

## **DESAIN STRUKTUR TEMPAT EVAKUASI SEMENTARA TSUNAMI DI BENGKULU**

Alfinsa Bayu Pradana, Riko Pratama Saputra, Himawan Indarto <sup>\*)</sup>, Ilham Nurhuda <sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

### **ABSTRAK**

*Beberapa wilayah Indonesia memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap bencana tsunami. Hal ini dapat dilihat pada berbagai kejadian tsunami dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah pesisir di Indonesia dan menyebabkan kerusakan berbagai sarana dan prasarana di daerah-daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Kejadian tsunami juga seringkali menimbulkan korban jiwa yang tidak sedikit. Untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadi tsunami diperlukan suatu strategi penyelamatan. Salah satunya adalah dalam bentuk penyediaan tempat-tempat evakuasi sementara (TES) di daerah-daerah pesisir rawan tsunami, yang dapat melindungi masyarakat yang tinggal di daerah pesisir tersebut dari bencana tsunami. Untuk mengantisipasi terjadinya tsunami, hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah gaya-gaya yang terjadi akibat tsunami, diantaranya adalah gaya hidrodinamis, gaya apung, gaya hidrodinamik dan impulsif, gaya benturan, gaya angkat hidrodinamik, dan efek pembendungan dari puing yang terbawa air, beban-beban tersebut harus dipertimbangkan sedemikian rupa agar dapat menahan beban-beban akibat tsunami. Sebelum terjadi tsunami, pasti terjadi gempa dan karena daerah yang terkena tsunami pada umumnya berada dekat dengan sumber gempa maka bangunan tempat evakuasi sementara tersebut juga harus memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa.*

**kata kunci :** *Desain Struktur, Tempat Evakuasi Sementara (TES), Tsunami, di Bengkulu*

### **ABSTRACT**

*Several places in Indonesia have high vulnerability of tsunami. It can be seen from the facilities and infrastructures damages on several coastal areas caused by tsunami. It causes many victims. To minimize the risk of victims while tsunami occurs, need to prepare the rescuing strategies. One of those is providing temporary evacuation places for the coastal areas that can protect the local society from tsunami, including them are hidrodinamis, the buoyant force, hidrodinamik and impulsive, collision, lift hidrodinamik, and effects damming of debris is carried away water. In order to anticipate the tsunami, the temporary shelter should be designed to resist tsunami and earthquake loading.*

**keywords:** *The Design, of the Structure, of Tsunami Evacuation Shelter, in Bengkulu*

---

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

## **PENDAHULUAN**

Dibeberapa wilayah Indonesia karena memiliki tingkat kerawanan yang tinggi terhadap bencana tsunami. Hal ini dapat dilihat pada berbagai kejadian tsunami dalam beberapa tahun terakhir yang melanda beberapa daerah pesisir di Indonesia dan menyebabkan kerusakan berbagai sarana dan prasarana di daerah-daerah yang terkena dampak bencana tersebut. Kejadian tsunami juga seringkali menimbulkan korban jiwa yang tidak sedikit. Untuk meminimalkan risiko korban jiwa saat terjadi tsunami diperlukan suatu strategi penyelamatan. Salah satunya adalah dalam bentuk penyediaan tempat-tempat evakuasi sementara (TES) di daerah-daerah pesisir rawan tsunami, yang dapat melindungi masyarakat yang tinggal di daerah pesisir tersebut dari bencana tsunami. Karena daerah yang terkena tsunami pada umumnya berada dekat dengan sumber gempa maka bangunan tempat evakuasi sementara tersebut juga harus memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa.

### **Data umum Proyek**

Data umum dari perencanaan proyek ini sebagai berikut :

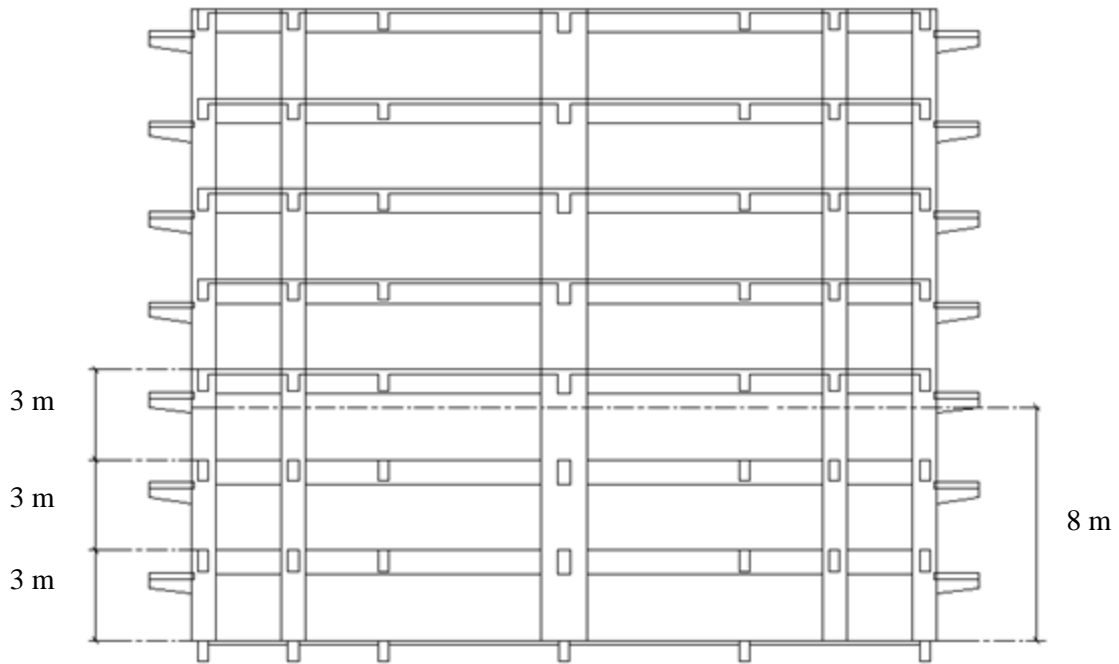
1. Nama proyek : Pembangunan Desain Struktur Tempat Evakuasi Sementara (TES), Tsunami
2. Lokasi bangunan : Bengkulu
3. Fungsi bangunan : Tempat evakuasi
4. Jumlah lantai : 7 lantai
5. Pondasi : Tiang pancang
6. Kondisi tanah : Tanah sedang ( $S_D$ )
7. Elevasi genangan : 8 m

### **Tinjauan Umum**

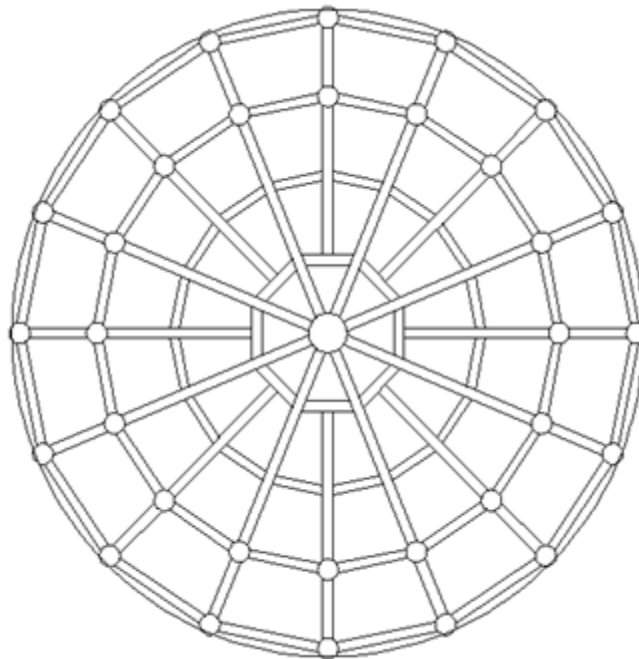
Berdasarkan sistem struktur (Pola bangunan, kolom bundar, batasan kekuatan dinding), pemilihan sistem struktur yang digunakan dan konfigurasinya dari pondasi sampai dengan rangka atap dapat memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap kemampuan bangunan TES Tsunami untuk tetap bertahan dari beban-beban tsunami, angin, dan gempa bumi. Karakteristik-karakteristik struktur yang sudah terbukti dapat memberikan perilaku yang baik ketika beban tsunami terjadi, antara lain adalah:

- a. Sistem struktur yang kuat yang memiliki kekuatan cadangan untuk menahan gaya berlebih.
- b. Sistem struktur yang terbuka sehingga air dapat mengalir melwati struktur dengan sedikit hambatan.
- c. Sistem struktur yang daktail, sehingga dapat menahan beban berlebih tanpa terjadi kegagalan.
- d. Sistem struktur dengan redundansi sehingga struktur mengalami kegagalan pada bagian tertentu tanpa menimbulkan adanya keruntuhan bertahap.

Berikut adalah gambar perencanaan bangunan TES Tsunami di Bengkulu :



Gambar 1. Gambar gedung tampak depan



Gambar 2. Gambar gedung tampak atas

Gedung berbentuk lingkaran karena memberikan beberapa keuntungan dikarenakan bentuk yang melingkar dapat meminimalisir adanya benturan akibat tsunami, semakin sedikit bidang yang berpotensi tegak lurus terhadap arah datang arus, maka semakin sedikit pula resiko yang akan timbul terhadap struktur bangunan yang ditimbulkan oleh terjebaknya

benda-benda yang terbawa oleh arus tsunami. Hal ini berlaku juga untuk arus balik air menuju pantai.

## **METODOLOGI**

Metodologi pelaksanaan dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Identifikasi masalah dan survai lapangan  
Pengumpulan studi pustaka tentang panduan bangunan terhadap gempa sebagai bahan referensi dan literatur
2. Inventarisasi kebutuhan data
3. Pengumpulan data:
  - a. Data primer : kondisi/situasi lokasi bangunan saat ini, luas lokasi pembangunan, kondisi tanah, dan keperluan bangunan sebagai tempat evakuasi
  - b. Data sekunder : peta situasi, denah lokasi pembangunan, populasi masyarakat, keadaan tanah, jarak bibir pantai dengan bangunan, data tanah, dan elevasi permukaan tanah.
4. Analisis data :
  - a. Perhitungan kategori resiko bangunan gedung untuk beban gempa
  - b. Perhitungan spektrum respon percepatan desain
  - c. Analisis beban-beban tsunami
  - d. Perhitungan struktur atas
  - e. Perhitungan Balok
  - f. Perhitungan Pondasi, Tie-Beam dan tangga
5. Analisa kekuatan dari bangunan gedung evakuasi
6. Perencanaan tempat gedung tempat evakuasi tsunami
7. Pembuatan gambar gedung tempat evakuasi tsunami

## **Analisa Dan Perhitungan**

Tahapan perencanaan dan analisis perhitungan beserta acuannya dalam perencanaan desain struktur tempat evakuasi sementara tsunamidalah sebagai berikut:

1. Penentuan tipe bangunan, berupa sistem struktur (Pola bangunan, kolom bundar, batasan kekuatan dinding)
2. Penentuan dimensi elemen struktur
3. Penentuan beban – beban yang bekerja pada struktur baik beban gravitasi / vertikal maupun beban gempa / lateral dan beban-beban akibat tsunami
4. Permodelan tumpuan pondasi tiang pancang
5. Desain elemen struktur seperti *slab* (pelat), *pile head* dan tiang pancang
6. Pembuatan gambar desain

## **Standar Yang Digunakan**

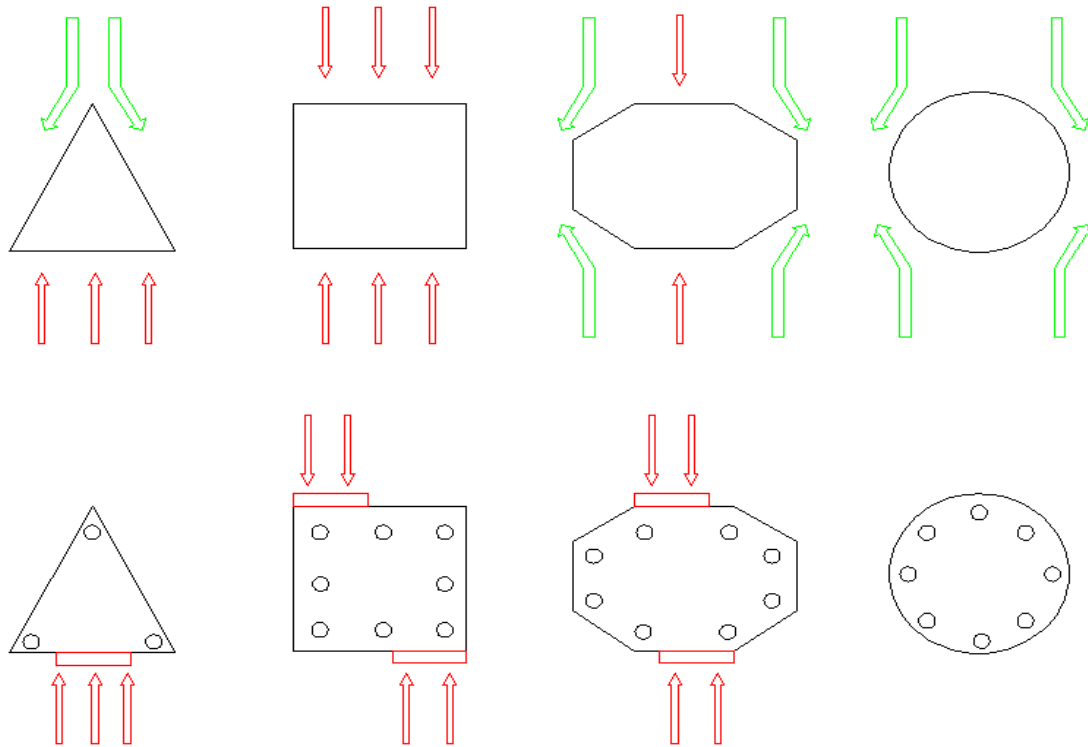
Untuk keperluan perencanaan desain struktur tempat evakuasi, digunakan standar struktur yang berlaku di Indonesia, yaitu:

1. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)
2. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)

3. Pedoman Teknik Perancangan Struktur Bangunan, Tempat Evakuasi Sementara Tsunami (Pusat Penelitian Mitigasi Bencana 2013)
4. Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)
5. Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012)

**Penentuan Tipe Bangunan**

Berikut ilustrasi berbagai macam bentuk bangunan dan akibat alus air tsunami :



Keterangan



: benturan yang terjadi akibat arus tsunami



: arus yang dilewati tsunami

Dari sisi penggunaan bentuk lingkaran dapat mengalihkan arus yang dtimbulkan oleh benturan yang terjadi akibat arus tsunami serta memberikan petunjuk secara optimal hal ini di sebabkan karena memenuhi kriteria *landmark* (bentuk dan fungsi).

**Pembebanan Pada Struktur**

Menurut SNI 1727-2013, Kombinasi pembebanan yang harus diperhitungkan adalah :

Tabel 1. Kombinasi pembebanan

No	Kombinasi Pembebanan
1	1,4D 1,2 D + 1,6L <sub>r</sub> + L
2	1,2D+ 1,6L + 0,5 L <sub>r</sub>
3	1,2D + 1,0E + L
4	0,9D + 1,0E
5	1,2 D + 1,0 T <sub>s</sub> + 1,0 L <sub>REF</sub> + 0,25 L
6	0,9 D + 1,0 T <sub>s</sub>

Sumber: SNI 1727-2013

**Keterangan**

D = beban mati

L = beban hidup

L<sub>r</sub> = beban hidup di luar area penghunian

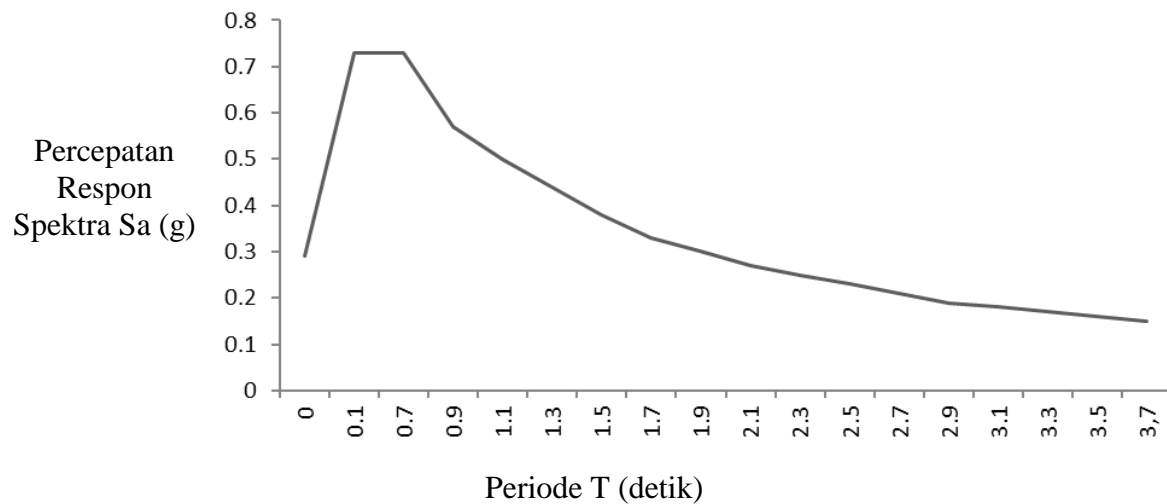
E = beban gempa

T<sub>s</sub> = beban tsunami

L<sub>REF</sub> = beban hidup di area pengungsian

**Pembebanan Akibat Gempa**

Dengan menggunakan *software on-line* yang tersedia pada situs : [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id) ([http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)) dan dengan memasukan data koordinat dari Kota Bengkulu yang termasuk dalam kategori sebagai Tanah Sedang (S<sub>D</sub>), didapatkan Grafik Percepatan Respon Spektrum Desain untuk wilayah kota bangun dan sekitarnya seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Nilai Spektrum Respons Percepatan Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S<sub>DS</sub> dan pada perioda 1 detik, S<sub>D1</sub> dapat ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = 0.73$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{MI} = 0.5$$

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{DS}$ ) sebesar 0.73 dan parameter respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{D1}$ ) sebesar 0.5 adalah KDS D dapat di lihat pada Tabel 2 dan 3 :

Tabel 2. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek

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

Tabel 3. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	C
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sehingga dari SNI 1726-2012 kategori desain seismik berdasarkan nilai  $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$  dan kategori resiko adalah termasuk dalam KDS D.

Material yang dipilih beton bertulang dan sistem penahan-gaya seismik yang diijinkan adalah sistem rangka pemikul momen Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (SRPMK) dengan koefisien modifikasi respons ( $R$ ) = 8,0.

**Pembebanan Akibat Tsunami**

Pembangunan tempat evakuasi sangat dibutuhkan, karena tinggi dari tsunami atau genangan air pada bangunan mencapai tinggi 8 meter, berikut tahap perhitungan yang dilakukan :

1. Gaya hidrostatik

Bangunan TES yang dirancang merupakan bangunan dengan system portal dimana elemen strukturnya hanya balok, kolom dan pelat. Gaya hidrostatik ini biasa diperhitungkan untuk struktur yang panjang seperti seawall dan bendungan atau untuk mengevaluasi individu panel dinding yang memiliki ketinggian air yng berbeda antara satu sisi dengan sisi lainnya. Pada rancangan ini dinding tidak dianggap sebagai elemen

struktur melainkan elemen struktural yang diperbolehkan hancur saat tsunami, sehingga gaya hidrostatik tidak diperhitungkan.

Untuk rumus perhitungan dari Hidrostatik adalah sebagai berikut :

$$F_h = P_c \times A_w = \frac{1}{2} \times p_s \times g \times b \times h_{max} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

$P_c$  =tekanan hidrostatik

$p_s$  =merupakan kerapatan fluida termasuk endapan (1100 kg/m<sup>3</sup>)

$A_w$  = luasan panel yang basah

$b$  = lebar dinding

$g$  = percepatan gravitasi

$h_{max}$ = ketinggian maksimum air yang diukur dari bagian dasar dinding pada struktur

2. Gaya apung

Pada perancangan bangunan ini tinggi genangan tsunami rencana sebesar 8m yang terletak antara lantai 2 dan 3, tetapi pada lantai 1,2 dan 3 tidak terdapat plat lantai seperti terlihat pada gambar 2. Sehingga gaya apung tidak diperhitungkan.

Untuk rumus perhitungan dari gaya apung adalah sebagai berikut :

$$F_b = p_s \times g \times V \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$p_s$  = merupakan kerapatan fluida termasuk endapan (1100 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi

$V$  = volume air yang dipindahkan oleh bangunan (volume yang berada di bawah hmax

3. Gaya hidrodinamik dan impulsif

Gaya angkat akan bekerja pada lantai bangunan yang terendam oleh genangan tsunami. Selain itu, dalam merencanakan beban gravitasi yang mungkin terjadi, bangunan TES Tsunami harus dirancang agar dapat menahan gaya angkat yang disebabkan oleh gaya apung dan gaya hidrodinamik. Ketika memperhitungkan gaya apung pada pelat lantai, harus mempertimbangkan adanya tambahan volume air yang dipindahkan akibat adanya udara yang terperangkap dalam lantai sistem portal. Di sisi lain, dinding eksterior pada lantai di atasnya akan mengeluarkan air sampai tahanan lateralnya terlewati akibat adanya tekanan hidrostatik

$$F'_d1 = \frac{F_d}{R - Z} = 7,925 \text{ kN/m}$$

$$F'_d2 = \frac{F_d}{R - Z} = 14,859 \text{ kN/m}$$

$$F'_s = \frac{F_s}{R - Z} = 11,888 \text{ kN/m}$$

Keterangan :

$F'_d$  = besar gaya hidrodinamik

$R$  =elevasi kenaikan air maksimum

$Z$  = rendaman yang terjadi akibat tsunami



4. Gaya benturan

$$F_1 = 1,3 \times U_{\max} \sqrt{k \times md \times (1 + c)} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_1 = 535225,719 \text{ N} = 535,226 \text{ KN}$$

Keterangan :

$U_{\max}$  = kecepatan aliran maksimum yang membawa puing-puing ke lokasi bangunan (puing diasumsikan bergerak dengan kecepatan yang sama dengan arus), kecuali untuk puing yang mengalir pada bagian dasar arus di mana kecepatan boleh direduksi hingga 50%

C = koefisien mass hidrodinamik yang merepresentasikan efek dari pergerakan fluida pada puing

K = kekakuan gabungan bersih efektif dari puing dari hantaman dan elemen struktur terhantam yang terdeformasi dari efek dari puing penghantam dan elemen struktur terhantam yang berdeformasi akibat hantaman (yakni  $1/k = 1/k_s + 1/k_d$ )

md = massa dari puing

5. Gaya angkat hidrodinamik

$$F_u = \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B \times (h \times u^2)_{\max} = \frac{1}{2} \times 3 \times 1100 \times 0,05^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$F_u = 4,125 \text{ kg/m}^2 = 0,04125 \text{ kN/m}^2$$

Keterangan :

$F_u$  = gaya hidrodinamik

$\rho_s$  = kerapatan fluida termasuk endapan ( $1100 \text{ kg/m}^3$ )

$C_d$  = koefisien drag

B = lebar struktur pada bidang normal dari arah aliran atau arah paralel terhadap pantai

h = kedalaman aliran

u = kecepatan aliran pada lokasi struktur berada

Gaya angkat hidrodinamik yang dihasilkan tidak terlalu signifikan untuk diperhitungkan. Salah satu faktornya adalah karena kemiringan pantai yang cukup landai yaitu sebesar 1:100

6. Efek pembendungan dari puing yang terbawa air

Pembendungan yang disebabkan oleh akumulasi dari puing-puing yang terbawa air dapat menghasilkan suatu gaya yang berasal dari air yang membawanya yang diperlakukan sebagai gaya hidrodinamik. Nilai dari gaya ini ditentukan oleh luasnya puing-puing yang membendung tersebut terhadap permukaan struktur. Besarnya efek pembendungan ini dihitung dengan mengacu pada persamaan yang digunakan saat menghitung besarnya gaya hidrodinamik, yaitu sebagai berikut:

$$F_{dm} = \frac{1}{2} \times \rho_s \times C_d \times B_d \times (h \times u)^2_{\max} = 26,71 \text{ kN/m} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$F_{dm}$  = gaya akibat pembendungan puing-puing,  $B_d$  merupakan lebar dari puing-puing yang membendung

$\rho_s$  = kerapatan fluida termasuk endapan ( $1100 \text{ kg/m}^3$ )

$C_d$  = koefisien drag

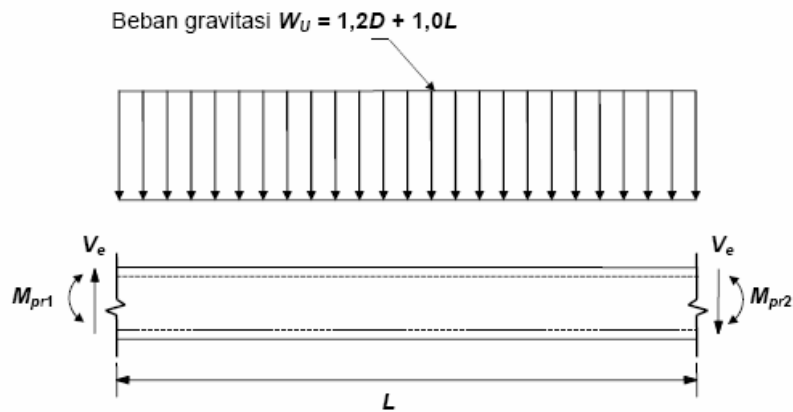
$B_d$  = lebar dari puing-puing yang membendung

h = kedalaman aliran

$u$  = kecepatan aliran pada lokasi struktur berada

**Perencanaan Balok Induk**

Pada perencanaan balok induk, dimensi tinggi balok induk direncanakan dengan  $h = (1/10 - 1/15) L$  dan lebar balok induk diambil  $b = (1/2 - 2/3) h$ . Balok harus memikul beban gempapada dengan perencanaan lentur momen ultimit ( $M_u \leq$  momen nominal ( $M_n$ ) pada daerah tumpuan dan lapangan balok. Kuat lentur maksimum ( $M_{pr}$ ) pada daerah sendi plastis dihitung berdasarkan tulangan terpasang dengan tegangan tarik baja  $f_s = 1,25 f_y$  dan faktor reduksi 1,0 dan tidak boleh lebih kecil dari gaya geser berdasarkan analisis struktur.



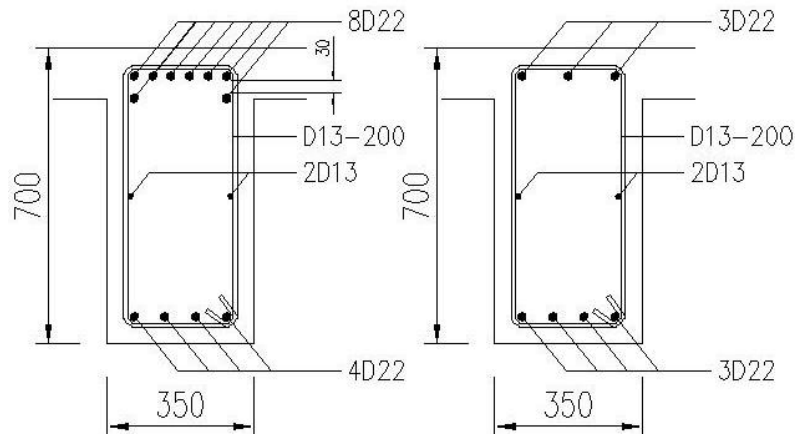
Gambar 5. Probable Moment Balok Menahan Gempapada ke Kiri dan Kanan

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u \cdot l_n}{2} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

- $V_e$  = Gaya geser akibat sendi plastis di ujung – ujung balok
- $M_{pr}$  = Kekuatan lentur mungkin komponen struktur
- $W_u$  = Gaya geser terfaktor
- $l_n$  = Panjang bentang bersih

Dari hasil perhitungan, didapatkan diameter tulangan utama D22, diameter tulangan sengkang D13 dan diameter tulangan torsi D13.



Gambar 6. Penulangan balok induk pada tumpuan (kiri) dan lapangan (kanan)

**Perencanaan Kolom**

Kolom dirancang lebih kuat dibandingkan balok (*strong column weak beam*) Kolom ditinjau terhadap portal bergoyang atau tidak bergoyang, serta ditinjau terhadap kelangsingan. Kuat lentur kolom dihitung berdasarkan desain kapasitas *strong column weak beam* yaitu sebagai berikut:

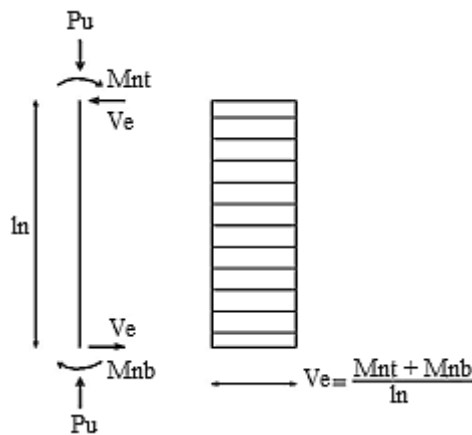
$$\Sigma Mc > 1,2 \Sigma Mg \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

$\Sigma Mc$  = momen nominal kolom

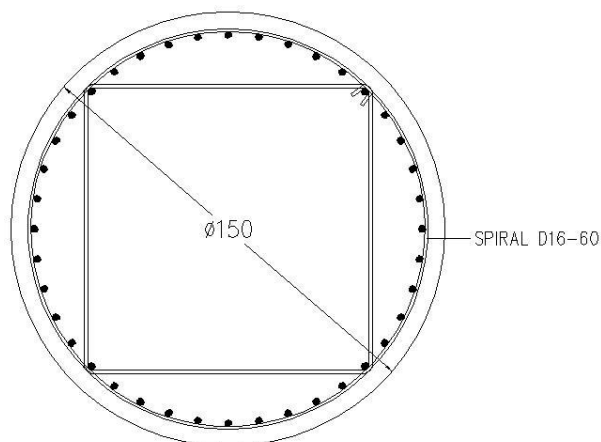
$\Sigma Mg$  = momen nominal balok

Pada perencanaan kolom, gaya geser didapat dengan menjumlahkan Mpr kolom atas dengan Mpr kolom bawah dibagi dengan tinggi bersih kolom. Gaya geser tidak perlu diambil lebih besar gaya geser rencana dari kuat hubungan balok kolom berdasarkan Mpr balok, dan tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur.



Gambar 7. Gaya Geser Rencana Kolom SRPMK

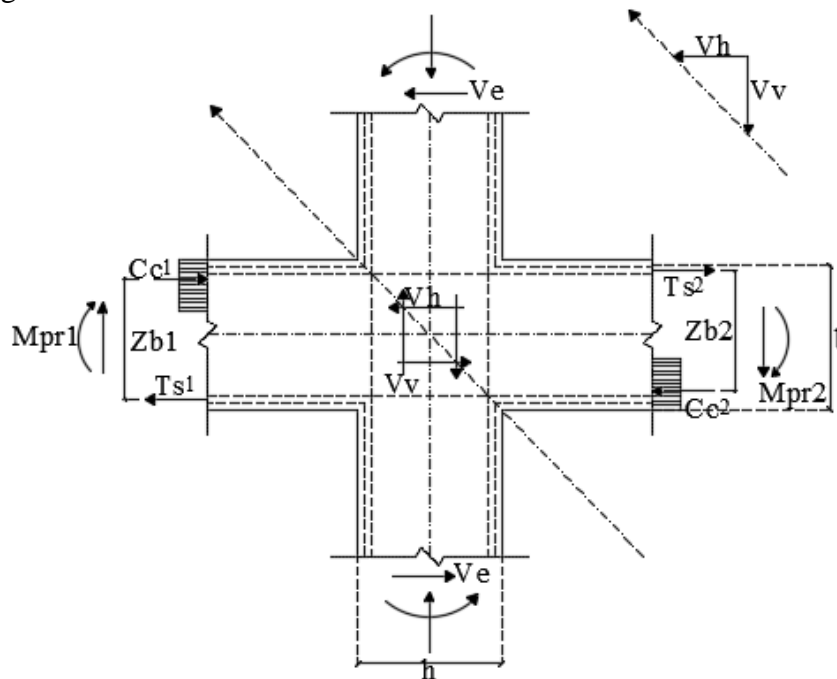
Dari hasil perhitungan, didapatkan jumlah tulangan utama 36 dengan diameter tulangan utama D25 dan diameter tulangan sengkang D16.



Gambar 8. Penulangan kolom

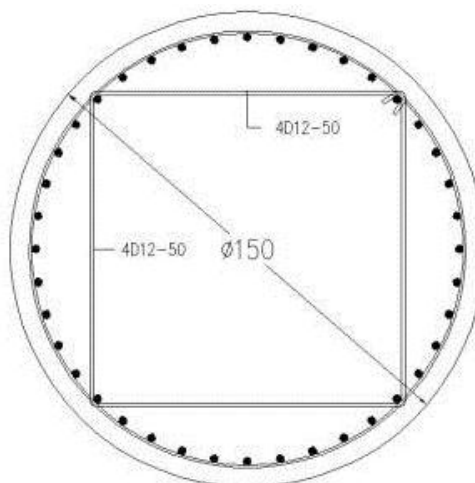
### Perencanaan Hubungan Balok Kolom

Hubungan balok–kolom (HBK) atau *beam–column joint* mempunyai peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu struktur gedung bertingkat tinggi dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Hal ini dikarenakan joint yang menghubungkan balok dengan kolom akan sangat sering menerima gaya yang dihasilkan oleh balok dan kolom secara bersamaan. Hal ini dapat mengakibatkan joint yang mempertemukan balok dan kolom menjadi tidak kuat dan cepat runtuh. Maka dari itu diperlukan tulangan pengekuat untuk mampu menerima dan menyalurkan gaya-gaya yang dihasilkan oleh balok dan kolom. Sehingga konsep SRPMK dapat dipenuhi. Dapat kita lihat free body gayanya seperti pada gambar dibawah :



Gambar 9. Gaya–gaya yang bekerja pada hubungan balok-kolom

Dirancang tulangan 4 leg D12 ( $A_{st} = 530,92 \text{ mm}^2$ ), dengan spasi minimum tulangan adalah 50 mm.



Gambar 10. Detail tulangan pengekuat pada hubungan balok-kolom

### Perencanaan Pondasi

Pondasi pada struktur gedung ini direncanakan menggunakan pondasi Tiang pancang. Latar belakang pemilihan tipe pondasi tersebut adalah berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi perencanaan, yang menyatakan bahwa untuk bangunan gedung dengan beban berat.

Adapun spesifikasi dari pondasinya sebagai berikut:

Dimensi Pancang	= 40cm x 40cm
Kedalaman (H)	= 12000 cm = 12 m
Luas penampang beton ( $A_b$ )	= 1600 cm <sup>2</sup>
Keliling pondasi	= 160 cm
$f'_c$ pancang dan <i>pile cap</i>	= 25 MPa
Tebal <i>Pile cap</i>	= 1200 mm

Berdasarkan hasil dari analisis struktur untuk tiang pancang yang ditinjau, diperoleh beban aksial dan momen lentur sebesar :

$$P_u = 8202,480 \text{ kN} = 820 \text{ Ton (ordinat)}$$

$$M_u = 3813,92 \text{ kNm} = 381 \text{ Ton.m (absis)}$$

Untuk daya dukung tanah yang digunakan adalah dengan nilai terkecil, dengan menggunakan 4 metode. Metode yang digunakan dapat dilihat dari rumus sebagai berikut :

1. Berdasarkan kekuatan bahan pondasi tiang pancang

$$Q_{ult} = 0,85 \times A \times f'_c \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

$Q_{ult}$  = daya dukung batas pondasi sumuran (ton)

$A$  = luas penampang beton (cm<sup>2</sup>)

$f'_c$  = tegangan ijin beton (kg/cm<sup>2</sup>)

2. Berdasarkan Nilai  $q_c$  (*conus resistance*) dan  $f_s$  (*Total friction*) metode Meyerhoff :

$$Q_{ult} = q_c \cdot A_b + f_s \cdot A_s \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = daya dukung batas pondasi sumuran (Kg)

$q_c$  = *conus resistance* ujung pondasi (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_b$  = Luas penampang pondasi sumuran (cm<sup>2</sup>)

$f_s$  = *total friction* (kg/cm)

$A_s$  = keliling penampang pondasi sumuran (cm)

3. Berdasarkan Nilai  $\phi$  (Sudut geser Tanah) metode Meyerhoff :

$$Q_{ult} = A_b \cdot \gamma \cdot L \cdot N_q^* \tan \phi + f_s \cdot A_s \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

$Q_{ult}$  = daya dukung batas pondasi sumuran (Kg)

$A_b$  = Luas penampang bore pondasi sumuran (cm<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Berat jenis tanah (kg/cm<sup>2</sup>)

$L$  = Panjang pondasi sumuran (cm)

$N_q^*$  = koefisien Sudut Geser tanah

$\phi$  = Sudut geser tanah (°)

$f_s$  = *total friction* (kg/cm)

$A_s$  = keliling penampang pondasi sumuran (cm)

4. Berdasarkan Hasil *Bor Log* (N-SPT) metode Meyerhoff :

$$Q_{ult} = 40.N_b.A_b + 0,5.\bar{N}.A_s \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

$\bar{N}_b$  = Nilai N-SPT Pada elevasi dasar pondasi sumuran,

dihitung dengan rumus :  $\frac{N_1 + \bar{N}_2}{2}$

$N_1$  = Harga N pada ujung pondasi sumuran

$N_2$  = Harga N rata- rata pada jarak 4D dari ujung pondasi sumuran.

$Q_{ult}$  = daya dukung batas pondasi sumuran (ton)

$A_b$  = luas penampang dasar pondasi sumuran (m<sup>2</sup>)

$N$  = nilai N-SPT rata-rata

$A_s$  = luas selimut pondasi sumuran (m<sup>2</sup>).

Tahanan kulit/Friksi (Qs) digunakan metode broms, sebagai berikut :

Tabel 4.Korelasi antara tipe tanah dengan  $n_h$

Tanah	$n_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	Referensi
Lempung terkonsolidasi	166 – 3518	Reese dan Matlock (1956)
Normal lunak	277 – 554	Davisson Prakish (1963)
Lempung terkonsolidasi normal	111 – 27	Peck dan Davisson (1962)
Organik	111 – 831	Davisson (1970)
Gambut	55	Davisson (1970)
Gambut	27,8 – 111	Wilson dan Hilts (1967)
Loess	8033 - 11080	Bowles (1968)

Tabel 5.Korelasi antara nilai N-SPT dengan nilai  $q_c$

Subsurface Condition	Penetration Resistance Range (N)	Friction Angle (deg)	Poisson Ratio (v)	Cone Penetration $q_c = 4N$	Relative Density $D_r$ (%)	Young's Modulus Range $E_s^*$ (psi)	Shear Modulus Range $G^*$ (psi)
Very loose	0 – 4	28	0,45	0 – 16	0 – 15	0 – 440	0 – 160
Loose	4 – 10	28 – 30	0,40	16 – 40	15 – 35	440 – 1100	160 – 390
Medium	10 – 30	30 – 36	0,35	40 – 120	35 – 65	1100 – 3300	390 – 1200
Dense	30 – 50	36 – 41	0,30	120 – 200	65 – 85	3300 – 5500	1200 – 1900
Very Dense	50 - 100	41 - 45	0,20	200 - 400	85 - 100	5500 - 11000	1900 - 3900

Parameter kuat geser kondisi undrained  $C_u$  ditentukan dari harga tahanan ujung konus sondir berdasarkan pendekatan empiris Sanglerat (1972), *The Penetration and Soil Exploration*, yaitu:

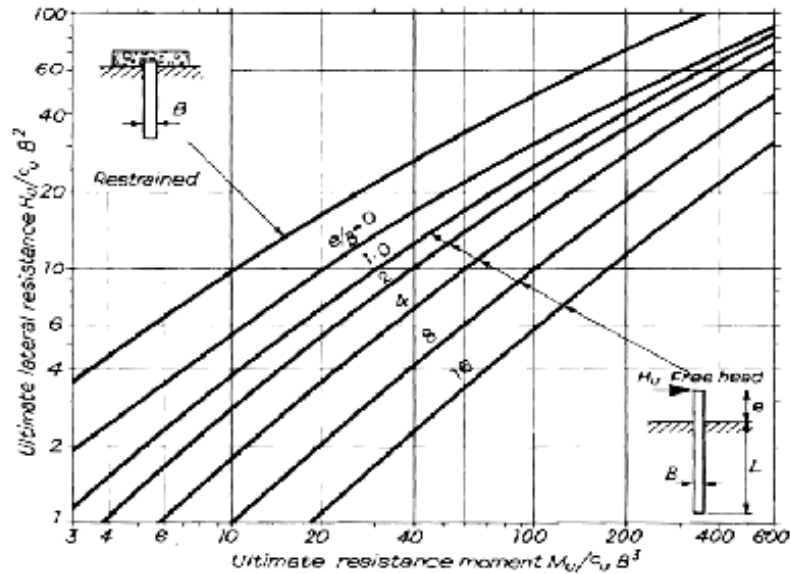
$$C_u = \frac{qc}{15} s / d \frac{qc}{20} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

$C_u$  = kuat geser lempung jenuh (ton/m<sup>2</sup>)

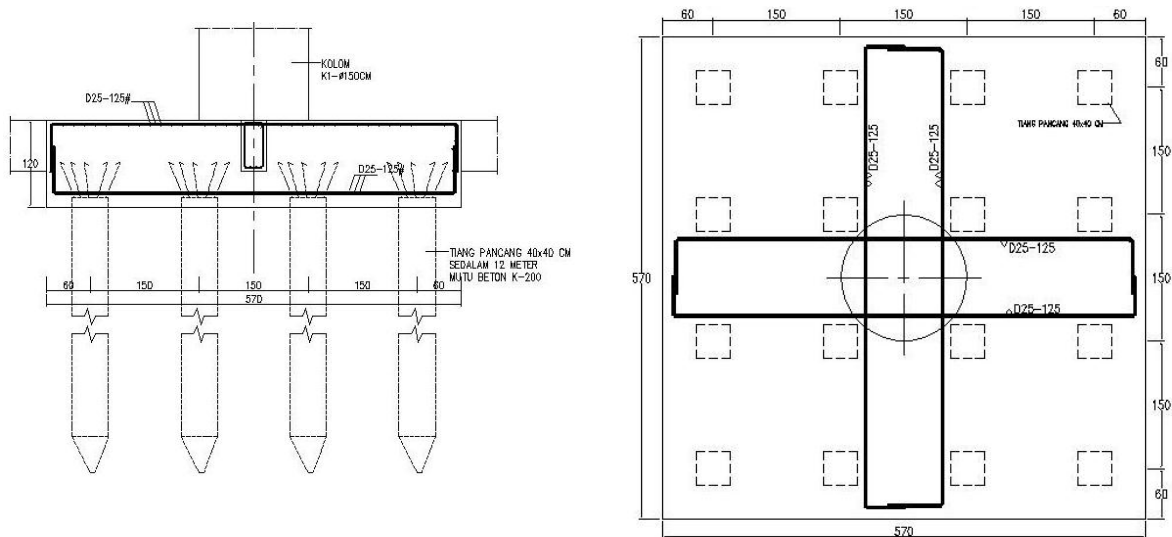
$q_c$  = *conus resistance* ujung pondasi (kg/cm<sup>2</sup>)

Dengan menggunakan tabel broms, maka didapat nilai momen ultimate



Gambar 11. Grafik Broms *Ultimate Lateral Resistance* (Das, 2004) pada tiang pancang

Berdasarkan perhitungan perhitungan diatas, diperoleh nilai  $Q_{all}$  sebesar 100 ton. Dari hasil perhitungan penulangan tiang pancang, didapatkan jumlah tiang pancangnya adalah 16 buah dan ukuran tiang pancangnya adalah 40x40 cm. Dari perhitungan *pile cap* diperoleh diameter tulangan utama D25 dan dengan jarak spasi sebesar 125 mm.



Gambar 12. Detail penulangan pondasi tiang pancang dan potongannya.

## KESIMPULAN

Hasil perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi yang telah dibahas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pembangunan Tempat Evakuasi Sementara (TES) dapat menahan beban-beban yang terjadi akibat genangan tsunami yang terjadi, hal tersebut dapat terjadi dengan mempertimbangkan segala aspek beban yang timbul, sehingga bangunan dapat bertahan terhadap tsunami.

2. Sebelum terjadi tsunami pasti sebelumnya terjadi gempa, maka daripada itu bangunan harus tahan terhadap gempa. Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang dapat bertahan dari keruntuhan akibat getaran gempa, serta memiliki fleksibilitas untuk meredam getaran. Prinsipnya pada dasarnya ada dua, yaitu kekakuan struktur dan fleksibilitas peredaman sehingga bangunan harus memiliki dua komponen tersebut.
3. Perencanaan dan perhitungan analisis struktur tahan gempa sesuai dengan peraturan struktur yang ada, seluruh elemen pada gedung dapat dibentuk menjadi suatu kesatuan sistem struktur. Pelat lantai dan balok berfungsi untuk menahan beban gravitasi dan menyalurkan ke kolom, sementara kolom berfungsi untuk menahan beban lateral seperti beban gempa. Kedua sistem tersebut digabungkan dan didisain terhadap beban gempa dengan metode analisis dinamik spektrum respons
4. Perencanaan struktur ini didisain menggunakan Sistem Rangka Gedung dengan menggunakan konfigurasi kerutuhan struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menggunakan konsep disain kapasitas (*capacity design*), sehingga menghasilkan perilaku struktur *strong column-weak beam*.

## **SARAN**

Penulis bermaksud memberikan beberapa saran yang berkaitan dengan Gedung Tempat Evakuasi Sementara sebagai berikut:

1. Bangunan harus memiliki tinggi yang lebih untuk menjaga tinggi genangan tsunami agar dapat melewati struktur sehingga terhindar dari hantaman akibat air genangan.
2. Pada daerah yang memiliki gempa dengan skala yang besar, struktur hendaknya memiliki kekakuan dan fleksibilitas yang mampu mengimbangi besar gempa yang terjadi.
3. Sebaiknya dipilih metode analisis disain kapasitas untuk perencanaan struktur gedung tahan gempa agar tercapai perilaku *strong coloumn-weak beam*. Dengan demikian, akan dihasilkan disain yang kokoh, namun tetap ekonomis dan efisien

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Asroni, Ali, 2010. *Balok Beton Bertulang, Edisi Pertama*, Graha Ilmu, Surakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, 2015. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729 – 2015*, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2013, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 03-1726-2012, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktural Lain*, SNI 1727-2013, BSN, Bandung.
- Dewobroto, Wiryanto, 2007. *Aplikasi Rekayasa Kontruksi dengan SAP2000*, Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Pusat Penelitian Mitigasi Bencana, 2013. *Pedoman Teknik Perancangan Struktur Bangunan, Tempat evakuasi Sementara Tsunami*, ITB, Bandung.
- Sidharta, 1997. *Rekayasa Fundasi IIFundasi Dangkal dan Fundasi Dalam*, Gunadarma, Jakarta.