

BAB II

PERENCANAAN LOKASI DAN DASAR PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG EVAKUASI VERTIKAL UNTUK MITIGASI TSUNAMI

2.1. Perencanaan Lokasi

Menentukan lokasi atau letak gedung evakuasi vertikal untuk Tempat Evakuasi Sementara (TES) mitigasi tsunami merupakan hal penting yang harus dipertimbangkan sebelum merencanakan untuk membangun TES mitigasi tsunami. Lokasi TES sangat menentukan keberhasilan orang untuk dapat menyelamatkan diri dari bahaya tsunami. Semakin dekat lokasi TES dengan pemukiman masyarakat kawasan rawan tsunami, semakin banyak orang yang dapat diselamatkan. Keberhasilan evakuasi tsunami sangat bergantung pada kapasitas evakuasi dan kecepatan waktu untuk menyelamatkan diri (waktu evakuasi dikurangi waktu yang diharapkan untuk evakuasi/*expected time for evacuation time*) dari bahaya gelombang tsunami.

Setiap tempat memiliki waktu evakuasi yang berbeda tergantung pada kuatnya gempa bumi yang terjadi dan lokasi gempa bumi. Sumber terjadinya tsunami yang jauh memberikan waktu evakuasi yang cukup, sebaliknya sumber terjadinya tsunami yang dekat tidak memberikan waktu evakuasi yang cukup, sehingga dalam penyusunan rencana kontijensi dan rencana respon tanggap darurat membutuhkan TES. Keberadaan sistem peringatan dini sangat dibutuhkan masyarakat, pemerintah daerah serta pihak terkait sebagai tanda peringatan perlunya segera evakuasi, mengingat tidak semua fenomena tsunami mempunyai tanda-tanda alam yang sama seperti didahului dengan guncangan maupun air surut mendadak. Demikian pula untuk fenomena tele-tsunami yaitu tsunami yang terjadi dengan sumber tsunami yang berada di sisi lain samudera seperti Samudera Hindia dan/atau Samudera Pasifik, keberadaan sistem peringatan dini sangat dibutuhkan untuk peringatan tanda evakuasi.

Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah lembaga pemerintah yang memiliki mandat untuk memonitor terjadinya gempa bumi dan tsunami serta menerbitkan peringatan dini tsunami kepada masyarakat Indonesia melalui pemerintah daerah, institusi antara seperti BNPB, TNI, Polisi, Media Elektronik. Peringatan BMKG tentang potensi terjadinya tsunami tersebut secara umum membutuhkan waktu ± 5 menit dari sejak terjadinya gempa bumi. Masyarakat diharapkan cepat melakukan evakuasi apabila mendengar peringatan tsunami.

Disamping keberadaan sistem peringatan dini tsunami bagi masyarakat yang berada di lokasi yang dekat dengan sumber terjadinya tsunami, biasanya akan merasakan tanda-tanda akan terjadi tsunami, seperti guncangan gempa bumi, air laut yang surut tiba-tiba atau suara gemuruh. Tanda-tanda ini juga dapat menjadi peringatan akan kedatangan tsunami. Walaupun demikian, tidak semua fenomena tsunami didahului oleh tanda-tanda tersebut.

Dalam perencanaan upaya penyelamatan masyarakat dari tsunami, pertimbangan utama harus diberikan pada alokasi waktu yang cukup agar masyarakat dapat mencapai tempat evakuasi dengan aman. Untuk itu perlu menetapkan jarak terjauh TES yang mampu dicapai masyarakat, dengan parameter waktu peringatan, kemampuan berjalan masyarakat yang berada di sekitarnya, serta kapasitas rute evakuasi. Oleh karena itu, jarak maksimum harus ditetapkan dengan mempertimbangkan jumlah dan tempat evakuasi, serta populasi penduduk sebagai parameter penting agar keberadaan TES menjadi optimum dalam menampung penduduk sekitar hingga yang berada pada jarak maksimum.

Menurut *Federal Emergency Management Agency* (FEMA P-646, 2012), kemampuan rata-rata orang sehat dapat berjalan dengan kecepatan 6,44 km per jam atau setara dengan 107 m per menit. Berbagai populasi dalam masyarakat memiliki kemampuan berjalan yang berbeda-beda, tergantung pada umur, kesehatan, dan kondisi fisik. Rata-rata kecepatan orang berjalan dengan gangguan fisik untuk berjalan, atau jalanan cukup

padat sehingga kecepatan rata-rata dapat diasumsikan kurang lebih 3,22 km per jam, atau setara dengan 53,5 m per menit. Dalam perencanaan lokasi TES, jarak terjauh yang mampu dicapai oleh kelompok rentan dengan keterbatasan fisik perlu menjadi dasar pertimbangan. Ada dua cara dalam menentukan jarak dan lokasi TES yang optimum, yang pertama berdasarkan perhitungan empiris yang dihasilkan FEMA P-646,2012, dan yang kedua berdasarkan perhitungan kondisi fisik di lapangan.

Cara pertama, sebagai ilustrasi perhitungan cara pertama (empiris), bila kecepatan orang berjalan dengan keterbatasan fisik 3,22 km per jam dan apabila waktu evakuasi yang ada (*golden time*) setelah peringatan tsunami adalah 30 menit, sehingga TES dapat ditempatkan pada jarak maksimum 1,61 km dari titik berangkat. Hal ini akan menghasilkan sebuah jarak maksimum rata-rata adalah 3,22 km diantara dua TES. Demikian pula, asumsi waktu peringatan 15 menit, TES akan berlokasi pada jarak maksimum 0,8045 km dari titik berangkat, dan 1,61 km jarak diantara dua TES. Waktu peringatan yang lebih panjang akan mempersyaratkan jarak yang lebih jauh. Secara empiris, jarak lokasi TES dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 2.1. Jarak maksimum TES berdasarkan waktu peringatan

Waktu Kedatangan/Waktu Tiba Tsunami (ETA)	Kecepatan Orang Berjalan (Lemah)	Jarak Perubahan Menuju TES	Jarak Maksimum antara 2 Lokasi TES
2 jam	3,22 km/jam	6,44 km	12,87 km
30 menit	3,22 km/jam	1,61 km	3,22 km
15 menit	3,22 km/jam	804,5 km	1,61 km

Sumber: Federal Emergency Management Agency (FEMA P-646, 2012)

Pertimbangan utama pemilihan lokasi pada kota Cilacap, kawasan pantai yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, dan kawasan ini merupakan *seismicgap*, dimana memiliki potensi gempa-gempa besar yang mampu membangkitkan tsunami.

2.1.1. Gambaran Umum Lokasi

Cilacap merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah dan berada pada koordinat $108^{\circ}4'30''$ – $109^{\circ}22'30''$ Garis Bujur Timur dan $7^{\circ}30'20''$ – $7^{\circ}45'$ Garis Lintang Selatan. Secara geografis berada di bagian wilayah selatan Provinsi Jawa Tengah berhadapan langsung dengan perairan Samudera Hindia, dengan panjang garis pantai ± 105 km, yang dimulai dari bagian timur pantai Desa Jetis Kecamatan Nusawungu ke arah barat hingga Ujung Kulon Pulau Nusakambangan berbatasan dengan Provinsi Jawa Barat. Topografi wilayah Kabupaten Cilacap terdiri dari permukaan landai dan perbukitan dengan ketinggian antara 6 – 198 m dari permukaan laut.

Kabupaten Cilacap dalam tatanan administrasi pemerintahan terdiri dari 24 Kecamatan dan 284 Desa/Kelurahan, dengan spesifikasi 11 Kecamatan (72 Desa/Kelurahan) yang memiliki wilayah pesisir di wilayah Selatan Jawa Tengah. Jumlah penduduk keseluruhannya 1.872.576 jiwa (laki-laki: 947.814 jiwa, perempuan: 924.732 jiwa).

Kabupaten Cilacap merupakan salah satu daerah berisiko tinggi terhadap bahaya tsunami di Indonesia karena jika tsunami besar terjadi di wilayah Cilacap dan sekitarnya akan membawa dampak yang parah pada daerah sepanjang pantai yang dihuni penduduk dengan kepadatan yang tinggi. Banyak wilayah utama pembangunan Cilacap, terutama industri pertambangan minyak terletak langsung menghadap garis pantai Samudra Hindia. Di bawah dasar laut Samudra Hindia tersebut, beberapa ratus kilometer sebelah selatan Cilacap, terletak salah satu zona utama tumbukan lempeng tektonik bumi, yang merupakan sumber utama gempa bumi pencetus tsunami. Dengan demikian, para ahli geologi dan ilmuwan tsunami menggolongkan Cilacap sebagai daerah berisiko tinggi tsunami.

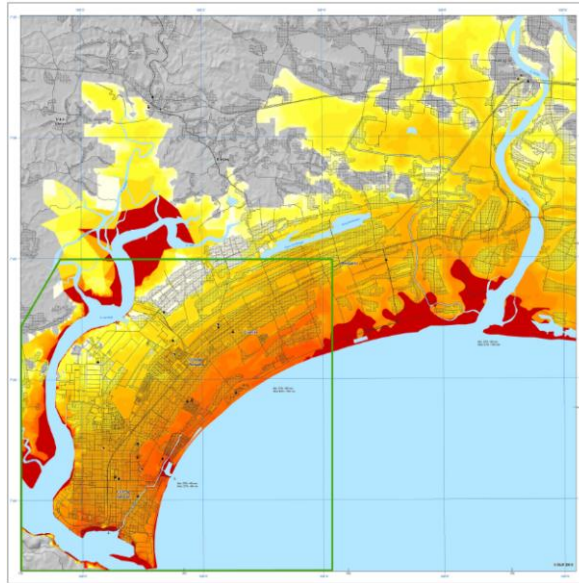
2.1.2. Perencanaan Gedung Evakuasi Vertikal Untuk Mitigasi Tsunami

Variabel yang mempengaruhi kriteria kerentanan adalah waktu tiba tsunami (*ETA-Estimated Time for Tsunami Arrival*), kerentanan fisik atau

kepadatan bangunan, kerentanan lingkungan atau tutupan lahan, kerentanan sosial atau kepadatan penduduk, dan kerentanan ekonomi berupa nilai keekonomian infrastruktur (Latief et. al, 2006). Dalam kajian model tsunami di Cilacap menggunakan skenario terburuk “*Momen Magnitude*” (Mw) 8,0 pada pasang surut rerata, terdapat 23 desa di enam kecamatan terendam tsunami dengan tinggi air bervariasi dari beberapa sentimeter hingga lebih dari delapan meter di daerah pantai. Riset ini dimotori oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, *Deutsches Zentrum fur Luft-und Raufahrt* (DRL), dan *United Nations University* (UNU).

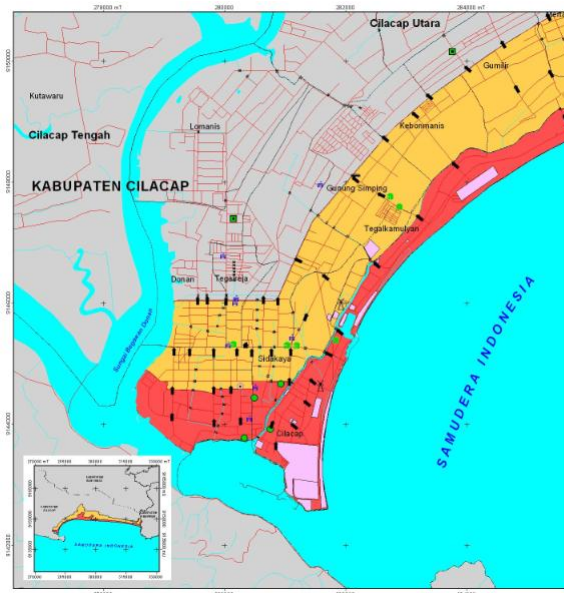
Penetrasi tsunami ke daratan juga bervariasi, yakni dari beberapa puluh meter hingga lebih dari 3,5 kilometer di daerah bantaran Sungai Serayu. Daerah terendam dari terparah hingga teringan berada di tujuh desa di Kecamatan Adipala, enam desa di Kecamatan Binangun, empat desa di Kecamatan Nusawungu, tiga desa di Kecamatan Kesugihan, dua desa di Kecamatan Cilacap Selatan, dan satu kelurahan di Kecamatan Cilacap Utara. Total wilayah terendam di daerah tersebut luasnya lebih dari 35 km².

Sementara untuk kondisi pasang surut, tsunami akan merendam 34 desa di tujuh kecamatan dengan aliran bervariasi dari beberapa sentimeter hingga sembilan meter di daerah pantai. Penetrasi tsunami ke daratan bervariasi dan dapat mencapai lebih dari enam kilometer di daerah bantaran Sungai Serayu. Pada kondisi tersebut, daerah rendaman akan terjadi pada sembilan desa di Kecamatan Adipala, tujuh desa di Kecamatan Binangu, serta Kecamatan Kesugihan, Cilacap Tengah, Nusawungu masing-masing empat desa, serta Cilacap Selatan dan Cilacap Utara masing-masing tiga desa. Luas daerah terendam lebih dari 59 km². Waktu tempuh dari sumbernya, tsunami mencapai daerah pantai berkisar 50-55 menit setelah gempa, dan dalam waktu sekitar 40 menit berikutnya telah terendam dengan luas 59 km².



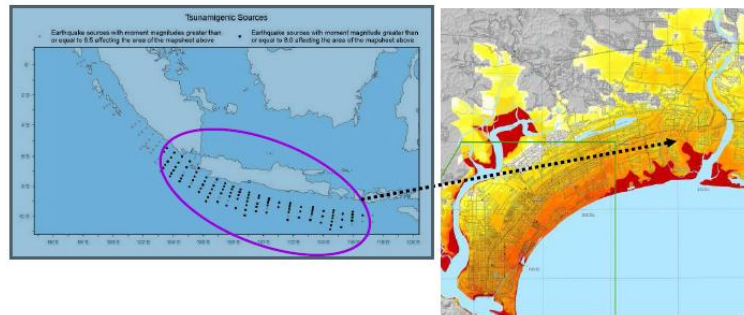
Gambar 2.3. Peta Bahaya Tsunami

Sumber: <http://sidasari-sidaurip.blogspot.co.id/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html>



Gambar 2.4. Peta Rencana Evakuasi Tsunami Kelurahan Cilacap dan Sekitarnya Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah

Sumber: <http://sidasari-sidaurip.blogspot.co.id/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html>



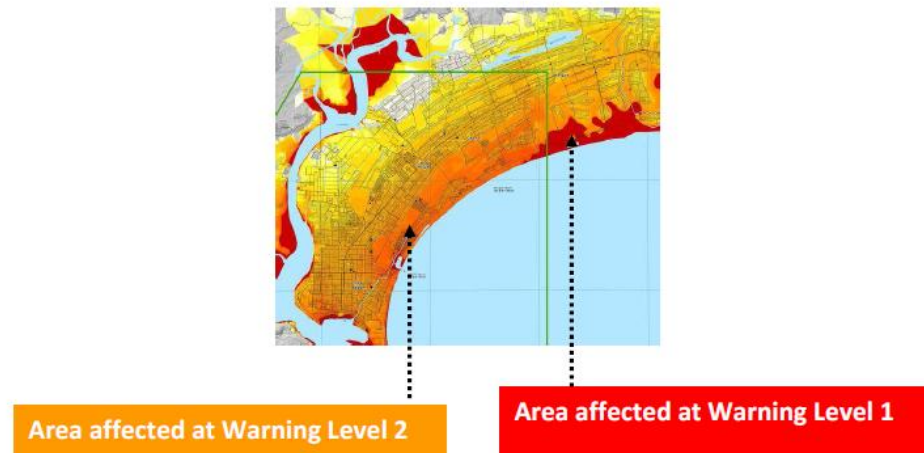
Sejumlah sumber tsunami hipotetis dengan lokasi dan besaran gempa yang berbeda yang digunakan dalam proses

Warna merah dan kuning menunjukkan daerah yang terkena oleh perhitungan skenario. Daerah kuning hanya dipengaruhi oleh tsunami lebih besar, sedangkan zona merah dapat dipengaruhi oleh tsunami yang lebih kecil.

Gambar 2.5. Pendekatan Multi-skenario

Sumber: <http://sidasari-sidaup.blogspot.co.id/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html>

Di dalam peta bahaya tsunami, terdapat istilah yang disebut dengan zonasi, dimana semua skenario dikelompokkan menjadi dua zona. Zona merah merupakan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang di pantai antara 0,5 m sampai 3 m. Zona jingga dan zona kuning merupakan daerah yang mungkin hanya akan terkena dampak tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m. Zona ini ditampilkan dengan gradasi warna menyambung (*continuous color gradient*) yang mewakili kemungkinan yang semakin menurun (dari jingga ke kuning) dari lokasi yang mungkin akan terendam. Kedua zona tersebut secara langsung terkait dengan tingkat peringatan InaTEWS, seperti yang ditunjukkan di bawah ini:



Gambar 2.6. Zonasi berdasarkan ketinggian gelombang dan tingkat peringatan

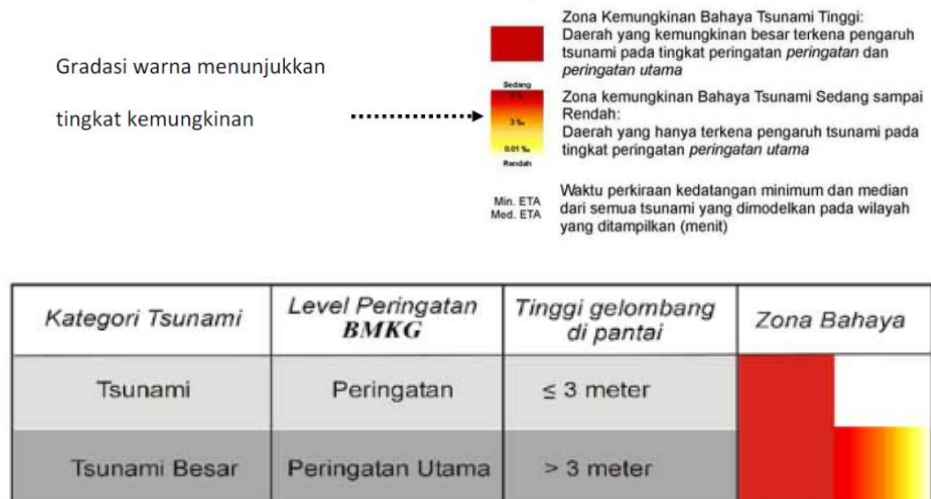
Sumber: <http://sidasari-sidaurip.blogspot.co.id/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html>

Pada saat melakukan pengkajian bahaya tsunami sangat penting untuk mempertimbangkan tentang kemungkinan. Tsunami dapat dikatakan sebagai contoh yang khas dari bencana "frekuensi rendah, dampak tinggi". Dengan kata lain, tsunami tidak terjadi terlalu sering, tetapi kalau itu terjadi, dampaknya sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kerusakan yang besar. Rata-rata setiap dua tahun tsunami yang menghancurkan terjadi di Indonesia.

Namun, di lokasi pantai tertentu, selang waktu terulangnya tsunami yang menghancurkandapat bervariasi antara 30 sampai 50 tahun atau bahkan 200 sampai 300 tahun. Tsunami di Indonesia sebagian besar disebabkan oleh gempa di laut. Tsunami yang dipicu oleh aktivitas gunung berapi merupakan peristiwa yang sangat jarang terjadi. Tsunami kecil lebih sering terjadi daripada tsunami besar (dan tsunami terburuk).

Peta Bahaya multi-skenario memberikan informasi tentang kemungkinan tsunami. Warna merah menunjukkan area yang mungkin terkena dampak tsunami dengan ketinggian gelombang antara 0,5 m

sampai 3 m. Rentang warna dari jingga ke kuning terang menunjukkan area yang memiliki kemungkinan kecil terkena tsunami.



Gambar 2.7. Visualisasi kemungkinan peta di atas

Sumber: <http://sidasari-sidaaurip.blogspot.co.id/2014/01/peta-bahaya-tsunami-untuk-pesisir.html>

Lokasi perencanaan TES berada di Jalan MT Haryono, Cilacap, Jawa Tengah. Lokasi ini termasuk dalam **zona jingga dan zona kuning** yang merupakan daerah yang mungkin hanya akan terkena dampak tsunami besar dengan ketinggian gelombang di pantai lebih dari 3 m (masuk dalam kategori tsunami besar).

Jarak lokasi perencanaan TES ke tepi pantai yaitu $\pm 1,80$ km, menurut Tabel 2.1. waktu yang dibutuhkan **lebih dari 30 menit** untuk mengevakuasi diri setelah mendengar peringatan tsunami.



Gambar 2.8. Jarak lokasi TES dari tepi pantai

Sumber: *Google Earth*



Gambar 2.9. Lokasi TES

Sumber: *Google Earth*

2.2. Kriteria Desain Struktur

Strategi penyelamatan 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 dari bahaya tsunami setempat dengan waktu peringatan yang singkat. Upaya 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 yang diperkirakan dan guncangan tanah akibat gempa.

Desain struktur yang ramah tsunami akan dapat mengurangi pengaruh beban tsunami pada bangunan. Untuk mengurangi risiko tsunami, dipilih alternatif pencegahan daerah dari genangan dengan membiarkan tsunami melewati suatu daerah tanpa menimbulkan kerusakan maksimum penentuan lokasi bangunan pada elevasi yang lebih tinggi dari genangan banjir atau menempatkan bangunan di atas elevasi genangan tsunami dengan tiang atau panggung yang diperkuat.

Material utama yang digunakan pada struktur gedung ini adalah material beton bertulang. Elemen-elemen dari struktur beton bersifat monolit, sehingga struktur ini mempunyai perilaku yang baik di dalam memikul beban gempa atau tsunami. Sebagai material struktur, beton bertulang memiliki kelemahan :

- Terjadinya pengurangan kekuatan dan kekakuan akibat beban berulang.
- Sifat daktail dari beton didapat dengan memasang tulangan-tulangan baja yang cukup pada elemen-elemen struktur beton, sehingga dalam perancangan struktur beton bertulang tahan gempa, perlu diperhatikan adanya detail penulangan yang baik dan benar.

Pada struktur gedung beton bertulang, hubungan balok-kolom (*beam-column joint*) merupakan satu-satunya pemegang peran agar sistem pengekangan terhadap *free rotations of beam* tidak akan terjadi. Sistem pengekangan akan terjadi dengan baik jika balok, *joint* dan kolom merupakan satu kesatuan yang monolit dan kaku.

2.2.1. Peraturan yang Digunakan

Peraturan yang digunakan dalam mendesain struktur Gedung Shelter untuk Mitigasi Tsunami adalah sebagai berikut;

- Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, SNI 2847:2013
- Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, SNI 1727:2013
- Tata Cara Perancangan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2012
- The Federal Emergency Management Agency - Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunami Second Edition (FEMA P646 / April 2012).
- The Federal Emergency Management Agency Coastal Construction Manual, Fourth Edition (Fema P-55/Volume II/August 2011).
- The City and County of Honolulu Building Code (CCH) menjelaskan perhitungan mengenai gaya akibat banjir termasuk besarnya nilai gaya impulsif.

2.2.2. Jenis Material

Untuk material beton bertulang, digunakan material beton dengan berat jenis adalah 2400 kg/m^3 . Untuk tie beam, balok, kolom dan pelat digunakan mutu beton K350 dan untuk pondasi digunakan mutu beton K400, dengan mutu baja tulangan ulir dengan $f_y = 400 \text{ Mpa}$.

2.3. Pembebanan Struktur

Beban rencana yang bekerja pada struktur meliputi:

2.3.1. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi. Berat dari elemen-elemen ini pada umumnya dapat ditentukan dengan mudah dengan derajat ketelitian cukup tinggi. Untuk menghitung besarnya beban mati suatu elemen dilakukan

dengan meninjau berat satuan material tersebut berdasarkan volume elemen. Beban mati ini kemudian diaplikasikan ke model struktur menjadi beban titik dan beban merata pada elemen frame.

- Beton bertulang $= 2400 \text{ kg/m}^3$
- Tanah $= 1700 - 2000 \text{ kg/m}^3$

Berat dari beberapa komponen bangunan dapat ditentukan sebagai berikut :

- Plafon dan penggantung $= 18 \text{ kg/m}^2$
- Adukan/spesi lantai per cm tebal $= 21 \text{ kg/m}^2$
- Penutup lantai/ubin per cm tebal $= 24 \text{ kg/m}^2$
- Pasangan bata setengah batu $= 250 \text{ kg/m}^2$

Beban Lift : sesuai berat lift x faktor kejut $= W_{\text{lift}} \times 2,0$

W_{lift} dari spesifikasi desain ME

Diatas roof biasanya ada beban sbb :

- Water tank : $q = V/A$, Berat dari spesifikasi desain ME
- Chiller, Boiler, Cooling Tower : Berat dari spesifikasi desain ME

Beban mati dalam mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar **150 kg/m^2** .

2.3.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meskipun dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur. Beban yang diakibatkan oleh hunian atau penggunaan (*occupancy loads*) adalah beban hidup. Yang termasuk ke dalam beban penggunaan adalah berat manusia, perabot, barang yang disimpan, dan sebagainya. Beban yang diakibatkan oleh salju atau air hujan, juga

termasuk ke dalam beban hidup. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak.

Besarnya beban hidup terbagi merata ekuivalen yang harus diperhitungkan pada struktur bangunan gedung, pada umumnya dapat ditentukan berdasarkan standar yang berlaku. Beban hidup untuk bangunan gedung adalah :

- Rumah tinggal
 - Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)
 - Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang = $0,48 \text{ kN/m}^2$
 - Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang = $0,96 \text{ kN/m}^2$
 - Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur = $1,44 \text{ kN/m}^2$
 - Semua ruang kecuali tangga dan balkon = $1,92 \text{ kN/m}^2$
- Sekolah
 - Ruang kelas = $1,92 \text{ kN/m}^2$
 - Koridor di atas lantai pertama = $3,83 \text{ kN/m}^2$
 - Koridor lantai pertama = $4,79 \text{ kN/m}^2$
- Rumah sakit
 - Ruang operasi, laboratorium = $2,87 \text{ kN/m}^2$
 - Ruang pasien = $1,92 \text{ kN/m}^2$
- Perpustakaan
 - Ruang baca = $2,87 \text{ kN/m}^2$
 - Ruang penyimpanan = $7,18 \text{ kN/m}^2$
 - Koridor di atas lantai pertama = $3,83 \text{ kN/m}^2$

Beban hidup dalam mendesain gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami sebesar **250 kg/m^2** .

2.3.3. Beban Gempa

Persyaratan struktur bangunan tahan gempa adalah kemungkinan terjadinya risiko kerusakan pada bangunan merupakan hal yang dapat diterima, tetapi keruntuhan total (*collapse*) dari struktur yang dapat mengakibatkan terjadinya korban yang banyak harus dihindari. Di dalam standar gempa yang baru dicantumkan bahwa, untuk perencanaan struktur

bangunan terhadap pengaruh gempa digunakan Gempa Rencana. Gempa Rencana adalah gempa yang peluang atau risiko terjadinya dalam periode umur rencana bangunan 50 tahun adalah 10% ($R_N = 10\%$), atau gempa yang periode ulangnya adalah 500 tahun ($T_R = 500$ tahun). Dengan menggunakan Gempa Rencana ini, struktur dapat dianalisis secara elastis untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang berupa momen lentur, gaya geser, gaya normal, dan puntir atau torsi yang bekerja pada tiap-tiap elemen struktur. Gaya-gaya dalam ini setelah dikombinasikan dengan gaya-gaya dalam yang diakibatkan oleh beban mati dan beban hidup, kemudian digunakan untuk mendimensi penampang dari elemen struktur berdasarkan metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) sesuai dengan standar desain yang berlaku.

Besarnya beban Gempa Nominal yang digunakan untuk perencanaan struktur ditentukan oleh tiga hal, yaitu

- Besarnya Gempa Rencana;
- Tingkat daktilitas yang dimiliki struktur; dan
- Nilai faktor tahanan lebih yang terkandung di dalam struktur.

Berdasarkan pedoman gempa yang berlaku di Indonesia yaitu Tata Cara Perancangan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012) dan Aplikasi SNI Gempa 1726:2012, besarnya beban gempa horisontal (V) yang bekerja pada struktur bangunan, ditentukan menurut persamaan:

$$V = C_s \cdot W = \frac{S_a \cdot I_e}{R} \cdot W$$

Dengan,

S_a = Spektrum respon percepatan desain (g);

I_e = Faktor keutamaan gempa;

R = Koefisien modifikasi respons;

W = Kombinasi dari beban mati dan beban hidup yang direduksi (kN).

Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perhitungan W_t , ditentukan sebagai berikut;

- Perumahan / penghunian : rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit = 0,30
- Gedung pendidikan : sekolah, ruang kuliah = 0,50
- Tempat pertemuan umum, tempat ibadah, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pertunjukan = 0,50
- Gedung perkantoran : kantor, bank = 0,30
- Gedung perdagangan dan ruang penyimpanan, toko, toserba, pasar, gudang, ruang arsip, perpustakaan = 0,80
- Tempat kendaraan : garasi, gedung parkir = 0,50
- Bangunan industri : pabrik, bengkel = 0,90

a. Menentukan Kategori Risiko Struktur Bangunan (I-IV) dan Faktor Keutamaan (I_e)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.2 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan (I_e) menurut Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan; rumah ruko dan kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall	II

- Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung, tidak termasuk kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. - Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Mengacu pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 faktor keutamaan gempa untuk kategori gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami masuk kedalam **kategori risiko= IV** dengan faktor keutamaan (I_e)= **1,50**.

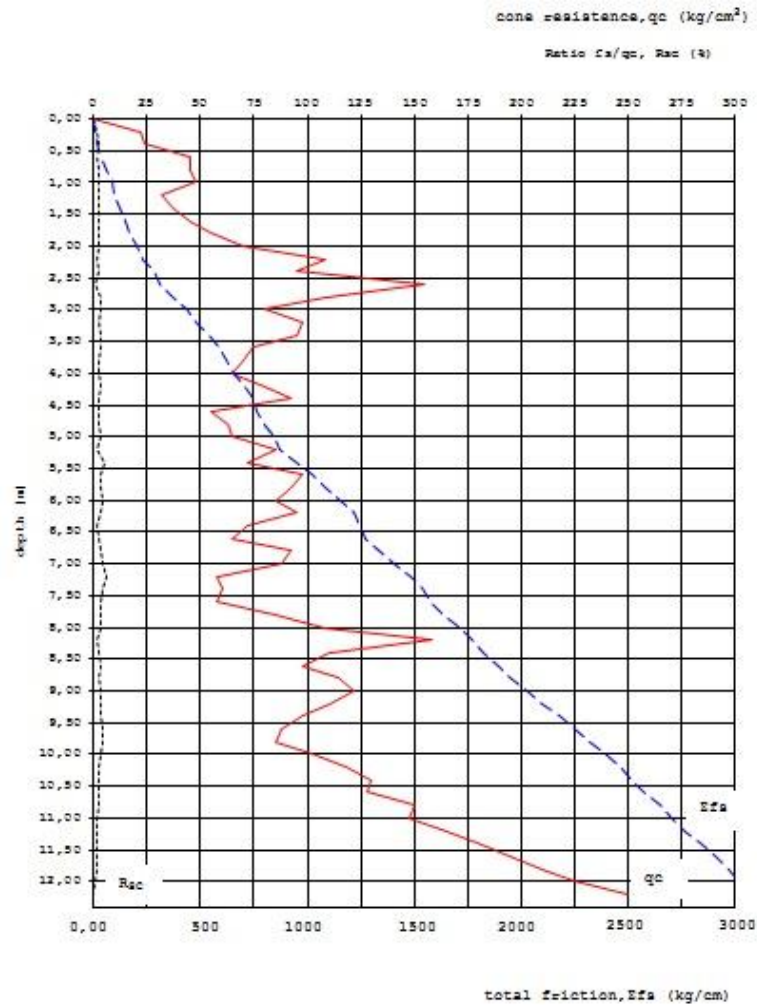
b. Menentukan Kelas Situs (SA-SF)

Dalam perumusan Kriteria Desain Seismik (KDS) suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.4, berdasarkan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Penetapan kelas situs harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, yang dilakukan oleh otoritas yang berwewenang atau ahli desain geoteknik bersertifikat, dengan minimal mengukur secara independen dua dari tiga parameter tanah yang tercantum dalam Tabel 2.4. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi getekniknya. Penetapan kelas situs SA dan kelas situs SB tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

Dari hasil data sondir yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Negeri Semarang, pada Jalan MT Haryono, Cilacap,

Jawa Tengah diperoleh sampai kedalaman 12,20 meter, dengan gambar berikut:

Gambar 2.10. Sondir 1



Diperoleh

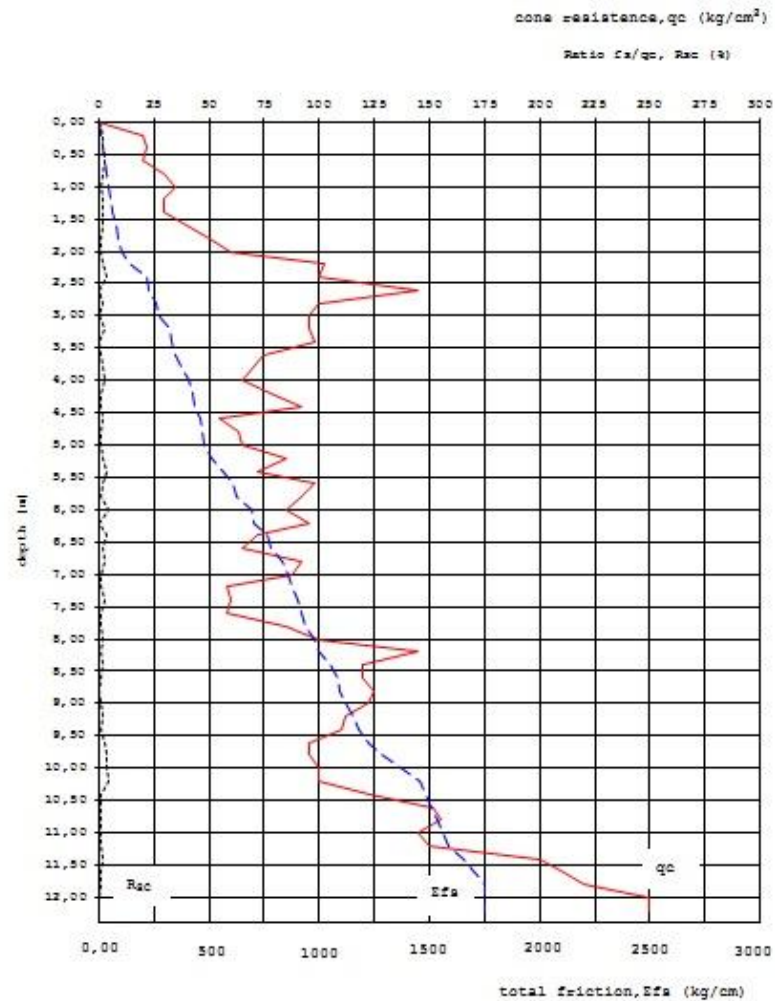
$$q_c \text{ rata-rata} = 97,098 \text{ kg/m}^2$$

$$q_c = 4N$$

$$N = \frac{q_c}{4} = \frac{97,098}{4}$$

$$= 24,275 \text{ kg/m}^2$$

Gambar 2.11. Sondir 2



Diperoleh

$$q_c \text{ rata-rata} = 97,361 \text{ kg/m}^2$$

$$q_c = 4N$$

$$N = \frac{q_c}{4}$$

$$= \frac{97,361}{4}$$

$$= 24,34 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 2.12. Lokasi sondir

Sumber: *Google Earth*

Dari dua data sondir tersebut mempunyai hasil dengan kisaran yang sama yaitu pada 24 kg/m^2 , namun pada data sondir 2 karena nilai friksi yang terkecil yaitu 1750 kg/cm^2 .

Tabel 2.4. Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	N atau N_{ch}	$\hat{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\hat{s}_u < 25 \text{ kPa}$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti pasal 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3\text{m}$) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35\text{m}$ dengan $\hat{s}_u < 50 \text{ kPa}$		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Dari Tabel 2.4 untuk nilai $N = 24,275 \text{ kg/m}^2$ masuk pada kelas situs **SD (tanah sedang)**.

c. Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) dengan menggunakan peta gempa didapatkan nilai S_s pada wilayah ini adalah sebesar **0,988 g**. Untuk nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) didapatkan nilai sebesar **0,391 g**.

Dengan,

S_S = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda pendek;

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

Dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti Tabel 2.5 dan Tabel 2.6.

Tabel 2.5. Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

- 1) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat Interpolasi linier
- 2) SS= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Untuk kelas situs tanah sedang (SD) dengan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) = 0,988 g diperoleh **koefisien $F_a = 1,2$** .

Tabel 2.6. Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

- 1) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat Interpolasi linier

- 2) SS= Situs yang memerlukan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat pasal 6.10.1.

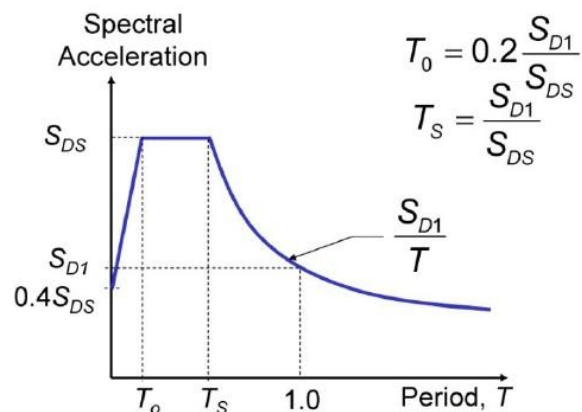
Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Untuk kelas situs tanah sedang (SD) dengan nilai percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) = 0,391 g diperoleh **koefisien $F_v= 1,8$** .

d. Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.11 berikut ini,

Modal Response Spectrum Analysis

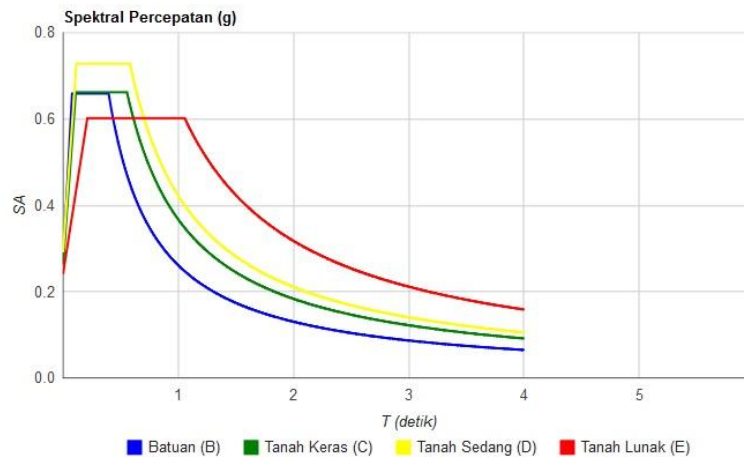


Gambar 2.13. Spektrum Respons Desain

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Pada lokasi perencanaan gedung evakuasi vertikal untuk mitigasi tsunami di jalan MT Haryono, Cilacap, Jawa tengah, sesuai dengan perhitungan nilai N terkecil, maka dipilih titik sondir 1. Untuk mengetahui spektrum respons desain dapat menggunakan nama kota atau dengan menggunakan koordinat tempat, pada lokasi titik sondir 1

terletak pada koordinat (-7.72682409973, 109.007602572). Hasil spektrum respons desain dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini,



Gambar 2.14. Spektrum Respons Desain pada koordinat (-7.72682409973, 109.007602572).

Sumber:

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

Dari spektrum respons desain didapat hasil perhitungan,

$$S_{DS} = 0,728$$

$$S_{DI} = 0,422$$

$$T_0 = 0,116 \text{ s}$$

$$T_1 = 0,580 \text{ s}$$

Dengan,

S_{DS} = parameter respons percepatan desain pada periode pendek;

S_{DI} = parameter respons percepatan desain pada periode 1 detik.

e. Menentukan Kategori Desain Seismik (A-D)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada

periode 1 detik, S_I , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_I , lebih besar atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{Ds} dan S_{DI} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.7 atau Tabel 2.8, terlepas dari nilai periode fundamental getaran struktur, T .

Apabila S_I lebih dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.7 saja, dimana berlaku semua ketentuan di bawah:

- 1) Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan periode fundamental struktur, T_a , yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1 adalah kurang dari $0,8 T_s$.
- 2) Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .
- 3) $C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e}$, digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s ,
- 4) Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di pasal 7.3.1 atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Tabel 2.8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Berdasarkan kategori risikonya dan parameter spektrum respon desain ditetapkan Kategori Desain Seismik **D**.

f. Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem (R , C_d , Ω_0)

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 2.9. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam tabel 3.9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.9 harus digunakan

dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antarlantai tingkat desain.

Setiap desain penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 2.9 dan persyaratan tambahan yang ditetapkan dalam pasal 7.14 (Persyaratan perancangan dan pendetailan bahan).

Tabel 2.9. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa
(Contoh untuk Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan Tinggi struktur $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^d
C.Sistem rangka pemikul momen								
(C.5). Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
(C.6). Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
(C.7). Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

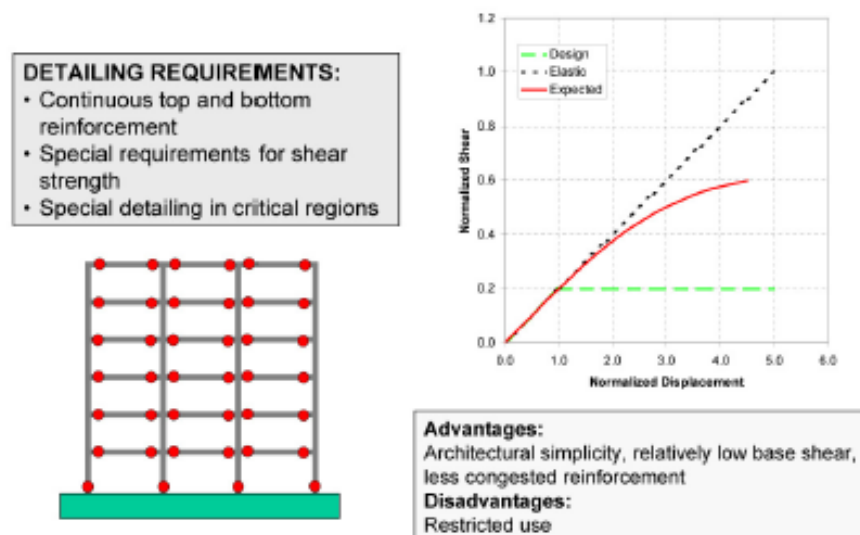
- 1) Faktor pembesaran defleksi, C_d , untuk penggunaan dalam pasal 7.8.6, 7.8.7 dan 7.9.2.
- 2) TB = Tidak Dibatasi dan TI = Tidak Diiijinkan.

- 3) Lihat pasal 7.2.5.4 untuk penjelasan sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 72 m atau kurang.
- 4) Lihat pasal 7.2.5.4 untuk sistem penahan gaya gempa yang dibatasi sampai bangunan dengan ketinggian 48 m atau kurang.

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Sistem penahan gaya seismik yang memenuhi batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur untuk Kategori Desain Seismik D yaitu **rangka beton bertulang pemikul momen khusus** (*Framing Type: Sway Special*).

Intermediate Concrete Moment Frame



Gambar 2.15. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah – Inelastic Respons

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

g. Batasan Periode Fundamental Struktur (T)

Periode fundamental struktur (T), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 2.10 dan periode fundamental pendekatan, (T_a). Sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur

(T), diijinkan secara langsung menggunakan perioda fundamental pendekatan, (T_a). Perioda fundamental pendekatan, (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dengan,

h_n adalah ketinggian struktur, dalam meter, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

Tabel 2.10. Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Tabel 2.11. Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: Aplikasi SNI Gempa 1726-2012

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan perioda fundamental pendekatan T_a , dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi paling sedikit 3 m.

$$T_a = 0,1N$$

Dengan,

N = jumlah tingkat

Perioda fundamental struktur (T) yang digunakan:

Jika $T_c > C_u T_a$ gunakan $T = C_u T_a$

Jika $T_a < T_c < C_u T_a$ gunakan $T = T_c$

Jika $T_c < T_a$ gunakan $T = T_a$

Dengan,

T_c = Perioda fundamental struktur yang diperoleh dari program analisis struktur.

2.3.4. Beban Tsunami

Gaya-gaya yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan agar dapat menahan air tsunami diantaranya meliputi:

a. Gaya Hidrostatik

Gaya hidrostatik muncul saat air yang bergerak stabil/perlahan mengenai struktur. Gaya hidrostatik ini biasanya penting untuk struktur-struktur panjang seperti dinding laut dan bendungan, atau untuk evaluasi dinding/panel dimana ketinggian air di satu sisi sangat berbeda dengan ketinggian air di sisi yang lain. Gaya hidrostatik dan gaya apung/*buoyant* harus diperhitungkan saat lantai dasar dari gedung

terkepung air, dimana dinding bangunan menahan air tidak masuk ke lantai dasar. Gaya hidrostatik horisontal yang bekerja pada dinding dapat dihitung dengan persamaan :

$$F_h = p_c A_w = \frac{1}{2} \cdot \rho_s \cdot g \cdot b \cdot h_{max}^2$$

Dengan,

p_c = tekanan hidrostatik

A_w = area dinding yang terkena air

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

b = lebar dinding

h_{max} = ketinggian air maksimum dari dasar dinding

b. Gaya Apung

Gaya apung ini merupakan pertimbangan penting untuk struktur yang mempunyai ketahanan kecil terhadap gaya angkat/keatas (semisal: bangunan dengan rangka kayu yang ringan, ruang bawah tanah, tangki kosong yang berada di atas maupun bawah tanah, kolam renang, dan komponen-komponen yang didesain hanya mempertimbangkan gaya berat gravitasi saja).

Untuk bangunan/struktur yang tergenang/terkepung oleh air, gaya apung total diberikan pada persamaan berikut:

$$F_b = \rho_s \cdot g \cdot V$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

V = volume air yang dipindahkan oleh volume bangunan atau struktur yang tergenang

Jika berat dari struktur tidak mampu menahan gaya apung maka tiang pancang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap pengapungan, tetapi reduksi gesekan pada sisi tiang terkait denganantisipasi gerusan pada sisi atas tiang pancang harus dipertimbangkan juga.

c. Gaya Hidrodinamik

Saat air mengalir disekeliling bangunan/struktur, gaya hidrodinamis dikenakan terhadap struktur tersebut sebagai keseluruhan ataupun masing-masing komponen struktur. Gaya ini dipengaruhi oleh massa jenis air, kecepatan aliran dan bentuk struktur. gaya hidrodinamis ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_d = 1/2 \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B \cdot (hu^2)_{max}$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

C_d = koefisien tarik

B = luasan struktur pada bidang normal arah aliran

h = kedalaman aliran

u = kecepatan aliran pada lokasi struktur

Untuk gaya pada masing-masing komponen struktur, B diambil dari lebar komponen. Direkomendasikan koefisien tarik yang digunakan $C_d = 2,0$. Resultan gaya hidrodinamis dikenakan pada tengah-tengah bidang terendam dari komponen.

Gaya hidrodinamis ini harus berdasarkan kepada parameter $(hu^2)_{max}$, yang merupakan momentum flux maksimum per unit massa pada lokasi pada setiap waktu saat tsunami terjadi.

$(hu^2)_{max}$ dapat diestimasi menggunakan persamaan :

$$(hu^2)_{max} = gR^2 (0,125 - 0,235 \left(\frac{Z}{R}\right) + 0,11 \left(\frac{Z}{R}\right)^2)$$

Dengan,

g = percepatan gravitasi

R = ketinggian *run-up* desain

Z = elevasi tanah pada dasar struktur

Untuk menggunakan persamaan ini datum muka laut harus konsisten dengan yang digunakan pada peta genangan tsunami. Karena ketidakpastian model genangan tsunami, maka angka (hu^2) yang diprediksi harus tidak kurang dari 80% dari nilai perhitungan menggunakan persamaan di atas.

d. Gaya Impulsif

Gaya impulsif disebabkan oleh muka limpasan air yang menabrak struktur. Ramsden (1993) dalam FEMA (2008) melakukan sejumlah penelitian dimana data laboratorium menunjukkan pada lokasi yang telah terendam, gaya ini dapat mencapai 1,5 kali dari nilai gaya hidrodinamis. Sehingga direkomendasikan penghitungan gaya impulsif ini menggunakan persamaan berikut:

$$F_s = 1,5 F_d$$

Gaya impulsif ini akan bekerja pada ujung depan gelombang tsunami, sedangkan gaya hidrodinamis bekerja pada keseluruhan bagian badan gelombang tsunami yang telah dilewati oleh ujung depan gelombang.

e. Gaya Tumbukan Debris atau Hanyutan Puing

Gaya tumbukan dari puing-puing hanyutan (semisal: batang pohon, kapal, mobil, dan lain lain) dapat menjadi faktor terbesar penyebab kerusakan pada bangunan. Namun hal ini sulit, untuk memperkirakan secara akurat gaya yang disebabkan oleh tumbukan ini.

Gaya tumbukan oleh puing hanyutan ini dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_i = C_m \cdot u_{max} \sqrt{(k \cdot m)}$$

Dengan,

C_m = koefisien massa yang ditambahkan

u_{max} = kecepatan maksimum aliran yang membawa puing
dilokasi

m = massa puing

k = kekerasan puing

Direkomendasikan nilai koefisien massa yang ditambahkan $C_m = 2,0$. Tidak seperti gaya-gaya yang lain, gaya tumbukan ini diasumsikan hanya bekerja pada salah satu bagian dari struktur, pada ketinggian muka air.

f. Gaya Tahanan Debris atau Hanyutan Puing

Efek tahanan yang disebabkan oleh akumulasi puing-puing hanyutan yang tersangkut pada struktur dapat diperlakukan sebagai gaya hidrodinamik tambahan oleh puing yang tertahan struktur. Persamaan berikut adalah modifikasi dari rumus hidrodinamis yang memasukkan lebar tahanan dari puing.

$$F_{dm} = 1/2 \cdot \rho_s \cdot C_d \cdot B_d \cdot (hu^2)_{max}$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

C_d = koefisien drag (rekomendasi $C_d = 2,0$)

B_d = lebar/luas permukaan puing

h = kedalaman aliran

u = kecepatan aliran pada lokasi struktur/bangunan.

g. Gaya Uplift

Gaya angkat ini dikenakan terhadap lantai bangunan yang tenggelam oleh genangan tsunami. Sebagai tambahan untuk beban gravitasi, lantai yang tenggelam ini juga harus didesain untuk tahan terhadap gaya angkat terkait dengan gaya apung dan hidrodinamis. Saat melakukan penghitungan gaya apung pada sebuah lantai, harus juga turut dipertimbangkan potensi gaya apung tambahan yang disebabkan oleh volume udara yang terjebak dibawah lantai. Sebagai tambahan, dinding pada lantai atas akan menahan air sampai pada batasan kemampuannya sebelum akhirnya pecah karena gaya hidrostatik. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan signifikan terhadap volume air terpindahkan yang mempengaruhi gaya apung.

Total gaya apung keatas yang bekerja terhadap suatu lantai dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut.

$$F_b = \rho_s \cdot g \cdot A_f \cdot h_b$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi

A_f = area lantai

h_b = ketinggian air yang terpindahkan oleh lantai (termasuk didalamnya udara yang berpotensi terjebak).

h. Beban Gravitasi Tambahan oleh Air yang Berada di Lantai Atas

Pada saat proses penggenangan, air yang berada pada lantai diatas akan menyebabkan gaya gravitasi tambahan yang dapat melebihi kemampuan dari rencana aslinya. Kedalaman air pada lantai atas tersebut tergantung kepada ketinggian maksimum rendaman tsunami di lokasi h_{max} , dan kekuatan lateral dari dinding pada lantai tersebut. Hal ini dengan asumsi bahwa dinding luar struktur menahan air sehingga

lantai bawah tenggelam dan air mengenangi lantai di atasnya. Karena cepatnya kenaikan air maka air sementara waktu akan lebih banyak berada di lantai atas, yang menyebabkan beban gravitasi tambahan terhadap lantai tersebut. Nilai maksimum dari gaya tersebut per unit area f_r dapat diperkirakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$f_r = \rho_s \cdot g \cdot h_r$$

Dengan,

ρ_s = massa jenis air tsunami (termasuk sedimen)(1200 kg/m³)

g = percepatan gravitasi

h_r = kedalaman potensial maksimum air yang berada pada lantai atas
ditentukan sebagai berikut:

$$h_r = h_{max} - h_1 \leq h_{max}$$

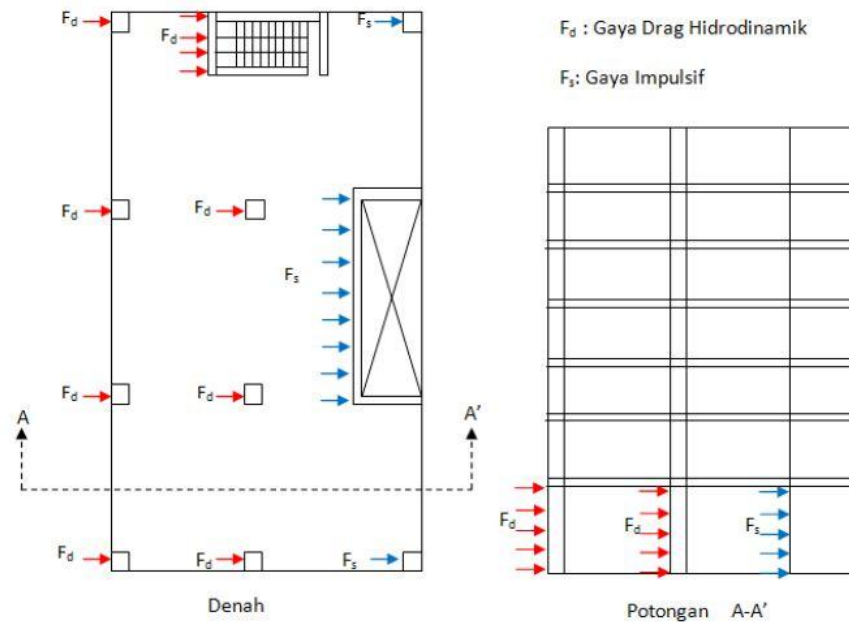
h_{max} = ketinggian genangan maksimum yang diprediksikan di lokasi

h_1 = ketinggian lantai di atas dasar

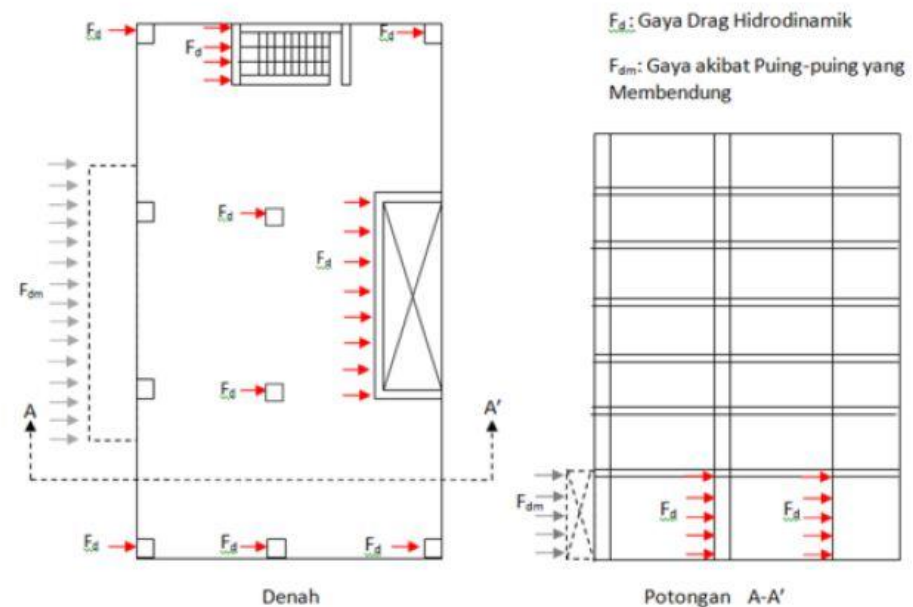
h_{bw} = ketinggian air maksimum yang bisa ditahan oleh dinding
sebelum akhirnya pecah oleh gaya hidrostatik.

Untuk lantai yang dinaikkan dengan tanpa dinding seperti tempat parkir dengan pagar teralis, air kemungkinan hanya akan bertahan sebentar saja sebelum akhirnya mengalir keluar struktur. Oleh karena itu dibutuhkan sistem drainase yang bagus untuk mencegah terjadinya genangan air yang melebihi kemampuan dari lantai tersebut untuk menahannya.

Kombinasi beban gempa dan beban terkait dengan banjir, tidak perlu diperhitungkan.



Gambar 2.16. Kombinasi Gaya Impulsif dan Gaya Hidrodinamik pada Struktur



Gambar 2.17. Kombinasi Gaya Akibat Puing-puing yang Membendung dan Gaya Hidrodinamik pada Struktur

Sumber Gambar 2.14 dan 2.15: FEMA P646 (Guidelines for Design of Structure for Vertical Evacuations from Tsunami)

2.4. Kombinasi Pembebanan

2.4.1. Kombinasi Pembebanan Beban Gravitasi

a. Kombinasi untuk pembebanan beban gravitasi berdasarkan Desain Kekuatan Batas (*Ultimate Strength Design*), yaitu LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

1) $1,2 DL + 1,6 LL$

b. Kombinasi untuk pembebanan beban gravitasi berdasarkan ASD (*Allowable Stress Design*).

1) $DL + LL$

2.4.2. Kombinasi Pembebanan Beban Gempa

a. Kombinasi untuk pembebanan beban gempa berdasarkan Desain Kekuatan Batas (*Ultimate Strength Design*), yaitu LRFD (*Load and Resistance Factor Design*).

1) $1,2DL + 1,0E + LL$

2) $0,9DL + 1,0E$

b. Kombinasi untuk pembebanan beban gempa berdasarkan ASD (*Allowable Stress Design*).

1) $DL + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$

2) $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75LL + 0,75(Lr \text{ atau } R)$

3) $0,6DL + 0,7E$

2.4.3. Kombinasi Pembebanan Beban Tsunami

Kombinasi untuk beban tsunami mengacu pada FEMA P646 yaitu sebagai berikut:

1) $1,2DL + 1,0T_s + 1,0L_{REF} + 0,25LL$

2) $0,9DL + 1,0T_s$