dan keselamatan jiwa manusia merupakan tujuan utama pemerintah. Untuk bangunan biasa, yang memenuhi peraturan bangunan dan pengendalian yang efektif biasanya diizinkan adanya kerusakan kecil sepanjang tidak menyebabkan korban jiwa dan yang terluka.
- c) Peraturan bangunan biasanya ditujukan hanya untuk bangunan baru atau modifikasi bangunan yang ada. Peraturan, undang-undang atau keputusan pemerintah yang ada sangat sedikit atau hanya berlaku untuk kesulitan rehabilitasi atau perbaikan bangunan yang dihadapi dalam memenuhi peraturan keselamatan jiwa manusia terhadap ancaman bencana yang diperkirakan.
- d) Pemerintah setempat harus mempertimbangkan evakuasi vertikal dalam desain bangunan baru atau rehabilitasi bangunan yang ada, untuk mendukung evakuasi darurat akibat tsunami setempat.
- e) Untuk mendapatkan informasi dari hasil studi bencana dalam menentukan lokasi bangunan yang aman, diperlukan evaluasi penentuan keberhasilan dari dampak tsunami secara langsung dan akibat gempa lokal, misalnya guncangan tanah dasar, likuifaksi dan potensi keruntuhan tanah dasar lainnya. Latar belakang studi lainnya biasanya mengemukakan cara-cara penempatan, desain dan konstruksi bangunan yang memadai untuk membantu keberhasilan bangunan yang ada dan yang akan dibangun.
- f) Bangunan tembok penghalang, pemecah gelombang dan tembok laut terhadap tsunami di pesisir pantai merupakan cara-cara untuk mengurangi dampak tsunami. Di samping itu, bangunan tembok penghalang dan bangunan lainnya di sekitar pantai perlu didesain dan dibangun secara baik agar dapat berfungsi sebagai *shelter* dan lebih mudah dicapai.
- g) Pertanggung jawaban evakuasi harus berada di bawah naungan pemerintah pusat dan pemerintah daerah setempat. Selain itu, diperlukan pengelola darurat setempat sesuai dengan rencana operasi darurat, termasuk pemberian peringatan, komunikasi, pendidikan umum dan program pelatihan yang memadai.

10.4.1 Strategi 1: Identifikasi bangunan-bangunan khusus sebagai *shelter* vertikal

- a) Beberapa bangunan yang ada dapat berfungsi sebagai *shelter* vertikal dan bangunan yang baru dapat ditempatkan, didesain dan dibangun sesuai dengan pemanfaatannya. Petugas perencana bangunan setempat dan tenaga ahli konsultan seharusnya dapat membantu inventori penyediaan bangunan untuk masyarakat, evaluasi kemampuan daya tahan bangunan terhadap tsunami dan gempa, dan menentukan kriteria dan standar rehabilitasi atau konstruksi baru yang menahan gaya-gaya tsunami sehingga dapat berfungsi sebagai *shelter*.
- b) Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan kelayakan bangunan terdiri atas ukuran, jumlah tingkat, kasus, kapasitas dan pelayanan yang tersedia.
- c) Bangunan yang berfungsi sebagai *shelter* harus didesain dapat menahan gaya-gaya tsunami dan gempa serta memenuhi kriteria kependudukan lainnya. Sebagai contoh, jika tinggi gelombang tsunami diperkirakan tidak melebihi satu tingkat kira-kira 3 m (10 ft), desain lantai terbuka dapat digunakan untuk lintasan gelombang dengan dampak seminimal mungkin terhadap bangunan.

10.4.2 Strategi 2: Prosedur dan perjanjian kerja sama dengan pemilik bangunan

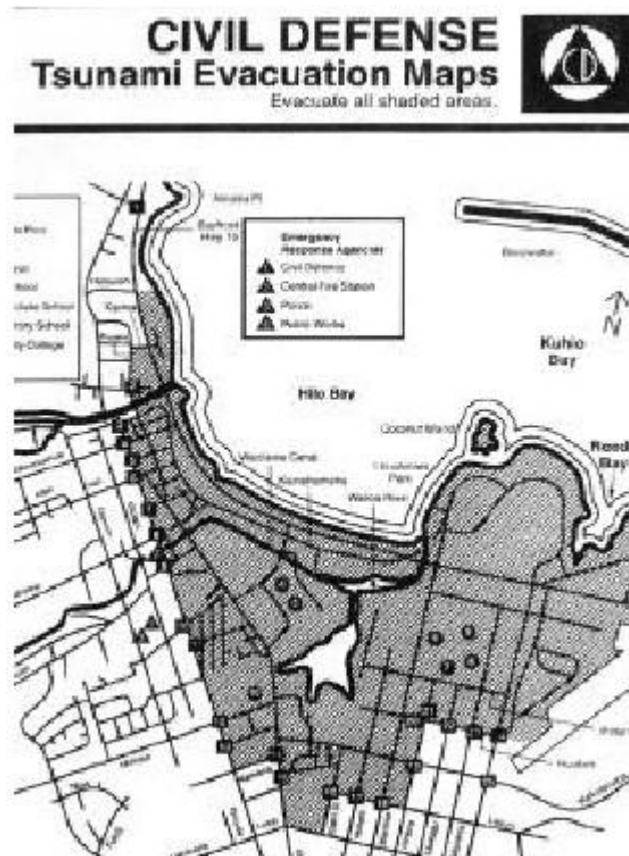
- a) Untuk bangunan yang besar, *shelter* evakuasi vertikal dapat didesain pada bangunan milik perorangan. Oleh karena itu, program pembangunan yang efektif, harus melalui perjanjian yang dimufakatkan dengan pemilik bangunan.
- b) Pemilik atau perwakilannya harus dilibatkan dalam pembuatan, implementasi dan pemeliharaan program.
- c) Program tersebut berbeda-beda di setiap negara karena terkait dengan pemberitahuan, standar pemeliharaan, kompensasi, durasi penduduk, keamanan, dan pertanggung-jawaban yang diperlukan bagi pemilik bangunan.

10.4.3 Strategi 3: Penentuan prosedur penerimaan dan penyebarluasan peringatan

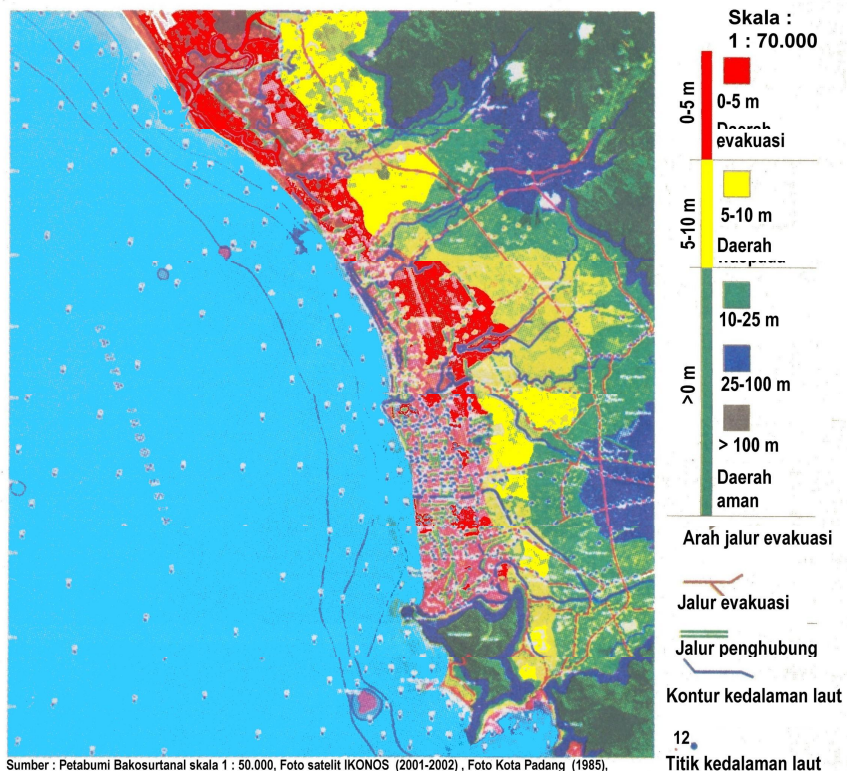
- a) Prosedur dan sistem pemberitahuan dengan peringatan resmi yang tersedia sangat diperlukan bagi masyarakat di kawasan rawan tsunami, sehingga sebaiknya dilakukan pelatihan evakuasi yang memadai, baik untuk tsunami lokal maupun tsunami jarak jauh.
- b) Tsunami lokal akan menyebabkan masalah khusus karena waktu kejadiannya sangat singkat dan evakuasi biasanya tidak mungkin melalui peringatan resmi.
- c) Masyarakat dianjurkan untuk mengikuti pelatihan penerimaan peringatan dan evakuasi khususnya untuk penduduk setempat dan pendatang, jika merasakan adanya guncangan gempa dan tanda-tanda bahaya lainnya. Jika tidak ada peringatan tsunami yang disebarluaskan, masyarakat dapat kembali setelah beberapa waktu berselang (Gambar 41).

10.4.4 Strategi 4: Implementasi program pelaksanaan pendidikan dan informasi secara efektif

- a) Masyarakat dapat menggunakan brosur, instruksi searah (pengumuman), uji sistem peringatan berkala, informasi media elektronik dan cetak, tanda-tanda, dan pelatihan tanggap darurat untuk meyakinkan kesadaran dan perilaku tanggap efektif yang ada.
- b) Beberapa informasi ini seharusnya diadakan pada institusi khusus, seperti sekolah, rumah sakit, dan fasilitas pemeliharaan pemulihan, dan anggota masyarakat yang tidak dapat berbahasa setempat. Karena adanya turis musiman di beberapa lingkup masyarakat pantai, maka sebaiknya informasi diberikan secara khusus kepada para turis.
- c) Kegiatan pendidikan dan informasi perlu dilakukan sesuai dengan kebutuhan masyarakat, apakah secara rutin, menyeluruh, atau langsung kepada masyarakat setempat dan fasilitas yang khusus.



a) Peta rute evakuasi tsunami dari seksi pertahanan sipil Hilo, Hawaii
 Sumber: NTUMD 2001



Sumber : Petabumi Bakosurtanal skala 1 : 50.000, Foto satelit IKONOS (2001-2002) , Foto Kota Padang (1985), Peta Dasar DTRTB (2003) dan Peta Bathimetrik Perbaharuan Dinas Hidro-Oceanografi (1996), serta diterjemahkan oleh Masril Syukur dan Zulfitri Catra (Kompas 5 September 2005, "Andai Padang Dilanda Tsunami")

b) Peta tingkat kerentanan dan rute evakuasi kota Padang. Sumber : Kompas 05/09/2005

Gambar 41 - Contoh peta evakuasi

10.4.5 Strategi 5: Pengelolaan program jangka panjang

- a) Tsunami umumnya jarang terjadi, tetapi dampaknya pada masyarakat pantai sangat dahsyat dan dapat membinasakan. Hal ini merupakan tantangan bagi pengelola prosedur dan program persiapan darurat walaupun ancaman masih jauh.
- b) Cara-cara evakuasi vertikal perlu direncanakan secara terpadu dengan rencana tanggap masyarakat dan perlu dikaji dan diperiksa ulang secara teratur.
- c) Berhubung sangat diperlukan kerja sama yang baik, maka pengkajian pembelajaran ini harus terdiri atas pemilik bangunan dan pihak lain yang terlibat dalam program itu.
- d) Simulasi secara berkala akan merupakan pembelajaran yang sangat berharga, dan informasi yang teratur dan materi pelajaran seharusnya disediakan/ diberikan kepada masyarakat di kawasan rawan tsunami.

10.5 Studi kasus: Program peringatan dini tsunami

- a) Program peringatan tsunami ini tidak langsung berhubungan dengan masalah bangunan untuk evakuasi vertikal, tetapi dapat memberikan informasi tentang latar belakang bantuan (pertolongan). Sebagai contoh *the National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA), National Weather Service, The West Coast and Alaska Tsunami Warning Center (WCATWC)* di Palmer, Alaska, British Columbia, Washington, Oregon dan California.
- b) Tujuan pusat-pusat peringatan tsunami adalah untuk mendeteksi, menempatkan dan menentukan besaran potensi gempa tsunami. Informasi gempa diberikan oleh stasiun kegempaan. Jika lokasi dan besaran gempa memenuhi kriteria kejadian tsunami yang diketahui, sebaiknya peringatan tsunami disebarluaskan untuk mengingatkan bencana tsunami yang mungkin akan terjadi.
- c) Peringatan ini termasuk perkiraan waktu tibanya tsunami pada masyarakat pantai tertentu di daerah geografi tertentu dengan jarak maksimum yang dapat ditempuh dalam beberapa jam. Waktu tsunami dengan tambahan perkiraan waktu tibanya tsunami disebarluaskan ke daerah geografi yang ditentukan oleh jarak tempuh tsunami pada perioda waktu berikutnya.
- d) Buletin informasi, peringatan dan waktu tsunami sebaiknya disebarluaskan kepada petugas darurat dan publik dengan melalui berbagai cara komunikasi (Gambar 42).



Gambar 42 - Logo zona bencana tsunami, sumber: *NTHMP 2001*

Lampiran A
(normatif)
**Ketentuan yang harus dipenuhi di wilayah bencana banjir
dan pembangunan di sekitar fasilitas drainase**

A.1 Kemampuan aplikasi

Secara umum aplikasi pembangunan dapat dikatakan berhasil bila dapat digunakan untuk konstruksi bangunan yang ada dan bangunan baru, relokasi dan perubahan utama, penambahan atau rekonstruksi gedung yang ada di wilayah bencana banjir seperti yang ditentukan pada peta tingkat kerentanan banjir tinggi. Ketentuan yang diuraikan ini juga berlaku untuk pembangunan di sekitar fasilitas drainase di luar wilayah bencana banjir yang berada di daerah aliran banjir atau daerah genangan banjir. Dalam implementasinya, ketentuan ini harus diberlakukan bersama-sama dengan peraturan/ ketentuan lainnya.

A.2 Definisi

Definisi/pengertian yang perlu dipahami adalah mengenai wilayah bencana pantai yang tinggi, elevasi banjir, genangan banjir, wilayah bencana banjir, tanda banjir, aliran banjir, dan ketentuan banjir. Gaya impact merupakan gaya yang disebabkan oleh gaya benturan dari badan air dengan bangunan. Akan tetapi, gaya itu lebih merupakan gaya pendorong sebab berhubungan dengan perubahan momentum.

A.3 Persyaratan tahan banjir di zona tingkat kerentanan tertentu

- a) Secara umum aplikasi izin bangunan untuk gedung tahan banjir harus disertai dengan pernyataan dari tenaga ahli teknik dan arsitek yang profesional dan tersertifikasi sesuai bidangnya. Metode analisis tahan banjir harus memperhitungkan kedalaman banjir, tekanan, kecepatan, gaya impact dan gaya angkat (*uplift*), dan faktor-faktor lainnya berkenaan dengan banjir, termasuk air banjir akibat tsunami di kawasan rawan bencana tinggi.
- b) Persyaratan bangunan tahan banjir di atas ketentuan elevasi banjir. Semua gedung dan bangunan akan tahan banjir bila dibangun pada elevasi tanah di atas ketentuan elevasi banjir atau gedung dibangun di atas struktur yang ditinggikan atau gedung di atas tanggul. Kecuali untuk tanggul khusus yang dilarang di kawasan rawan bencana banjir atau dengan usulan cara lain.
- c) Persyaratan kedap air dari gedung di bawah ketentuan elevasi banjir. Setiap gedung atau bagian gedung, yang tidak digunakan untuk tempat hunian manusia, dan yang diizinkan berada di bawah ketentuan elevasi banjir harus mempunyai ruang bebas di bawah ketentuan elevasi banjir atau didesain dan dikonstruksi sehingga sesuai dengan ketentuan elevasi banjir. Bangunan akan bersifat kedap air bila dilengkapi dengan dinding kedap air dan komponen bangunan yang dapat menahan beban hidrostatis dan hidrodinamik dan pengaruh gaya apung (*buoyancy*) menurut ketentuan banjir. Akan tetapi di kawasan rawan bencana tinggi, setiap kawasan yang dipagari dan dapat digunakan sesuai dengan ketentuan elevasi banjir harus dibangun dengan tembok pemecah gelombang, yang kemungkinan dapat roboh akibat tegangan namun tidak membahayakan bangunan pendukung gedung. Kawasan yang dipagari tembok pemecah gelombang tidak boleh digunakan untuk tempat hunian manusia.

A.4 Metode desain tahan banjir

a) Tanah dataran

Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam membangun bangunan di daerah dataran adalah sebagai berikut:

- 1) Desain fondasi harus memperhitungkan pengaruh kejenuhan tanah fondasi,
- 2) Pengaruh air banjir pada stabilitas lereng dan erosi harus diselidiki,
- 3) Semua batas-batas pelayanan utilitas harus didesain dan dikonstruksi seperti diatur dalam ketentuan alat batu duga dan listrik.

b) Bangunan di atas struktur yang ditinggikan

Jika bangunan harus dibangun dengan lantai terendah ditempatkan di atas elevasi banjir, bangunan dapat didukung oleh struktur berbentuk sistem gabungan kolom seperti kolom, tiang atau tembok. Jarak bersih dari balok pendukung yang diukur tegak lurus pada arah aliran banjir tidak boleh kurang dari 2,4 m (8 ft) dari titik terdekat. Ketinggian bangunan (*stilts*) harus dibuat sepraktis mungkin, padat dan bebas dari tambahan yang tidak perlu yang cenderung akan merintang lintasan *debris* selama banjir. Dinding masif atau kolom berdinding diizinkan jika dimensi balok terpanjang ditentukan sejajar aliran. Ketinggian bangunan harus didesain dapat menahan semua beban kerja sesuai dengan ketentuan banjir. Struktur pengaku (*bracing*) harus stabil secara lateral, sehingga hanya menimbulkan rintangan kecil pada aliran dan potensi terperangkapnya *debris*.

Penyangga fondasi bangunan kaku harus didesain agar dapat menahan semua beban kerja, seperti fondasi dangkal, tiang pancang dan sejenisnya. Dalam desain harus diperhitungkan pengaruh terendahnya tanah dan tambahan beban karena air banjir, dan potensi gerusan permukaan di sekitar bangunan yang ditinggikan, sehingga perlu disediakan cara perlindungannya.

c) Bangunan di atas tanggul

- 1) Bangunan dapat dibangun di atas material urugan, kecuali di wilayah khusus yang melarang tanggul sebagai bangunan penyangga.
- 2) Urugan tidak boleh dibangun bila dapat mempengaruhi kapasitas aliran banjir atau setiap percabangan atau sistem atau fasilitas drainase, serta harus dilaksanakan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

A.5 Persyaratan bangunan

A.5.1 Umum

Semua bangunan dan gedung yang dibangun mengikuti ketentuan yang berlaku dan harus dapat menahan semua beban akan diuraikan dalam ketentuan ini.

A.5.2 Stabilitas

- a) Guling atau longsoran. Semua bangunan yang memenuhi persyaratan dalam ketentuan ini harus didesain dan dilaksanakan agar aman dengan faktor keamanan minimum sebesar 1,50 terhadap keruntuhan karena longsoran atau guling, jika mengalami beban gabungan yang ditentukan.
- b) Pengapungan. Semua bangunan yang dibangun memenuhi persyaratan dalam ketentuan ini harus didesain dan dilaksanakan agar dapat melawan gaya apung akibat air banjir sesuai ketentuan elevasi banjir dengan faktor keamanan sebesar 1,33.

A.5.3 Beban

Berikut ini dijelaskan beban-beban yang harus diperhitungkan dalam desain dan konstruksi gedung dan bangunan agar memenuhi persyaratan dalam ketentuan ini.

- a) Beban hidrostatis.
- b) Beban hidrodinamik.
- c) Beban impak. Anggapan beban terpusat horisontal pada elevasi banjir yang ditentukan atau pada sebarang titik di bawahnya, sama dengan gaya dampak akibat massa seberat 453,59 kg (1000 lbs = 4,45 kN), yang melintas dengan kecepatan air banjir dan bekerja pada permukaan bangunan persegi empat.
- d) Beban tanah. Perhitungan harus sesuai dengan aplikasi teknik yang dapat diterima dengan pertimbangan beban atau tekanan tanah pada bangunan, dan pengaruh air pada tanah. Untuk tanah ekspansif, harus dilakukan desain bangunan dengan pertimbangan khusus.
- e) Tsunami. Desain struktur gedung dan bangunan harus dibuat dengan pertimbangan khusus sehingga dapat menahan gaya-gaya tsunami .

A.5.4 Beban gabungan

Semua beban yang disyaratkan dalam bab ini dan yang terkait dengan banjir yang ditentukan pada sub bab A.5.3 di atas, harus diperhitungkan dalam desain bangunan dan komponen bangunan, tersendiri dan gabungan, dengan cara bahwa pengaruh gabungan akan menghasilkan beban dan tegangan maksimum pada bangunan dan balok-balok. Aplikasi beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa, meliputi:

- a) Gunakan beban mati dengan intensitas penuh,
- b) Gunakan beban hidup dengan intensitas tereduksi untuk desain kolom, tiang, dinding atau tembok, fondasi, rangka batang, balok dan pelat datar. Beban hidup lantai pada atau di bawah elevasi banjir yang ditentukan dan khususnya dalam pelat basement tidak boleh digunakan jika kelalaian hal tersebut dapat menimbulkan beban atau tegangan yang lebih besar pada lantai. Dengan cara yang sama, untuk tangki penampung, kolam dan bangunan serupa lainnya untuk mengisi dan menampung material, yang mungkin penuh atau kosong jika terjadi banjir, maka ke dua kondisi harus diselidiki dengan beban gabungan akibat banjir dari bangunan tampungan yang terisi penuh atau kosong,
- c) Gunakan beban angin dengan intensitas penuh untuk daerah lokasi gedung dan bangunan di atas elevasi banjir yang ditentukan,
- d) Gabungan beban gempa dan beban terkait dengan banjir, tidak perlu diperhitungkan.

A.5.5 Tekanan tanah izin

Dalam kondisi banjir, daya dukung tanah terendam dipengaruhi dan direduksi oleh pengaruh air angkat (*buoyancy*) pada tanah. Untuk fondasi bangunan yang dibahas dalam ketentuan ini, daya dukung tanah harus dievaluasi dengan metode yang berlaku dan sudah dikenal. Tanah ekspansif seharusnya diselidiki dengan pertimbangan khusus. Tanah yang kehilangan semua daya dukung pada waktu jenuh, atau mengalami likuifaksi tidak boleh digunakan untuk penyangga fondasi.

A.5.6 Desain pengaruh air banjir pantai

- a) Bangunan harus didesain untuk menahan pengaruh air banjir pantai akibat tsunami. Elevasi banjir karena tsunami yang diperhitungkan dihasilkan dari kondisi tanpa gelombang pasang surut pada muara sungai tertentu (*bore*), kecuali jika kondisi *bore* yang diperlihatkan pada peta tinggi rayapan tsunami atau dalam studi banjir telah diadopsi dalam perhitungan.
- b) Ruang hunian dalam bangunan harus ditempatkan di atas elevasi banjir yang ditentukan dengan cara penandaan pada tiang, tiang pancang, tembok laut sejajar dengan arah aliran gelombang tsunami yang diperkirakan. Gaya-gaya dan pengaruh air banjir pada bangunan harus diperhitungkan dalam desain.
- c) Tegangan izin (atau faktor beban dalam kondisi tegangan batas atau desain batas) untuk material bangunan harus sama dengan ketentuan bangunan untuk beban angin atau gempa yang digabungkan dengan beban gravitasi, misalnya beban dan tegangan kerja akibat tsunami dalam bentuk yang sama dengan beban gempa.

- d) Bangunan utama harus diangker dengan baik dan dihubungkan dengan sistem bangunan bawah yang ditinggikan untuk menahan semua gaya lateral, dan gaya angkat (*uplift*). Pada konstruksi kayu, tidak boleh digunakan pemakuan (*toenailing*).
- e) Gerusan tanah atau *scouring* di sekitar tiang pancang dan tembok laut harus dilengkapi dalam desain bangunan di wilayah bencana banjir pantai. Jenis fondasi dangkal tidak diperbolehkan kecuali jika tanah penyangga alami terlindungi pada semua sisi terhadap gerusan oleh bangunan pelindung pantai, biasanya dilindungi dengan bagian atau dinding sekat yang kedap air (*bulkhead*). Fondasi dangkal yang diperbolehkan melebihi 100 m dari tepi pantai, sebaiknya ditempatkan pada tanah asli dan minimal 0,6 m di bawah kedalaman gerusan yang diperkirakan, dan tidak melebihi 0,9 m dari gerusan yang bekerja pada bangunan. Perkiraan kedalaman minimum gerusan tanah di bawah elevasi yang ada sebagai persentase kedalaman air (h) pada lokasi itu, diperlihatkan pada Tabel A.1.

Tabel A.1 Perkiraan gerusan minimum (*minimum scouring*)

Jenis tanah	Jarak dari tepi pantai	
	100 m ¹	> 100 m ²
Pasir lepas	80% h	60% h
Pasir padat	50% h	35% h
Lanau lunak	50% h	25% h
Lanau kaku	25% h	15% h
Lempung lunak	25% h	15% h
Lempung kaku	10% h	5% h

¹ Nilai-nilai dapat direduksi dengan 40% jika terdapat bukit pasir atau *berm* lebih tinggi daripada elevasi banjir rencan yang ditentukan untuk melindungi tempat gedung.

² Nilai-nilai dapat direduksi 50% jika seluruh daerah benar-benar datar.

- f) Gaya-gaya yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan agar dapat menahan air banjir meliputi:
 - 1) Gaya apung (*buoyancy*) - gaya angkat (*uplift*) yang disebabkan oleh terendamnya sebagian atau seluruh bangunan,
 - 2) Gaya gelombang yang disebabkan oleh ujung awal gelombang air yang menabrak bangunan,
 - 3) Gaya tarik yang disebabkan oleh kecepatan aliran di sekitar bangunan,
 - 4) Gaya impak yang disebabkan oleh *debris* seperti kayu yang hanyut (*driftwood*), perahu kecil, bagian rumah, dan lain-lain yang dibawa aliran banjir dan membentur bangunan,
 - 5) Gaya hidrostatis yang disebabkan oleh ketidakseimbangan tekanan akibat perbedaan kedalaman air pada sisi yang berlawanan dari bangunan atau bagian bangunan.
- g) Gaya apung (*buoyancy*). Gaya apung pada bangunan atau bagian bangunan yang bersifat sebagian atau seluruhnya tenggelam akan bekerja vertikal melalui pusat massa dengan volume yang dipindahkan, dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$F_B = \bar{n} g V \dots\dots\dots (A.1)$$

dengan:

- F_B : gaya apung yang bekerja vertikal,
- \bar{n} : kerapatan air (2,0 lb-s²/ft⁴ untuk air asin),
- g : percepatan gravitasi (32,2 ft/s²),
- V : volume air yang dipindahkan (ft³).

(Satuan tidak bisa diganti ke dalam satuan SI dikarenakan rumus ini hanya berlaku untuk satuan British, dan apabila diganti akan mengubah struktur rumus)

h) Gaya gelombang (*surge*).

Gaya total per satuan lebar pada tembok vertikal akan mengalami gelombang dari ujung awal tsunami yang bergerak mendekati dan bekerja pada jarak h di atas dasar tembok. (Catatan: persamaan ini berlaku untuk tembok dengan tinggi sama atau lebih besar dari $3h$. Tembok yang tingginya kurang dari $3h$, memerlukan gaya gelombang yang dihitung dengan menggunakan persamaan gabungan antara gaya hidrostatis dan gaya tarik untuk situasi tertentu).

$$F_s = 4,5 \bar{n} g h^2 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

dengan:

- F_s : gaya total per satuan lebar dinding,
- \bar{n} : kerapatan air ($2,0 \text{ lb-s}^2/\text{ft}^4$ untuk air asin),
- g : percepatan gravitasi ($32,2 \text{ ft/s}^2$),
- h : tinggi gelombang (ft).

i) Gaya tarik atau seret.

$$F_D = \frac{1}{2} (\bar{n} C_D S u^2) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

dengan:

- F_D : gaya tarik atau seret total (lbs) yang bekerja di arah aliran,
- \bar{n} : kerapatan air ($2,0 \text{ lb-s}^2/\text{ft}^4$ untuk air asin),
- C_D : koefisien tarik (tidak berdimensi) ($1,0$ untuk tiang bulat, $2,0$ untuk tiang empat persegi, $1,5$ untuk potongan tembok),
- S : luas proyeksi dari badan air normal pada arah aliran (ft^2),
- u : kecepatan aliran relatif pada badan air (ft/s) (diperkirakan sama dengan besaran kedalaman air (ft) pada bangunan).

Aliran dianggap seragam, sehingga gaya resultante akan bekerja pada pusat luar proyeksi yang terendam aliran air.

j) Gaya impact.

$$F_i = m (\ddot{U} U_b / \ddot{A} t) \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

dengan:

- F_i : gaya impact (lb),
- m : massa air yang dipindahkan oleh badan yang memantulkan bangunan (*slugs*),
- $\ddot{U} / \ddot{A} t$: percepatan (perlambatan) dari badan air (ft/s^2),
- U_b : kecepatan badan air (ft/s) (diestimasi sama dengan besaran kedalaman air dalam ft pada bangunan),
- t : waktu (s).

Beban terpusat tunggal ini bekerja secara horisontal pada elevasi banjir yang ditentukan atau pada sebarang titik di bawahnya. Besarnya sama dengan gaya impact yang dihasilkan oleh berat *debris* 1000 lbs, yang melintas dengan kecepatan air banjir dan bekerja pada permukaan 1 ft^2 dari material bangunan yang mengalami impact. Gaya impact diterapkan pada material bangunan paling kritis pada suatu lokasi tertentu. Dengan anggapan kecepatan badan air bergerak dari U_b ke nol melalui beberapa interval kecil waktu hingga ($\ddot{A} t$), maka dapat dibuat pendekatan sebagai berikut: $F_i = 31 U / \ddot{A} t$.

Untuk material bangunan konstruksi kayu, interval waktu yang memungkinkan terjadinya impact (Δt) diasumsi 1 detik. Untuk material bangunan konstruksi beton bertulang, digunakan $\Delta t = 0,1$ detik dan untuk material bangunan konstruksi baja, digunakan $\Delta t = 0,5$ detik.

k) Gaya hidrostatis.

$$F_H = \frac{1}{2} \times \bar{n} \times g \left[h + \left(\frac{u_p^2}{2g} \right) \right]^2 \dots\dots\dots (A.5)$$

dengan:

F_H : gaya hidrostatis (lb/ft) pada tembok/dinding, per satuan lebar dinding,

\bar{n} : kerapatan air (2,0 lb-s²/ft⁴ untuk air asin),

g : percepatan gravitasi (32,2 ft/s²),

h : kedalaman air (ft),

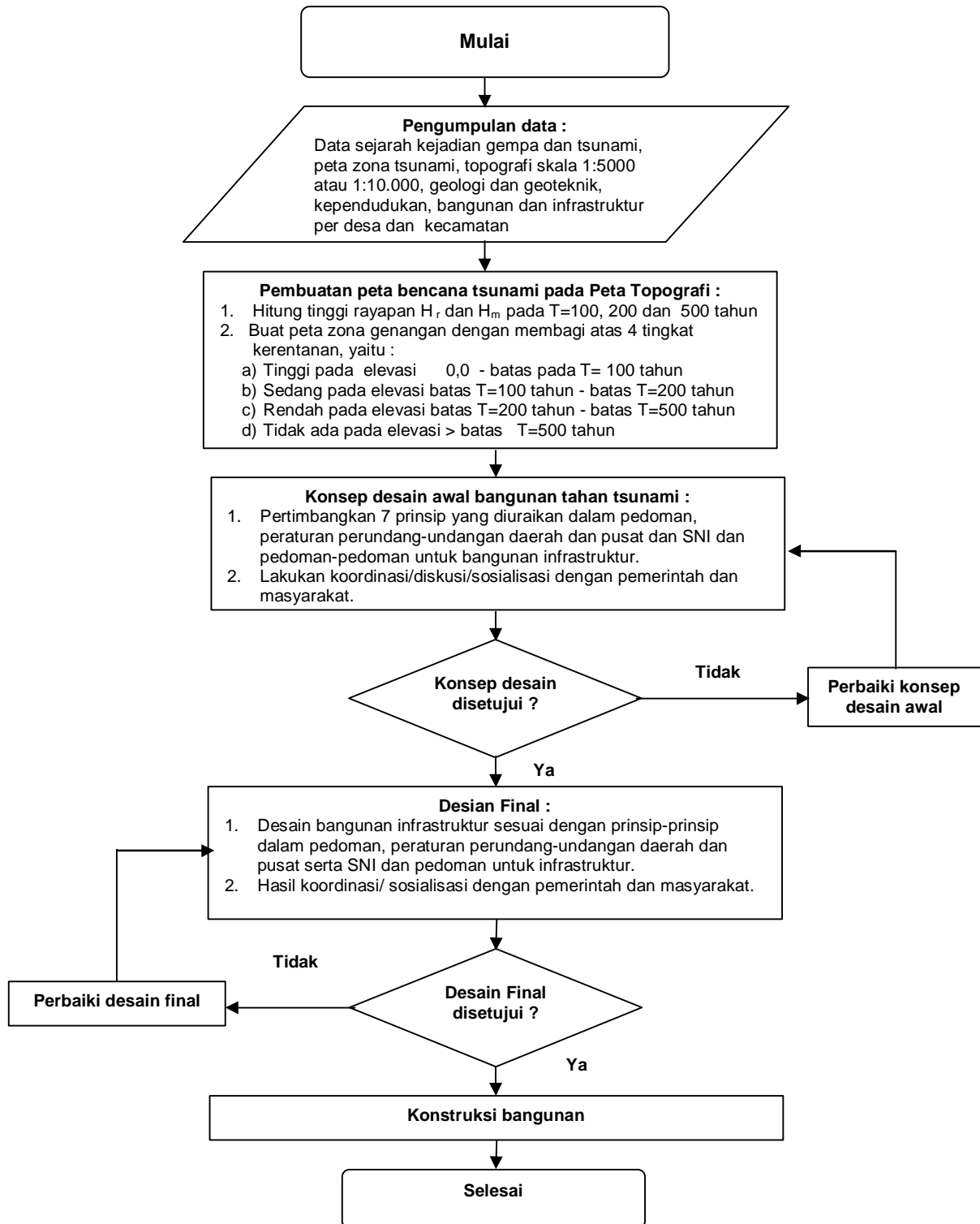
u_p : komponen kecepatan aliran banjir tegak lurus dinding (ft/s) (kecepatan total, u , diestimasi sama dengan besaran kedalaman air (ft) pada bangunan).

Gaya resultante akan bekerja horisontal pada jarak sebesar: $\frac{1}{3} \times \left[h + \left(\frac{u_p^2}{2g} \right) \right]^2$ di atas dasar tembok atau dinding.

*) Referensi dibuat pada 31 Januari 1980, laporan *Dames & Moore* yang berjudul "*Design and Construction Standards for Residential Construction in Tsunami-Prone Areas in Hawaii*".

(Satuan tidak bisa diganti ke dalam satuan SI dikarenakan rumus ini hanya berlaku untuk satuan British, dan apabila diganti akan mengubah struktur rumus)

Lampiran B
(normatif)
Bagan alir perencanaan umum pembangunan infrastruktur di kawasan rawan tsunami



Lampiran C
(informatif)
Lain-lain

C.1 Daftar gambar

- Gambar 1 Kejadian gempa bumi di dunia. Sumber: <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 2 Tsunami merupakan suatu rangkaian gelombang yang dalam dan panjang akibat perpindahan sejumlah besar air secara tiba-tiba. Sumber: <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 3 Ketika gelombang tsunami mendekati pantai, kecepatannya menjadi lambat dan secara dramatis tingginya meningkat.
Sumber: (<http://www.shoa.cl/oceano/itc/frontpage.html>)
- Gambar 4 Potongan melintang batas rayapan tsunami.
Sumber : (<http://www.shoa.cl/oceano/itc/frontpage.html>)
- Gambar 5 Hubungan antara magnitudo gempa non tsunami dan gempa tsunami dengan *slip* rata-rata. Sumber : <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 6 Pengaruh kedalaman bidang runtuh patahan B terhadap tinggi tsunami.
Sumber : <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 7 Pengaruh kedalaman bidang runtuh patahan C terhadap tinggi tsunami.
Sumber : <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 8 Contoh sesar miring. Sumber : <http://www.usgs.gov/>
- Gambar 9 Gempa tsunami dari basis data NOAA (2005).
- Gambar 10 Lokasi wilayah tsunami di Indonesia (Direktorat Geologi)
- Gambar 11 Tinggi rayapan tsunami terukur dan verifikasi dengan persamaan Abe (1993) pada tsunami Flores tanggal 12 Desember 1992.
- Gambar 12 Tinggi rayapan tsunami terukur pada tsunami Banyuwangi tanggal 2 Juni 1994 dan diverifikasi dengan rumus Abe (1993)
- Gambar 13 Letak stasiun pencatat tinggi gelombang di Samudera Hindia
- Gambar 14 Peta Banda Aceh lengkap dengan koordinat untuk tinggi rayapan terukur pada Tabel 13
- Gambar 15 Peta zona tsunami Indonesia untuk penentuan tinggi rayapan
- Gambar 16 Pemandangan dari udara kerusakan akibat gempa dan tsunami 26 Desember 2004 di Banda Aceh, memperlihatkan genangan banjir sampai mencapai $\pm 3,30$ km dari garis pantai. Pembangunan di daerah pantai dapat bertentangan dengan sasaran keamanan. Sumber: *Quickbird Imagery* 28 Desember 2004.
- Gambar 17 Erosi sepanjang pantai Banda Aceh. Mitigasi untuk kondisi berbahaya lainnya seperti kerawanan erosi, banjir, topan, dan gempa dapat membantu dalam mitigasi risiko tsunami. Sumber: *Quickbird Imagery* 28 Desember 2004
- Gambar 18 Tempat parkir di Hilo, Hawaii, dengan penghalang pantai. Penggunaan kawasan terbuka seperti tempat parkir dapat menjaga agar pembangunan di kawasan rawan bencana dilakukan seminimum mungkin. Sumber: *NTHMP* 2001.
- Gambar 19 Penggunaan persil besar di zona rawan bencana tinggi dapat membatasi tingkat kepadatan hunian rendah. Sumber: *NTHMP* 2001.
- Gambar 20 Pembangunan di daerah berisiko rendah dapat dilakukan secara persil berkelompok. Sumber: *NTHMP* 2001.
- Gambar 21 Cara pencegahan. Sumber: *NTHMP* 2001
- Gambar 22 Cara memperlambat. Sumber: *NTHMP* 2001
- Gambar 23 Cara pengendalian. Sumber: *NTHMP* 2001
- Gambar 24 Cara merintang. Sumber: *NTHMP* 2001
- Gambar 25 Bangunan restoran di Hilo, Hawaii. Bangunan tingkat bawah didesain untuk

- memperbolehkan gelombang melewatinya. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 26 Contoh kerusakan gedung akibat tsunami:
 a) Kerusakan gedung di Hilo, Hawaii karena tsunami tahun 1946. Sumber: *NTHMP 2001*.
 b) Pabrik semen di Loknga yang hancur akibat tsunami Aceh 26 Desember 2004.
- Gambar 27 Penampang melalui daerah pedesaan yang lebih rendah dari rencana pembangunan pedesaan Hilo. Sumber : *NTHMP 2001*.
- Gambar 28 Kerusakan gedung di Hilo, Hawaii karena tsunami 1960. Meskipun tersedia material dan teknik rekayasa yang dapat diterapkan untuk menahan gaya-gaya tsunami dan genangan, dalam kasus tsunami yang hebat, hal tersebut hanya mengurangi kerugian tetapi tidak dapat mencegah kerusakan yang hebat. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 29 Gambar 28 Pada muara sungai Columbia, Astoria, Oregon. Beberapa teknik mitigasi risiko tsunami yang digunakan untuk pembangunan baru dapat diterapkan pada pembangunan yang ada, tetapi penerapannya akan dibatasi oleh kendala setempat dan kondisi gedung. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 30 Gambar 29 Baut angker. Peralatan untuk menahan guncangan gempa, seperti angker dan bangunan rangka, dapat juga mengurangi kerusakan akibat tsunami. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 31 Gaya-gaya pada bangunan akibat tsunami. Sumber: *NTHMP 2001*
- Gambar 32 Solusi desain untuk pengaruh tsunami. Sumber: *NTHMP 2001*
- Gambar 33 Persyaratan zona banjir V dalam manual konstruksi pantai. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 34 Contoh kerusakan pada bangunan prasarana akibat tsunami :
 a) Kerusakan pada jembatan layang jalan raya 109 negara bagian Washington melewati sungai Copalis dari tsunami tahun 1964. Sumber: *NTHMP 2001*.
 b) Kapal menghantam jembatan di Banda Aceh (tsunami 26 Desember 2004).
- Gambar 35 Perlemahan akibat gelombang melalui jembatan jalan kereta api pada sungai Wailuku di Hilo, Hawaii pada waktu tsunami tahun 1946. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 36 Sebuah kapal yang terhempas sejauh 400 ft ke tepi pantai akibat tsunami tahun 1946 di Hilo, Hawaii. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 37 Genangan akibat tsunami di saluran stasiun Kodiak Naval akibat tsunami tahun 1964. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 38 Kebakaran tangki minyak tanah akibat kerusakan tsunami tahun 1964 pada jalan raya 101 dekat Crescent City, California. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 39 Kegiatan evakuasi horisontal dan vertikal. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 40 Tanda rute evakuasi tsunami di Crescent City, California. Sumber: *NTHMP 2001*.
- Gambar 41 Contoh peta evakuasi
 a) Peta rute evakuasi tsunami dari seksi pertahanan sipil Hilo, Hawaii. Sumber: *NTHMP 2001*.
 b) Peta tingkat kerentanan dan rute evakuasi kota Padang. Sumber: Kompas 05/09/2005.
- Gambar 42 Logo zona bencana tsunami. Sumber: *NTHMP 2001*.

C.2 Daftar tabel

Tabel 1	Hubungan antara intensitas, tinggi rayapan dan potensi kerusakan. (http://www.pmel.noaa.gov).
Tabel 2	Skala intensitas Soloviev (1978)
Tabel 3	Konstanta-konstanta a_1 dan b_1 hasil analisis statistik dengan metoda Gutenberg Richter
Tabel 4	Tinggi rayapamn tercatat pada beberapa lokasi yang berjarak akibat gempa Aceh 26 Desember 2004
Tabel 5	Tinggi rayapan terukur pada koordinat-koordinat di Banda Aceh
Tabel 6	Indeks risiko bencana gempa (Davidson, 1997) (<i>Earthquake Disaster Risk Index</i>)
Tabel 7	Koefisien zona tsunami
Tabel 8	Tinggi rayapan dasar pada berbagai perioda ulang
Tabel 9	Perhitungan tinggi rayapan untuk kota Banda Aceh
Tabel 10	Batas-batas zona tingkat risiko peta bencana tsunami kota Banda Aceh
Tabel 11	Klasifikasi beban sampah yang dipengaruhi kondisi aliran dan genangan
Tabel 12	Ikhtisar metode mitigasi untuk jenis-jenis pembangunan terpilih (Sumber: <i>NTHMP 2001, background paper</i>)
Tabel 13	Perioda ulang untuk desain
Tabel 14	Dampak tsunami dan solusi desain yang memungkinkan
Tabel 15	Contoh prasarana dan fasilitas kritis
Tabel 16	Penggunaan matrik yang dapat diterima
Tabel A.1	Perkiraan gerusan minimum (<i>minimum scouring</i>)

Bibliografi

Abe, K., "Estimate of tsunami run-up heights from earthquake magnitudes", in *Tsunami : Progress and warning*, Editors Tsuchiya, Y. And Shuto, N., Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, London 1995.

Alexander D., 1993, "Natural disasters", UCL Press, London, 632p.

American Farmland Trust, "Saving the Farm : A Handbook the Conserving Agricultural", San Francisco: American Farmland Trust, January 1990.

American Society of Civil Engineers, Task Committee Seismic Evaluation on Design Petrochemical Facilities on the Petrochemical Committee of the Energy Division of ASCE., "Guidelines of Seismic Evaluation and Design of Petrochemical Facilities", New York : ASCE 1997.

Berke, Philip R., "Hurricane Vertical Shelter Policy : The Experience of Two States", *Coastal Management* 17, (3) (1989) : 193-217.

Bernard, E.N., R.R. Behn., et all., "On Mitigating Rapid Onset Natural Disasters: Project THRUST", *EOS Transaction*, American Geophysical Union, (June 14, 1998) : 649-659

Bernard, C N., "Program Aims to Reduce Impact of Tsunamis on Pacific States", *EOS Transactions*, American Geophysical Union Vol. 79 (June 2, 1998), 258 – 263.

Boyce, Jon A., "Tsunami Hazard Mitigation : The Alaskan Experience Since 1964", Master of Arts thesis, Department of Geography, University of Washington, 1985.

California Department of Real Estate, "A Real Estate Guide", Sacramento, 1997.

Camfield, Frederick G., "Tsunami Engineering", United States Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, Special Report No. SR-6 (February 1980).

Center of Excellence for Sustainable Development (<http://www.sustainable.doe.gov>).

Community Planning Program, Municipal and Regional Assistance Division, Department of Community and Economic Development, State of Alaska. (<http://www.dced.state.ak.us/Mradplan.htm>).

Dames & Moore, "Design and Constructio Standards for Residential Construction in Tsunami-Prone Areas in Hawaii", 31 Januari 1980.

Dep. Kimpraswil, 2003, "Tata cara pengklasifikasian jenis penggunaan bangunan berdasarkan peringkat ancaman bahaya kebakaran", RSNI-T-11-2002, Kep. Men. Kimpraswil No. 11/KPTS/M/2003 Jakarta, tanggal 24 Januari 2003.

Dep. Kimpraswil, 2003, "Metode analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan", RSNI M-03-2002, Kep. Men. Kimpraswil No. 11/KPTS/M/2003 Jakarta, tanggal 24 Januari 2003.

Dep. Kimpraswil, 2003, "Analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat gempa bumi", Pd.T-14-2004-A, Kep. Men. Kimpraswil No. 260/KPTS/M/2004 Jakarta, tanggal 10 Mei 2004.

Dep. Kimpraswil, 2003, "Tata cara perencanaan rumah sederhana tahan gempa", Pd.T-02-2000-C, Kep. Men. Kimpraswil No. 260/KPTS/M/2004 Jakarta, tanggal 10 Mei 2004.

Dep. Kimpraswil, 2003, "Tata cara perbaikan kerusakan bangunan perumahan rakyat akibat gempa bumi", Pd.T-04-2000-C, Kep. Men. Kimpraswil No. 260/KPTS/M/2004 Jakarta, tanggal 10 Mei 2004.

Department of Community, Trade, and Economic Development, State of Washington (<http://www.cted.wa.gov>.)

- Department of Land Conservation and Development (DLCD), State of Oregon (<http://www.lcd.state.or.us>)
- Dudley, Walter C., "*Tsunamis in Hawaii*", Hilo, HI: Pacific Tsunami Museum, 1999.
- Dudley, Walter C. and Min Lee., "*Tsunami*" Honolulu University Hawai'i Press, 1998.
- Earthquake Engineering Research Report Institute, "*Reconnaissance Report on the Papua New Guinea Tsunami of July, 1998*", EERI Special Earthquake Report (1998).
- Federal Emergency Management Agency (Fema) (<http://www.fema.gov/>).
- Federal Emergency Management Agency, "*Coastal Engineering – Principles and Practices of Planning, Siting, Designing, Constructing, and Maintaining Residential Buildings in Coastal Areas*", 3rd edition, 3 Vol. (Fema) Washington D.C. : Fema 2000.
- Federal Emergency Management, "*Multi Hazard Identification and Risk Assess : A Cornerstone of the National Mitigation Survey*", Washington D.C. : Fema 1997 .
- Foster , Harold D., "*Disaster Planning : The Preservation of Life and Property*", Springer-Verlag New York, Inc., 1980.
- Governor's Office of Planning and Research, State of California, "*General Plan Guidelines*", 1998 ed. Sacramento, 1998.
- Hawaii Coastal Zone Management Program, Office of Planning, Department of Business, Economic Development and Tourism, State of Hawaii (<http://www.state.hi.us/dbedt/czm/index.html>) .
- Honolulu, City and County of : "*Revised Ordinances of the City and County of Honolulu, Article 11. Regulations Within Flood Hazard Districts and Developments Adjacent to Drainage Facilities*" (<http://www.co.honolulu.hi.us/refs/roh/16a11.htm>).
- Ida, K., 1963, "*Magnitude, energy and generation mechanisms of tsunamis and a catalogue of earthquakes associated with tsunamis*", International Union of Geodesy and Geophysics Monograph, vol 24, 7-17.
- Institute for Business and Home Safety, "*Summary of State Land Use Planning Laws*", Tampa, April ,1998.
- International Conference of Building Officials, 1998, "*California Building Code (1997 Uniform Building Code)*", Whittier, 1997.
- International Tsunami Information Center (ITC), "*Tsunami glossary*", (<http://www.shoa.cl/oceano/itc/frontpage.html>).
- Kawata, Y., Tsuji, Y., Syamsuddin, A.R., M., Sunaryo, Matsuyama, M., Matsutomi, H., Imamura, F. and Takashi, T., "*Response of residents at the moment of tsunamis – The 1992 Flores Island earthquake tsunamis, Indonesia*", in *Tsunami : Progress and warning*, Editors Tsuchiya, Y. And Shuto, N., Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, London 1995.
- Kodiak Island Borough (<http://www.kob.co.kodiak.ak.us/>).
- Lindell, Michael K. and Ronald W. Perry, "*Behavioral Foundations of Community Emergency Planning*", Washington, DC : International Building Publications, 1992.
- McCarthy, Richard J., E.N Bernard, and M. R. Legg, "*The Cape Mendocino Earthquake : A Local Tsunami Wakeup Call ?*", Coastal Zone '93, Proceedings, 8th Symposium on Coastal and Ocean Management, New Orleans, July 19, 1993.
- Miletti , Dennis S., "*Disasters by Design : Reassessment of Natural Hazards in the United States*", Washington, DC : Joseph Henry Press, 1999.

Najoan, Th.F., "*Peta zonasi gempa dan tsunami sebagai acuan dasar perencanaan bangunan*", Prosiding Diskusi Mitigasi Pasca Bencana Alam Gempa Bumi & Tsunami, Bandung 18 Januari 2005, Universitas Katolik Parahyangan, ISBN 979-99212-01.

National Academy of Sciences, "*Earthquake Engineering Research – 1982*", Washington, DC: National Academy Press, 1982.

National Coastal Zone Management Program, Office of Ocean and Coastal Resource Management, National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://www.wave.nos.noaa.gov/programs/ocrm.html>)

National Tsunami Hazard Mitigation Program (NOAA, USGS, FEMA, NSF, Alaska, California, Hawaii, Oregon and Washington), "*Designing for Tsunamis : Background Papers*", A Multi State Mitigation Project of the National Tsunami Hazard Mitigation Program, March 2001

"*1960 Chilean Tsunami*",

(<http://www.geophys.washington.edu/tsunami/general/historic/chilian60.html>)

Oregon Department of Land Conservation and Development, "*A Citizen's Guide to the Oregon Coastal Management Program*", Salem, March 1997.

Pacific Marine Environmental Laboratory, "*Tsunami Hazard Mitigation*" : A Report to the Senate Appropriations Committee (<http://www.pmel.noaa.gov/~bernard/senatec.html>)

Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL), "*Tsunami Research Program*" (<http://www.pmel.noaa.gov/tsunami/>)

People for Open Space, "*Tools for the Green Belt : A Citizen's Guide to Protecting Open Space*", People for Open Space, San Francisco, September 1965.

Petak, William J. and Arthur A. Atkisson, "*Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy : Anticipating the Unexpected*", New York : Springer Verlag New York Inc., 1982.

Rahardjo, P.P., "*Dampak kerusakan akibat gempa bumi & tsunami di Nangroe Aceh Darussalam*", Prosiding Diskusi Mitigasi Pasca Bencana Alam Gempa Bumi & Tsunami, Bandung 18 Januari 2005, Universitas Katolik Parahyangan, ISBN 979-99212-01.

Ruch, Carlton E., H. Crane Miller, Mark Haflich, Nelson M. Farber, Philip R. Berke, and Norris Stubbs, "*The Feasibility of Vertical Evacuation*", Monograph no. 52. Boulder : University of Colorado, Natural Hazards Research and Applications Information Centre 1991.

San Francisco Bay Conservation and Development Commission (<http://www.ceres.ca.gov/bcdc>).

Schwab, Jim et all, "*Planning for Post-Disaster Recovery and Reconstruction*", Planning Advisory Service Report Number 483/484, Chicago: American Planning Association for The Federal Emergency Management Agency, December 1998.

Sobirin, S., "*Manajemen bencana gempa & tsunami*", Prosiding Diskusi Mitigasi Pasca Bencana Alam Gempa Bumi & Tsunami, Bandung 18 Januari 2005, Universitas Katolik Parahyangan, ISBN 979-99212-01

Spangle, William and Associates , Inc., et all, "*Land Use Planning after Earthquakes*", Portola Valley, CA: William Spangle and Associates, Inc., 1980.

Spangler, Byron D. and Chirstopher P. Jones, "*Evaluation of Existing Hurricane Shelters*", Report No. SGR-68, Gainesville: University of Florida, Florida Sea Grant College Program, 1984.

State of California ,Department of Conservation, Division of Mines and Geology, "*Planning Scenario in Humboldt and Del Norte Counties, California, for the Great Earthquake on the Cascadia Subduction Zone*", Special Publication 115. Sacramento, 1995.

State of California, Governor's Office of Emergency Services, "*Findings and Recommendations for Mitigating the Risks of Tsunamis in California, Sacramento*", September 1997.

State of California, Governor's Office of Emergency Services, "*Local Planning Guidance on Tsunami Response*", Sacramento, May 2000.

State of Oregon, Oregon Emergency Management and Oregon Department of Geology and Mineral Industries, "*Draft Tsunami Warning System and Procedures : Guidance for Local Officials*", Salem, undated.

Steinbrugge, Karl V., "*Earthquakes, Volcanoes and Tsunamis : An Anatomy of Hazards*", New York: Skandia America Group, 1982.

Surono, "*Mitigasi bencana geologi di Indonesia, studi kasus hasil pemeriksaan bencana gempa bumi-tsunami di Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam tanggal 26 Desember 2004*", Prosiding Diskusi Mitigasi Pasca Bencana Alam Gempa Bumi & Tsunami, Bandung 18 Januari 2005, Universitas Katolik Parahyangan, ISBN 979-99212-0

University of Tokyo, "*A Quick Look Report on the Hokkaido-Nansai-Oki Earthquake, July 12, 1993*", Special Issue July 1993 INCEDE newsletter, International Center for Disaster Mitigation Engineering, Institute of Industrial Science, Tokyo.

Urban Regional Research for the National Science, "*Land Management in Tsunami Hazard Area*", 1982.

Urban Regional Research for the National Science Foundation, "*Planning for Risk: Comprehensive Planning for Tsunami Hazard Areas*", 1988

United States Army Corps of Engineers, "*Coastal Engineering Manual*" (in publication) (<http://www.chl.wes.army.mil/library/publication>)

United States Army Corps of Engineers, "*Coastal Engineering Technical Notes*". (<http://www.chl.wes.army.mil/library/publications/cetn>)

United States Army Corps of Engineers, "*Shore Protection Manual*", 4th ed. 2 vols, Washington, DC : US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, 1984.

Wallace, Terry C., "*The Hazard from Tsunamis*", TsuInfo Alert", V.2, No. 2 (March-April 2000).

Western States Seismic Policy Council, "*Tsunami Hazard Symposium Proceedings*", Ocean Point Resort, Victoria, BC, November 4, 1997, San Francisco, 1998.

Wiegel, R.L., "*Earthquake Engineering*", Chapter 2.11, Published Prentice Hall., Englewood Cliffs, N.J. 1970.