

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **A. Gempa Bumi**

##### **1. Pengertian Gempa**

Gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang seismic yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena menimbulkan kerusakan pada benda-benda atau bangunan di permukaan bumi. Besarnya kerusakan sangat tergantung dengan besar dan lamanya getaran yang sampai ke permukaan bumi. Rusaknya bangunan akibat gempa tergantung dengan kekuatan struktur bangunan itu sendiri. (Hartuti, 2009). Menurut proses terjadi, gempa bumi diklasifikasikan menjadi lima.

1. *Gempa Tektonik*, yaitu gempa yang terjadi akibat adanya tumbukan lempeng-lempeng di lapisan litosfer kulit bumi oleh tenaga tektonik.
2. *Gempa Vulkanik*, yaitu gempa yang terjadi akibat aktivitas gunung merapi.
3. *Gempa Runtuhan* (longsor), yaitu gempa yang terjadi akibat adanya runtuh tanah atau batuan.
4. *Gempa Buatan*, yaitu gempa yang memang sengaja dibuat oleh manusia. Contoh ledakan nuklir di bawah tanah atau di laut dapat menimbulkan getaran permukaan bumi.
5. *Gempa Jatuhan*, yaitu gempa yang terjadi akibat adanya benda langit yang jatuh ke bumi. (Hartuti, 2009).

##### **2. Dampak Gempa (Tektonik)**

###### **1. Dampak Primer**

Dampak primer yaitu dampak yang diakibatkan oleh getaran gempa. Berikut dampak primer dari gempa bumi tektonik.

- a. Dapat merusak bangunan dan infrastruktur lainnya.

- b. Banyak korban meninggal akibat reruntuhan bangunan.
- c. Kehilangan harta benda yang ikut tertimbun dalam reruntuhan bangunan.

## 2. Dampak Sekunder

Dampak sekunder yaitu dampak lain yang dipacu adanya gempa. Berikut dampak sekunder dari gempa bumi tektonik.

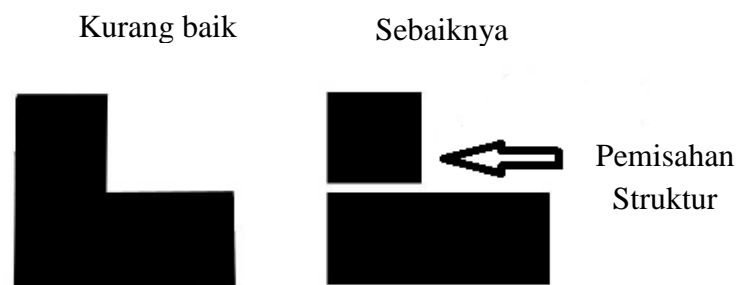
- a. Tsunami
- b. Tanah lonsor
- c. Tanah yang menjadi cairan kental (*liquefaction*)
- d. Kebakaran
- e. Dll. (Hartuti, 2009).

## **B. Bangunan Tahan Gempa**

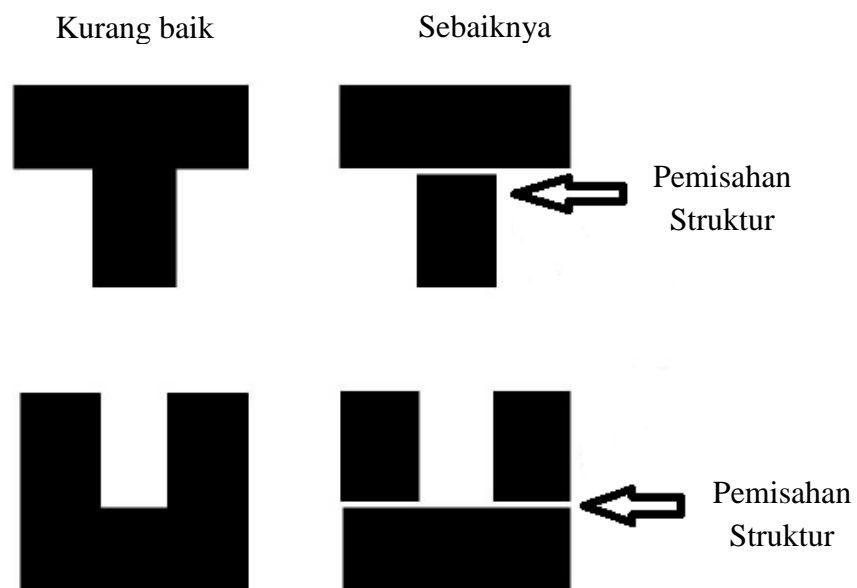
Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang mampu meredam energi gempa yang terjadi, melalui kombinasi gaya dalam bangunan yang dihasilkan dari komponen struktur dan non struktur bangunan. Sehingga apabila terjadi gempa khususnya gempa dengan skala besar, bangunan sekolah dapat memberikan perlindungan maksimal dimana penghuni bangunan memiliki kesempatan untuk menyelamatkan diri sebelum terjadi keruntuhan atau meminimalisir terjadinya tingkat kerusakan bangunan. (Pedoman Teknis Bangunan Sekolah Tahan Gempa 2010)

Dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Cipta Karya Nomor. 111/KPTS/CK/1993 Tentang Pedoman Bangunan Tahan Gempa, disebutkan bahwa dasar-dasar perencanaan bangunan tahan gempa meliputi:

1. Bentuk denah bangunan sebaiknya sederhana dan simetris.

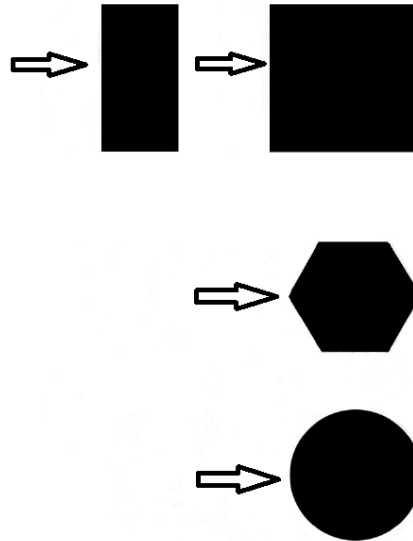


Gambar 3.1a. Pemisahan struktur  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)



Gambar 3.1b. Pemisahan struktur  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

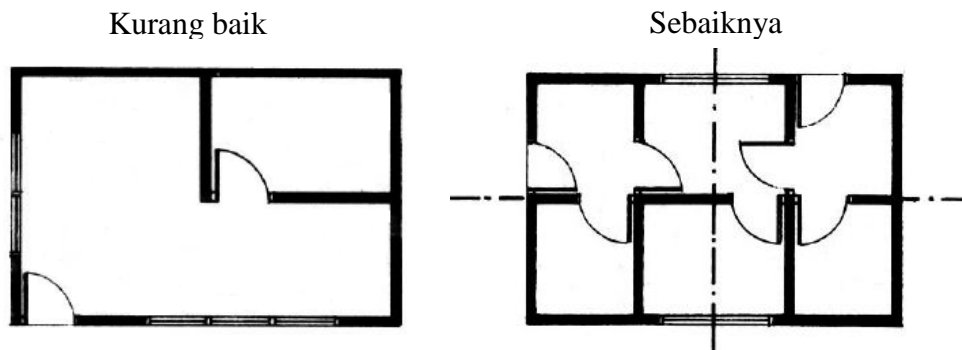
## Sederhana dan Simetris



Gambar 3.2. Bentuk bangunan sederhana dan simetris  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

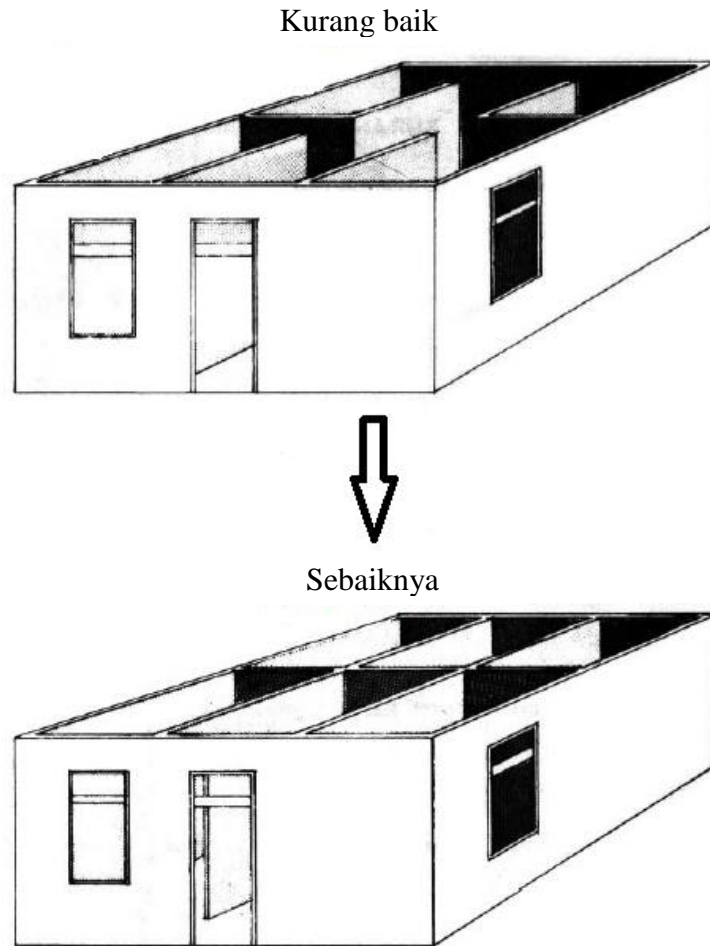
2. Penempatan dinding-dinding penyekat dan lubang-lubang pintu/jendela diusahakan sedapat mungkin simetris terhadap sumbu-sumbu denah bangunan.

Contoh:



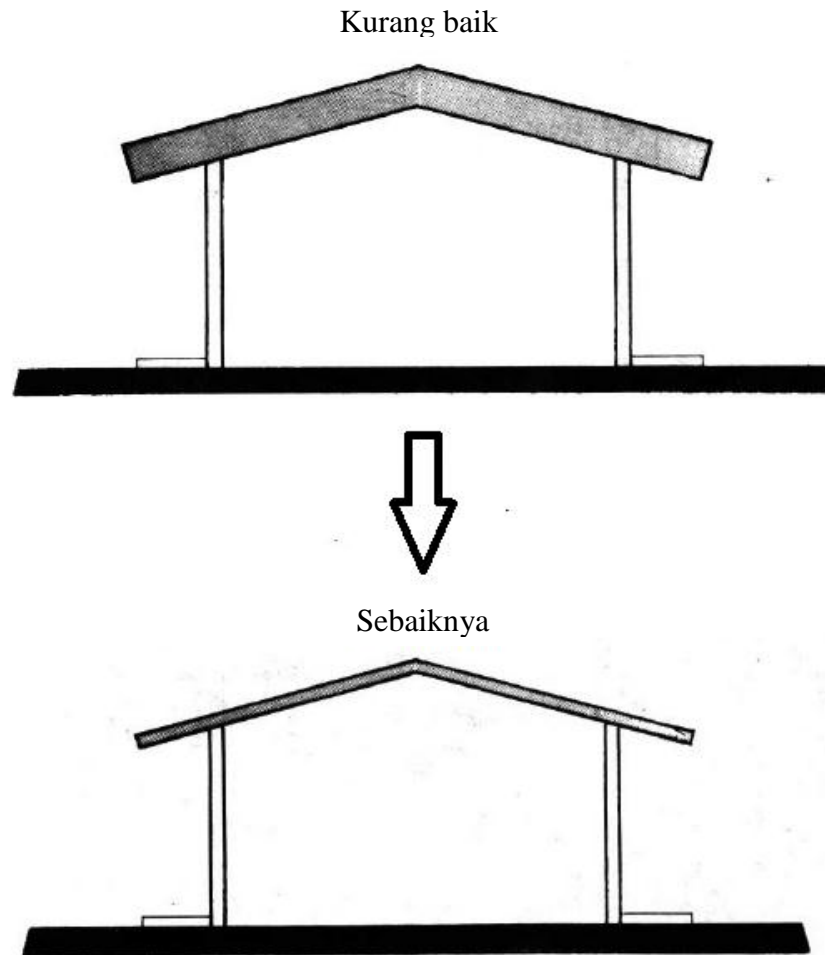
Gambar 3.3. dinding penyekat dan lubang pintu/jendela  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

3. Bidang-bidang dinding sebaiknya membentuk kotak-kotak tertutup



Gambar 3.4. Bentuk bidang-bidang dinding  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

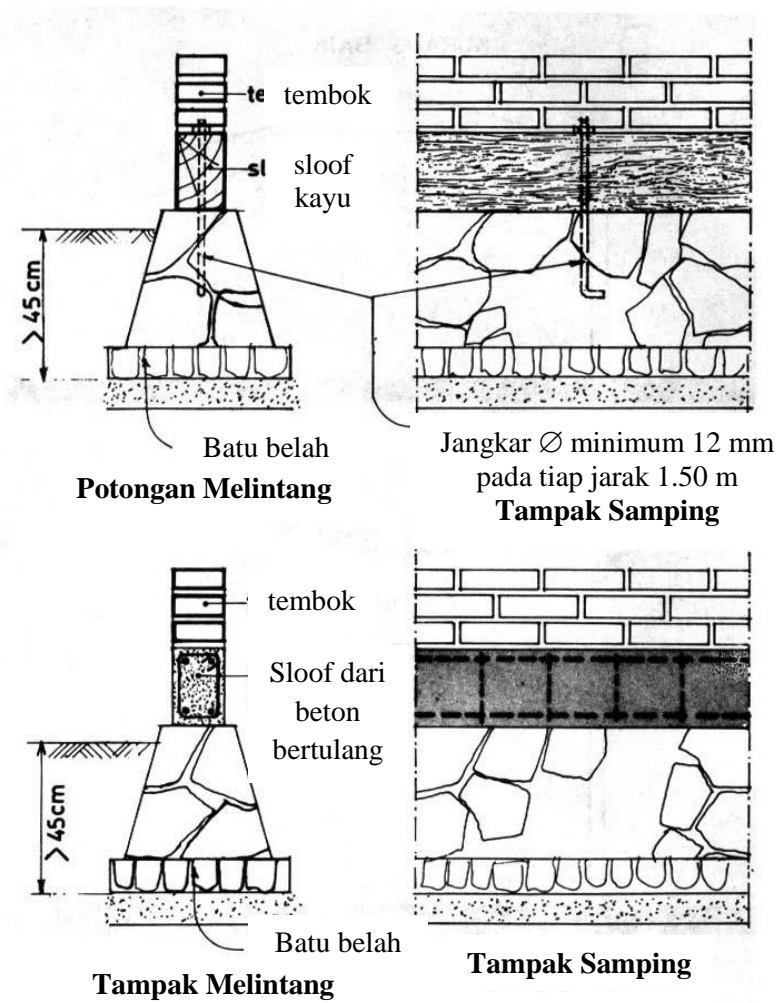
4. Atap sedapat mungkin dibuat yang ringan.



Gambar 3.5. Atap bangunan  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

## 5. Pondasi

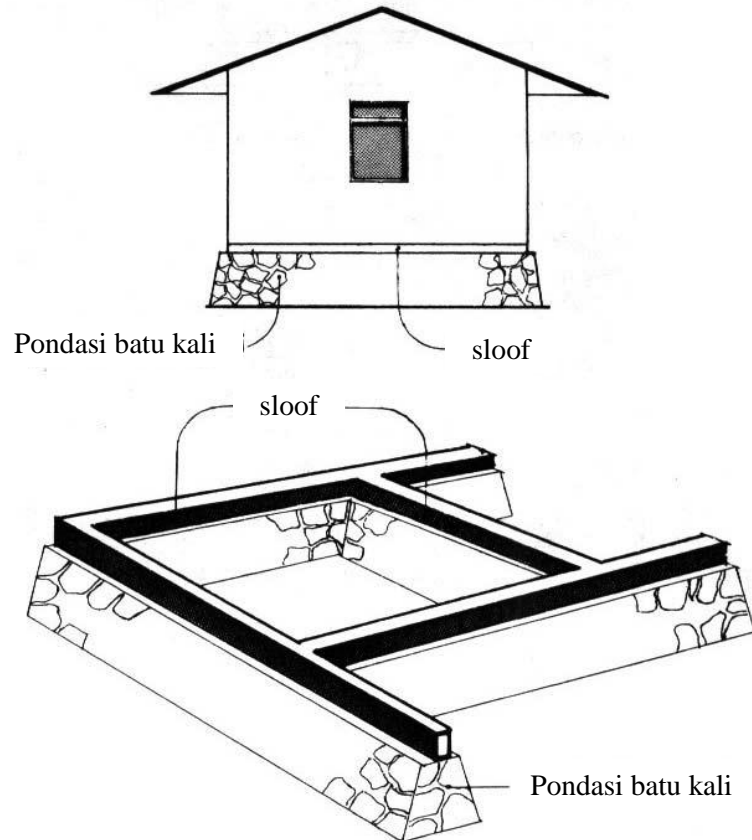
1. Alangkah baiknya bila tanah dasar pondasi merupakan tanah yang kering, padat dan merata kekerasannya. Dasar pondasi sebaiknya terletak lebih dalam dari 45 cm dibawah permukaan tanah asli.



Gambar 3.6. Pondasi

(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

2. Pondasi sebaiknya dibuat menerus keliling bangunan tanpa terputus. Pondasi dinding-dinding penyekat juga dibuat menerus. Bila pondasi terdiri dari batuan kali, maka perlu dipasang balok pengikat/sloof sepanjang pondasi tersebut.

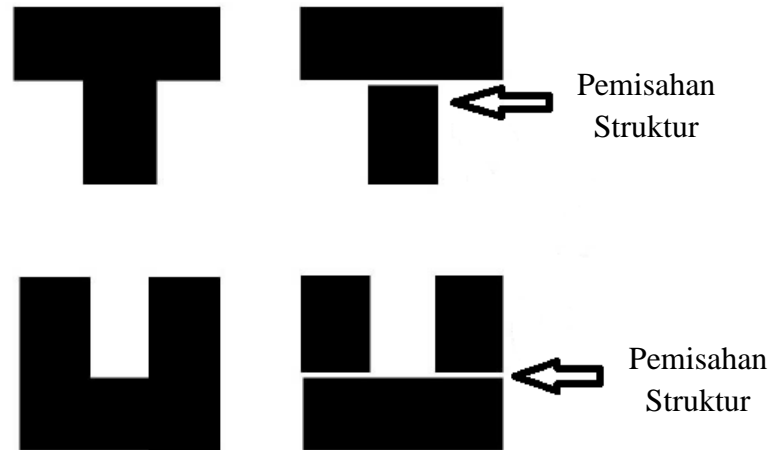


Gambar 3.7 Pondasi batu kali  
(Direktur Jenderal Cipta Karya, 1993)

3. Pondasi-pondasi setempat perlu diikat kuat satu sama lain dengan memakai balok pondasi (sloof).



### C. Sistem Dilatasi Bangunan (Pemisah)



Gambar 3.8 Dilatasi pada bangunan tidak simetris

Sistem dilatasi bangunan adalah suatu cara untuk memisahkan bangunan yang mempunyai lebar panjang lebih dari 60 m, tujuan ini adalah untuk membagi pusat massa bangunan, agar bangunan disaat terjadi gempa, bangunan tersebut stabil, tak tertumpu pada satu pusat massa, dengan adanya dilatasi pengaruh gempa akan terbagi terhadap pusat massa bangunan yang lain.

Karena bangunan tidak semuanya sama keadaan tanahnya, jadi jika bangunan sangat panjang, maka akan memberikan beban mati dan beban hidup pada bangunan tersebut, seiring terjadinya penambahan beban dalam perjalanan waktu, maka akan mengakibatkan penurunan bangunan (settlement), sehingga akan terjadi keretakan pada kolom, balok, pelat, atap, dan finishing yang lainnya. Untuk menghindari bangunan yang sangat panjang, dan tanah yang tidak sama kekuatannya, maka harus di buat sistem dilatasi dari bangunan tersebut.

Dilatasi dapat dilakukan dengan cara :

a. Dilatasi Kolom

Dilatasi kolom adalah suatu cara memisahkan bangunan yang panjang, dengan membuat pemisah diantara kolom. Pemisah ini juga akan terjadi pada fondasi, sloof, balok, pelat, pelat atap, dll.

b. Dilatasi Balok

Dilatasi ini dapat dibuat pada balok konsol pada bangunan satu, dan balok konsol pada bangunan sebelahnya. Balok kantilever dari bangunan satu bertemu dengan balok kantilever pada bangunan yang lainnya.

#### D. Analisa Beban Gempa

Pada SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung, menjelaskan tentang kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 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 : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung aparteman/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>- Bangunan industri</li> </ul>	II

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penganganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> </ul>	IV

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya.</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tengki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tengki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat,</li> </ul>	
--	--

(SNI 1726:2012)

Tabel 3.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(SNI 1726:2012)

Untuk berbagai kategori resiko struktur bangunan dan non gedung sesuai Tabel 3.1. pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, jika dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus sesuai dengan desain kategori resiko IV.

## 1. Wilayah Gempa dan Spectrum Respons

Percepatan respons gerak tanah gempa maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCER) ditetapkan dalam arah/orientasi yang menghasilkan respons gerak tanah horizontal maksimum terbesar dan disesuaikan dengan resiko yang ditargetkan. Pada SNI 1726:2012 pasal 6. 2, penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{MI}$ ) Yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a.S_s \quad (3.5)$$

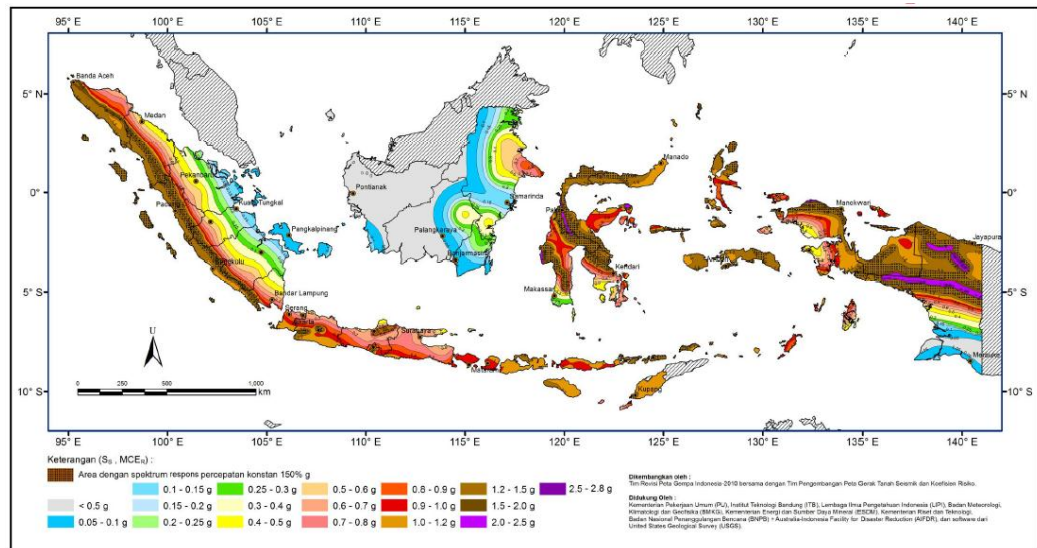
$$S_{MI} = F_v.S_I \quad (3.6)$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek;

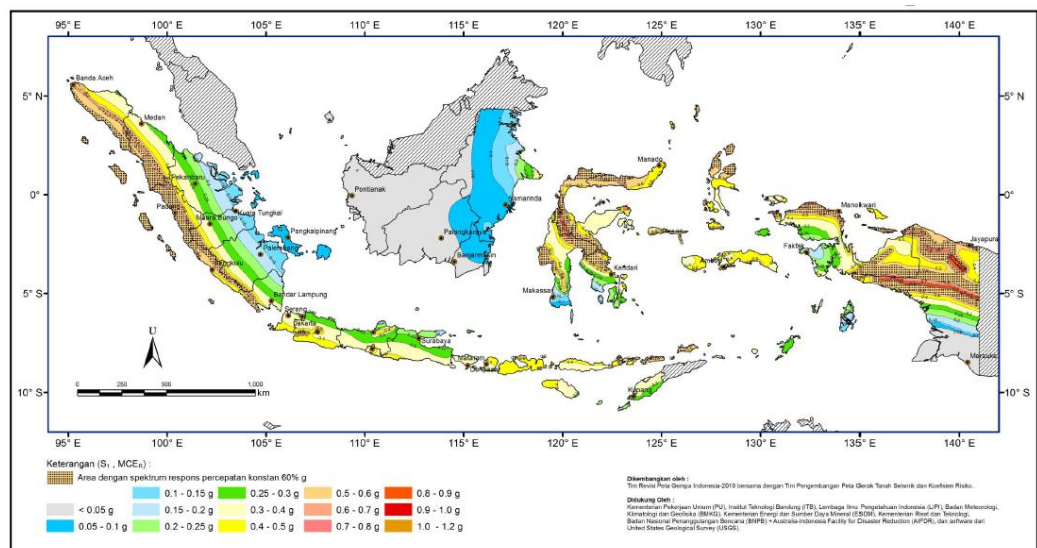
$S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

dan koefisien situs  $F_a$  dan  $F_v$  mengikuti Tabel 4 dan Tabel 5 pada SNI 1726:2012 pasal 6.2, untuk nilai  $S_s$  dan  $S_I$  terpetakan pada Gambar (3.9) dan (3.10).



Gambar 3.9 Nilai SS pada tiap daerah di Indonesia  
 (Sumber : SNI 1726:2012)

Pada SNI 1726:2012 pasal 14, memberikan peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien resiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (Maximum Considered Earthquake, MCE)



Gambar 3.10 Nilai S1 pada tiap daerah di Indonesia  
 (Sumber : SNI 1726:2012)

Gambar (3.9) dan (3.10) menunjukkan peta gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (MCER) parameter-parameter gerak tanah  $S_s$  dan  $S_1$ .  $S_s$  adalah parameter nilai percepatan respon spektral gempa MCER resiko-tertarget pada perioda pendek, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan dalam pasal 6. 1. 1 SNI 1726:2012.  $S_1$  adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER resiko-tertarget pada perioda 1 detik, teredam 5 persen, sebagaimana yang dijelaskan dalam pasal 6. 1. 1 SNI 1726:2012.

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.8)$$

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 Gambar 3.11 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.9)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.10)$$

Keterangan :

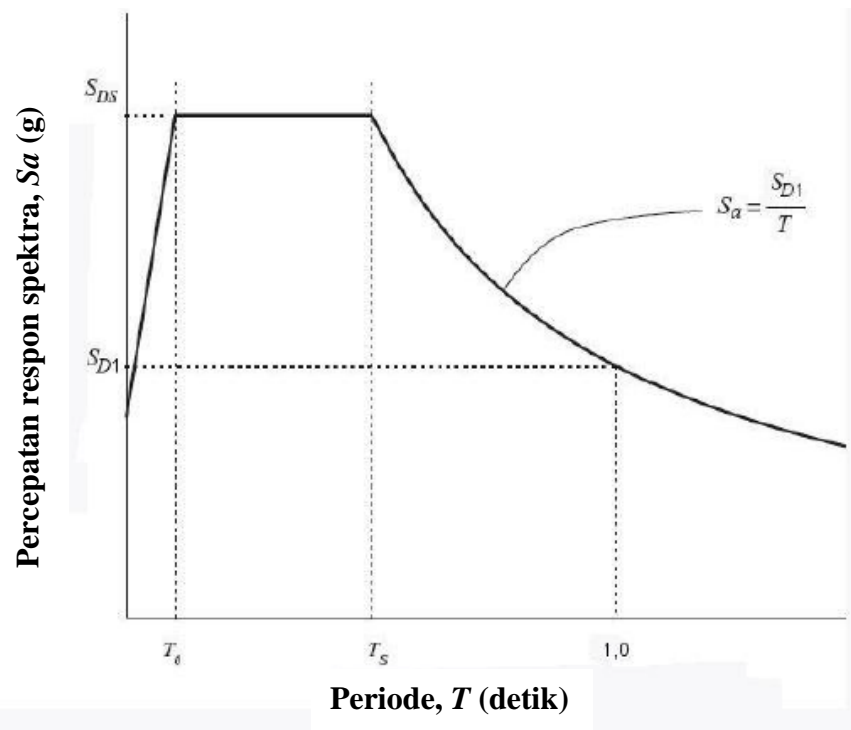
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek;

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik;

$T$  = periode getar fundamental struktur.\

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.11)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.12)$$



Gambar 3.11 Spektrum respons desain

(Sumber : SNI 1726:2012 pasal 6. 4)



## 2. Gaya Lateral

Menurut SNI 1726 tahun 2012, setiap struktur harus dianalisis untuk pengaruh gaya lateral statik yang diaplikasikan secara independen di kedua arah ortogonal. Pada setiap arah yang ditinjau, gaya lateral statik harus diaplikasikan secara simultan di tiap lantai. Untuk tujuan analisis, gaya lateral di tiap lantai dihitung sebagai berikut:

$$F_x = 0,01W_x \quad (3.13)$$

Keterangan :

$F_x$  = gaya lateral rencana yang diaplikasikan pada lantai x;

$W_x$  = bagian beban mati total struktur,  $D$ , yang bekerja pada lantai x.

## 3. Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726 tahun 2012, Geser dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus di tentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3.14)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W$  = berat seismik efektif menurut 7.7.2. pada SNI 1726:2012

Koefisien respon seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.15

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.15)$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek;

$R$  = faktor modifikasi respons pada Tabel 9 (SNI 1726:2012);

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan pasal 4. 1. 2 (SNI 1726:2012).

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.15 tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

$C_s$  harus kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.17)$$

Keterangan:

Dimana  $I_e$  dan  $R$  sebagaimana didefinisikan dalam 7.8.1.1 dan

$SD1$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1 detik seperti yang ditentukan dalam 6.10.4

$T$  = periode fundamental struktur (detik) yang ditentukan dari Persamaan 3. 18.

$$T_{\alpha} = C_t h_n^x \quad (3.18)$$

Keterangan :

$T_{\alpha}$  = periode fundamental pendekatan yang diijinkan secara langsung digunakan sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur ( $T$ ).

$h_n$  = ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 15 pasal 7. 8. 2. 1. SNI 1726:2012;

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan pasal 4.1.2. SNI 1726:2012.

#### 4. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx}V \quad (3.19)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.20)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (kN)

$W_i$  dan  $W_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

#### 5. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (kN) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.21)$$

Keterangan :

$F_i$  adalah bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul di tingkat  $i$ , dinyatakan dalam kilonewton (kN).

Geser tingkat desain gempa ( $V_x$ ) (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen penahan vertikal dan diafragma.

## 6. Kinerja Struktur Gedung

Menurut SNI 1726:2012, kinerja struktur gedung ditunjukkan dengan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

### 1. Kinerja batas layan.

Kinerja ini ditentukan oleh simpangan antar lantai tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan tingkat antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) (SNI 1726:2012)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	0,025 $h_{xx}$ <sup>c</sup>	0,020 $h_{xx}$	0,015 $h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 $h_{xx}$	0,007 $h_{xx}$	0,007 $h_{xx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{xx}$	0,015 $h_{xx}$	0,010 $h_{xx}$

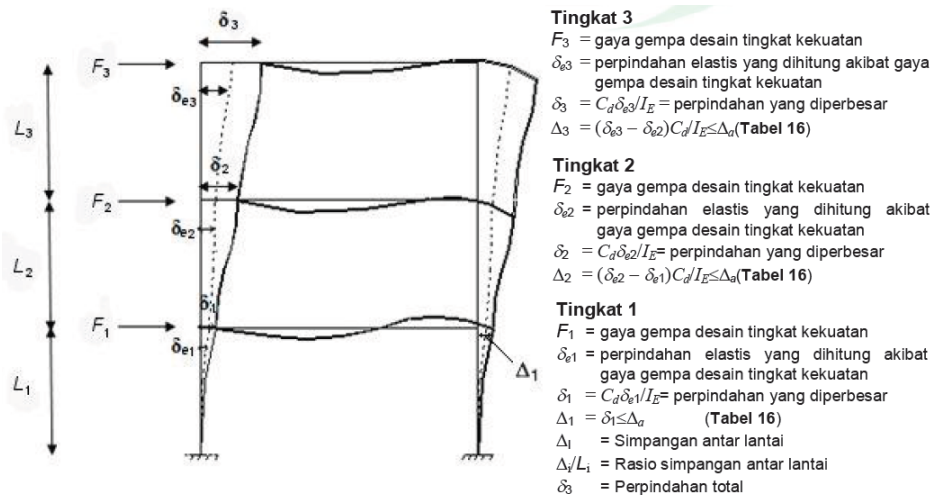
<sup>a</sup>  $h_{xx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$ .

<sup>b</sup> Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1.

### 2. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja ini ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar lantai tingkat maksimum akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur bangunan gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa. Penentuan simpangan dan simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) harus

dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat atas dan terbawah yang di tinjau. Lihat gambar 3.12.



Gambar 3.12 Penentuan simpangan antar lantai

Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan :

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi dalam tabel 9 SNI 1726:2012

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal yang di tentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang di tentukan sesuai dengan pasal 4.1.2 SNI 1726:2012

## 7. Kombinasi beban untuk metoda ultimit

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

$$1. \quad 1,4 D \quad (3.22)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.23)$$

$$3. \quad 1,2 D + 1,6 (L \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3.24)$$

$$4. \quad 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.25)$$

$$5. \quad 1,2 D + 1,0 E + L \quad (3.26)$$

$$6. \quad 0,9 D + 1,0 W \quad (3.27)$$

$$7. \quad 0,9 D + 1,0 E \quad (3.28)$$

Dimana :

D = Beban Mati                      E = Beban Gempa

L = Beban Hidup                    W = Beban Angin

#### E. KEKUATAN PERLU

Kuat perlu adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut.

Menurut SNI 2847:2013 kekuatan perlu U harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor dalam pers (3.29) sampai (3.35).

$$U = 1,4D \quad (3.29)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.30)$$

$$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.31)$$

$$U = 1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ atau } R) \quad (3.32)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L \quad (3.33)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (3.34)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (3.35)$$

kecuali sebagai berikut:

- a. Faktor beban pada beban hidup L dalam Pers. (3.31) sampai (3.33) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan dimana L lebih besar dari 4,8 kN/m<sup>2</sup>.
- b. Bila W didasarkan pada beban angin tingkat layan, 1,6W harus digunakan sebagai pengganti dari 1,0W dalam Pers. (3.32) dan

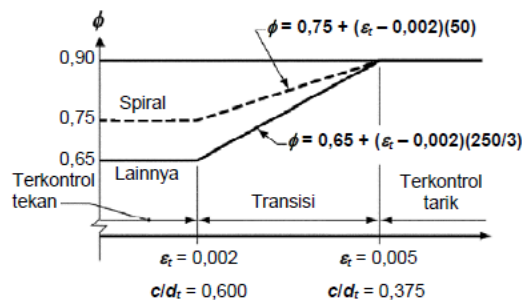
(3.34), dan  $0,8W$  harus digunakan sebagai pengganti dari  $0,5W$  dalam Pers. (3.31).

- c. Dihilangkan karena tidak relevan, sesuai dengan yang terlampir di daftar Deviasi pada SNI 03 – 2847 – 2013 Pasal 4.

## F. KEKUATAN DESAIN

- Pada SNI 03 – 2847 – 2013, Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi dari Standar ini, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi$ .
- Faktor reduksi  $\phi$  kekuatan harus seperti yang diberikan dalam poin 1-7 di bawah ini:

- Penampang terkendali tarik .....0,90
- Penampang terkendali tekan :
  - Komponen struktur dengan tulangan spiral ..... 0,75
  - Komponen struktur bertulang lainnya ..... 0,65



Interpolasi pada  $c/d_t$ :  
 Spiral  $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$   
 Lainnya  $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

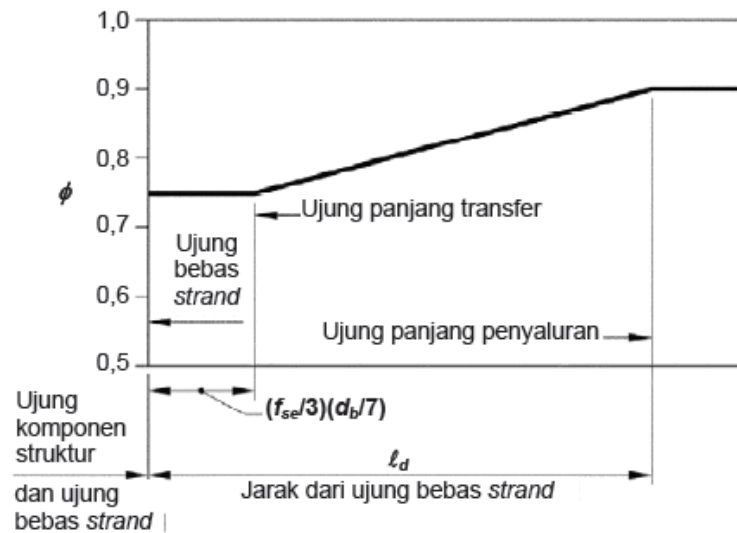
Gambar 3.13 – Variasi  $\phi$  dengan regangan tarik neto dalam baja tarik terluar,  $\epsilon_t$ , dan  $c/d_t$  untuk tulangan Mutu 420 dan untuk baja prategang

Untuk penampang dimana regangan tarik neto dalam baja tarik terjauh pada kekuatan nominal,  $\epsilon_t$ , berada di antara batasan-batasan untuk penampang terkendali tekan dan terkendali tarik,  $\phi$  boleh secara linear ditingkatkan dari nilai untuk penampang terkendali tekan menjadi 0,90 seiring dengan meningkatnya  $\epsilon_t$  dari batasan regangan terkendali tekan menjadi 0,005.

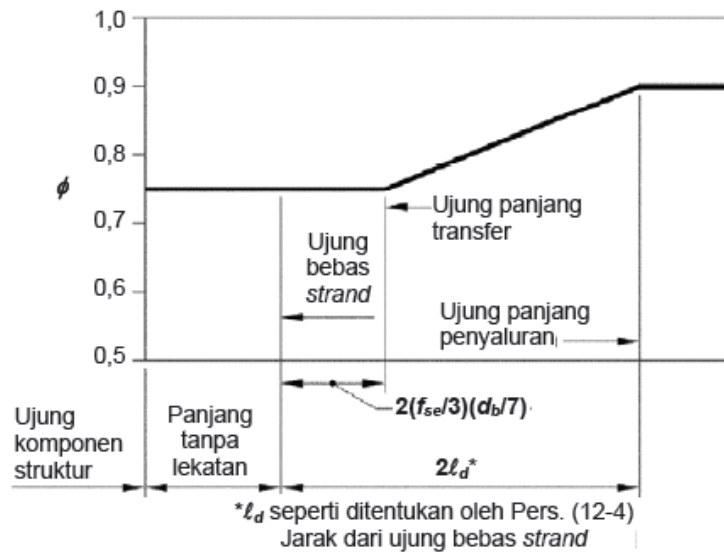
Alternatifnya, bila Lampiran B digunakan pada SNI 03 – 2847 – 2013, untuk komponen struktur dimana  $f_y$  tidak melampaui 420 MPa, dengan tulangan simetris, dan dengan  $(d-d')/h$  tidak kurang dari 0,70, maka nilai  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 seiring dengan berkurangnya nilai  $\phi P_n$  dari  $0,10 f_c' A_g$  ke nol. Untuk komponen struktur bertulang lainnya, nilai  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linear menjadi 0,90 seiring dengan berkurangnya nilai  $\phi P_n$  dari nilai terkecil antara  $0,10 f_c' A_g$  atau  $\phi P_b$  ke nol.

3. Geser dan Torsi ..... 0,75
4. Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat..... 0,65
5. Daerah angkur pasca tarik..... 0,85
6. Model strat dan pengikat (Lampiran A), dan strat, pengikat, daerah pertemuan (*nodal*), dan daerah tumpuan dalam model tersebut..... 0,75
7. Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran seperti yang diberikan dalam 12.9.1.1 pada SNI 03 – 2847 – 2013 lihat Gambar 3.14 (a) dan (b):
  - a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer ..... 0,75
  - b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran  $\phi$  boleh ditingkatkan secara linier dari ..... 0,75 sampai 0,9





Gambar 3.14 (a) -Variasi  $\phi$  dengan jarak dari ujung bebas strand dalam komponen struktur pratarik dengan strand dengan lekatan penuh



Gambar 3.14 (b) – Variasi  $\phi$  dengan jarak dari ujung bebas strand dalam komponen struktur pratarik dengan strand tanpa lekatan bilamana 12.9.3 berlaku

## G. PERANCANGAN DIMENSI STRUKTUR

### 1. Balok

Balok adalah bagian dalam struktur yang berfungsi sebagai pendukung beban horisontal dan vertikal, beban horisontal yaitu terdiri dari beban gempa dan beban angin, sedangkan beban vertikal yaitu terdiri dari beban mati dan beban hidup yang di terima plat lantai , berat sendiri balok dan berat dinding penyekat yang ada di atasnya.

#### a. Perancangan balok terhadap lentur

Pada peraturan SNI 2847:2013 terdapat ketentuan penulangan komponen balok sebagai berikut :

$$A_s \text{ min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{4.f_y} . bwd \quad (3.36)$$

$$\text{Dan tidak boleh lebih kecil dari } 1,4 \text{ bwd}/f_y \quad (3.37)$$

Keterangan :

$b_w$  = Lebar balok (mm)

$d$  = Tinggi efektif balok (mm)

$f_y$  = Mutu Baja (Mpa)

$f_c'$  = Mutu Beton (Mpa)

#### b. Perancangan balok terhadap gaya geser

SNI 2847:2013 memberikan standar untuk kuat geser rencana balok untuk Sistem Rangka Momen Menengah tidak boleh kurang dari:

1. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan lentur balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
2. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan beban gempa dengan nilai beban gempa diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara

bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.

## 2. Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (collapse) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (total collapse) seluruh struktur. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom harus memperhitungkan secara teliti dengan memberikan kekuatan lebih tinggi daripada komponen struktur lainnya.

### a. Kuat lentur dan gaya aksial maksimum

SNI 2847:2013 pada pasal 10.9 , komponen kolom memberikan batasan tulangan longitudinal yaitu :

1. Luas tulangan longitudinal,  $A_{st}$ , untuk komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,08 A_g$ .
2. Jumlah minimum batang tulangan longitudinal pada komponen struktur tekan adalah 4 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segi empat atau lingkaran, 3 untuk batang tulangan di dalam sengkang pengikat segi tiga, dan 6 untuk batang tulangan yang dilingkupi oleh spiral.

Untuk kuat tekan maksimum kolom sesuai dengan ketentuan yang ada di SNI 2847:2013 sebagai berikut :

- a) Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan spiral:

$$\phi P_n(max) = 0.85\phi [0.85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}]$$

(3.38)

b) Untuk komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat :

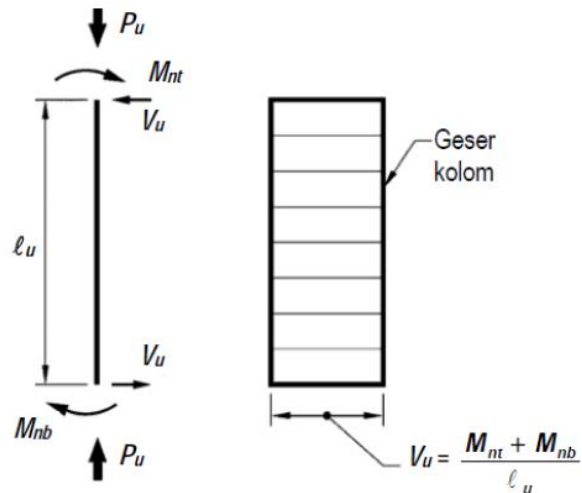
$$\phi P_n (max) = 0.80\phi [0.85 f_c'( A_g - A_{st} ) + f_y A_{st} ]$$

(3.39)

#### **b. Kuat Geser Kolom**

SNI 2847:2013 memberikan ketentuan kuat geser rencana kolom untuk Sistem Rangka Momen Menengah tidak boleh kurang dari :

1. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi sesuai dengan gambar 3.15.
2. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan beban gempa , dengan beban gempa ditingkatkan oleh faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal.



Gambar 3.15 Gaya lintang rencana kolom

Gambar 3.15 menjelaskan gaya lintang rencana yang terjadi pada kolom. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau. Gaya lintang juga menyebabkan terjadinya geser pada kolom.

## H. KEMAMPUAN LAYAN

### 1. Lendutan Seketika

Menurut SNI 2847:2013 Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Besarnya lendutan seketika dapat dihitung dengan menggunakan momen inersia efektif,  $I_e$  berdasarkan persamaan berikut :

Keterangan :

$I_e$  = momen inersia efektif untuk perhitungan defleksi.

$$I_e = \left[ \frac{M_{cr}}{M_a} \right]^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \quad (3.40)$$

Dimana

$M_{cr}$  = momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3.41)$$

$$f_r = 0.62 \lambda \sqrt{f_c'} \quad (3.42)$$

Keterangan :

$Y_t$  = Jarak garis netral penampang utuh (mengabaikan tulangan baja) ke muka tarik.

$I_{cr}$  = Momen inersia penampang retak transformasi.

$I_g$  = Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang

$M_a$  = Momen maksimum saat lendutan dihitung.

## 2. Lendutan Jangka Panjang

Dalam suatu komponen struktur beton terulang , lendutan jangka panjang akan terjadi atau timbul secara berkelanjutan dalam waktu yang lama. Lendutan ini terutama disebabkan oleh beton yang berongga dan susut pada bahan beton, yang mengakibatkan bertambahnya regangan. Untuk menentukan nilai lendutannya dinyatakan pada persamaan :

$$\lambda \Delta = \left( \frac{\zeta}{1+50\rho'} \right) \quad (3.43)$$

Keterangan:

$\rho'$  = Nilai pada tengah bentang untuk balok sederhana dan balok menerus dan nilai pada tumpuan untuk balok kantilever.

$\zeta$  = faktor tergantung waktu untuk beban tetap.

boleh diasumsikan sama dengan:

5 tahun atau lebih  $\xi = 2,0$

12 bulan  $\xi = 1,4$

6 bulan  $\xi = 1,2$

3 bulan  $\xi = 1,0$

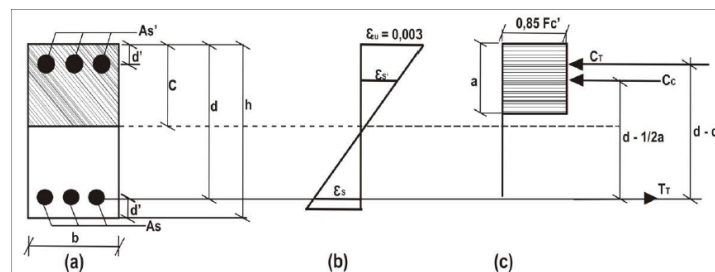
## I. PERANCANGAN TULANGAN POKOK

### 1. Balok

Penulangan hendaknya dipakai dengan menggunakan tulangan rangkap, dikarenakan selain diperlukan untuk mengaitkan sengkang, juga memiliki fungsi yang lain, seperti berikut :

1. Meningkatkan besar momen yang dapat dipikul
2. Meningkatkan kapasitas rotasi penampang yang berkaitan dengan peningkatan daktilitas penampang
3. Meningkatkan kekakuan penampang
4. Dapat mengatasi kemungkinan momen berubah arah yang diakibatkan oleh beban gempa.

Dari standar dasar yang digunakan maka dapatlah diagram tegangan dan regangan balok seperti pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Penampang persegi tulangan rangkap, (a) Penampang balok, (b) Diagram regangan, (c) Diagram gaya tulangan tunggal dan pasangan kopel.

Pada gambar 3.16 dijelaskan mengenai balok penampang persegi tulangan rangkap. Dalam perancangan tulangan pokok, penulangan hendaknya dipakai dengan menggunakan tulangan rangkap, dikarenakan selain diperlukan untuk mengaitkan sengkang juga untuk meningkatkan besar momen yang dapat dipikul.

### 1. Tulangan tarik

$$Mn = \frac{Mu}{0,8} \quad (3.44)$$

$$Rn = \frac{Mn}{bw.d} \quad (3.45)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}}\right) \quad (3.46)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad (3.47)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \quad (3.48)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{fy} \left( \frac{600}{600 + Fy} \right) \quad (3.49)$$

$$\beta_1 = 0,85 \quad : \text{ untuk } f_c' \leq 28 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = \frac{0,85 - 0,05(f_c' - 28)}{7} \quad : \text{ untuk } f_c' > 28 \text{ Mpa } (\beta_1 \text{ tidak boleh } < 0,65)$$

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$As = \rho_{perlu} \cdot bw \cdot d \quad (3.50)$$

### 2. Tulangan Tekan

Rasio tulangan tarik dengan tulangan tekan harus lebih besar dari 0,5 sehingga:

$$As' > 0,5 \cdot As$$

$$As' > 0,5 \cdot \rho_{perlu} \cdot bw$$

Dari tulangan yang terpasang kemudian dilakukan pemeriksaan kuat momen yang dapat dipikul balok dengan anggapan-anggapan sebagai berikut ini:



a. Kedua Tulangan leleh

Dari diagram tegangan didapat keseimbangan gaya horizontal sebagai berikut:

$$C_c + C_t = T_s \quad (3.51)$$

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$C_t = A_s' \cdot f_s'$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$f_s' = f_s - f_y$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y \quad (3.52)$$

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0.85 f_c' b} \quad (3.53)$$

b. Tulangan tarik leleh (  $f_s = f_y$  ), tulangan tekan belum leleh ( $f_s \neq f_y$ )

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$C_t = A_s' \cdot f_s'$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$C_c + C_t = T_s$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \quad (3.54)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s'}{0.85 f_c' b} \quad (3.55)$$

$$f_s' = \epsilon_s' E_s$$

Dari diagram regangan dengan menggunakan prinsip segitiga sebangun maka :

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot 0,003$$

Sehingga:

$$f_s' = \left( \frac{c-d'}{c} 0,003 \right) E_s \quad (3.56)$$

c. Kedua tulangan belum leleh

$$C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$C_t = A_s' \cdot f_s'$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$C_c + C_t = T_s$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y \quad (3.57)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_s - A_s' \cdot f_s'}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \quad (3.58)$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

Dari diagram regangan didapat :

$$f_s = \frac{d-c}{c} 600 \quad (3.59)$$

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.60)$$

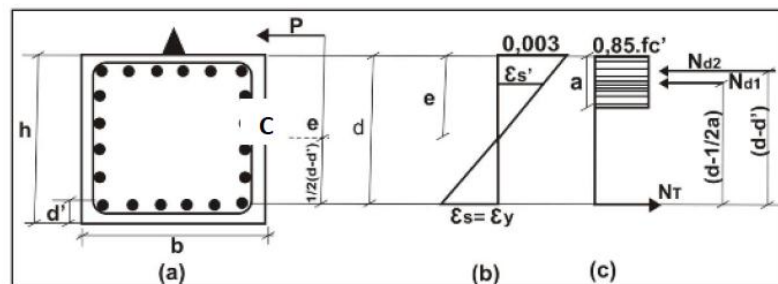
$$M_{n2} = A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad (3.61)$$

Momen nominal ( $M_n$ ) balok

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (3.62)$$

## 2. Kolom

Kondisi penulangan seimbang merupakan kondisi dimana penampang beton dengan luas tulangan tertentu apabila terjadi beban puncak, maka regangan tekan beton mencapai regangan maksimum 0,003 dan regangan baja tarik mencapai tegangan leleh  $f_y$ . Pengecekan kapasitas gaya pada kolom adalah apabila  $P_u > P_{nb}$ , maka terjadi keruntuhan tekan, dan apabila  $P_u < P_{nb}$ , maka terjadi keruntuhan tarik. Melakukan pengecekan kapasitas gaya pada kolom sebagai berikut:



Gambar 3.17 Penampang persegi kolom tulangan dalam keadaan seimbang (a) Penampang kolom, (b) Diagram regangan (c) Tegangan dan gaya-gaya dalam pada kolom.

Mencari letak garis  $c$  didapat dari asumsi tipe keruntuhan tulangan yang terjadi:

1. Tulangan tarik leleh, tekan belum

$$f_s = f_y$$

$$f_s' = \frac{c-d'}{c} 600 \quad (3.63)$$

sehingga,

$$pn = 0,85^2 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s' \left( \frac{c-c'}{c} 600 - 0,85 \cdot f_c' \right) - A_s \cdot f_y \quad (3.64)$$

2. Kedua tulangan leleh

$$f_s = f_s' = f_y$$

sehingga,

$$pn = 0,85^2 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s' \cdot \left( \frac{c-c'}{c} 600 - 0,85 \cdot f_c' \right) - A_s \cdot f_y \quad (3.65)$$

3. Tulangan tekan leleh

$$f_s' = f_y$$

$$f_s = \frac{d-c}{c} \cdot 600$$

$$pn = \left[ 0,85^2 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') - A_s \cdot \frac{d-c}{c} \cdot f_y \right]$$

### 3. Pembebanan momen akibat kelangsingan kolom

Menurut SNI 2847:2013 mensyaratkan untuk pengaruh kelangsingan dapat diabaikan jika :

$\frac{klu}{r} \leq 34 - 12 (M1.M2) \leq 40$ , untuk komponen struktur ditahan terhadap goyangan kesamping

$klu/r \leq 22$ , untuk komponen struktur yang tidak di tahan terhadap goyangan.

Keterangan :

$k$  = Faktor panjang efektif untuk kolom

$l_u$  = Panjang komponen kolom

$r$  = Jari . jari potongan lintang kolom  $\cdot \alpha$  ; ditetapkan 0,3 h dengan h adalah lebar kolom pada arah bekerjanya momen.

$M_1$  = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada kolom, diambil sebagai positif jika kolom dibengkokkan tunggal, dan negatif jika dibengkokkan ganda.

$M_2$  = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada salah satu ujung kolom.

Pembesaran momen dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \text{ untuk kolom tanpa pengaku} \quad (3.66)$$

$$M_c = \delta_b M_{2b}, \text{ untuk kolom dengan pengaku} \quad (3.67)$$

Keterangan :

$M_c$  = momen terfaktor yang digunakan untuk perancangan komponen kolom.

$\delta_b$  = faktor pembesar untuk momen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan,

$\delta_s$  = faktor pembesar untuk momen akibat beban yang menimbulkan:

Nilai  $\delta_b$  dan  $\delta_s$  dihitung dengan rumus :

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} \geq 1,0 \quad (3.68)$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - Q} \geq 1 \quad (3.69)$$

Jika  $\delta_s$  melebihi 1,5 maka boleh dihitung menggunakan :

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1 \quad (3.70)$$

$$C_m = 0,6 + 0,4 M_1/M_2 \quad (3.71)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

Untuk EIK dapat ditetapkan sebagai berikut :

$$EIK = \frac{(E_c I_g / 2,5)}{1 + \beta_b} \quad (3.72)$$

Dan untuk EIB :

$$EIB = \frac{(E_c \cdot I_g / 5)}{1 + \beta d} \quad (3.73)$$

Keterangan :

$\beta d$  = rasio dari momen akibat beban mati aksial terfaktor maksimum terhadap momen akibat beban aksial terfaktor maksimum,

$P_u$  = beban aksial terfaktor yang ditahan kolom,

$K$  = faktor panjang efektif kolom,

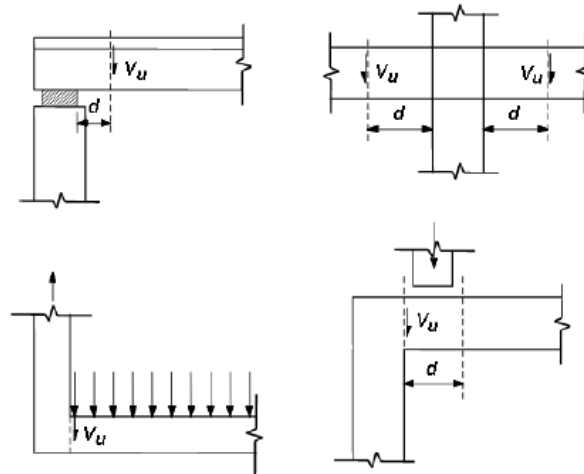
apabila nilai  $\left(\frac{M2b}{p_u}\right)$  yang didapat lebih dari  $(15,24 + 0,03 h)$  mm, maka nilai  $M2b$  paling sedikit harus dipertimbangkan dengan  $e_{min} = (15,24 + 0,03 h)$  mm.

## J. PERANCANGAN TULANGAN GESER

Dasar perencanaan penulangan geser adalah menyediakan kebutuhan jumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal sedemikian rupa sehingga mencegah bukaan retak lebih lanjut. Penulangan geser dilakukan dengan beberapa cara sesuai, sebagai berikut ini.

- a. Sengkang vertikal
- b. Jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial
- c. Sengkang miring atau diagonal
- d. Batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkokkan batang tulangan pokok balok di tempat – tempat yang diperlukan.
- e. Tulangan spiral

Gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) maksimum rencana dihitung berdasarkan SNI 2847 pasal 13.1.3.1, yaitu gaya geser pada jarak  $d$  dari muka tumpuan, seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.18 Lokasi geser maksimum untuk perencanaan

(Sumber: SNI 2847:2013 Gambar S11.1.3.1)

Gambar 3.18 menjelaskan geser yang terjadi pada balok. Terlihat pada gambar bahwa balok dengan tumpuan yang berbeda maka akan menerima geser yang berbeda pula.

Kuat geser penampang direncanakan dengan persamaan:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.74)$$

$V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan  $V_n$  adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.75)$$

$V_c$  adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, untuk balok kuat  $V_c$  dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} b w d \quad (3.76)$$

atau untuk lebih rinci dapat dihitung dengan,

$$V_c = \left( 0.16 \lambda \sqrt{f_c'} + 17 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b w d \quad (3.77)$$

$M_u$  adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan  $V_u$  pada penampang yang ditinjau. Sedangkan batas atas faktor pengali dan  $V_c$  adalah sebagai berikut:

$$\frac{Vu.d}{Mu} \leq 1$$

$$Vc \leq (0.29\lambda\sqrt{fc'bwd})$$

kolom kuat  $Vc$  dihitung dengan persamaan:

$$Vc = 0.17 \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \lambda\sqrt{fc'bwd} \quad (3.78)$$

nilai  $Vc$  lebih rincinya dapat dihitung dengan persamaan:

$$Vc = \left(0.16\lambda\sqrt{fc'} + 17\rho_w \frac{Vu.d}{Mu}\right) bwd \quad (3.79)$$

Dengan :

$$Mm = Mu - Nu \frac{4h-d}{8} \quad (3.80)$$

Nilai  $\frac{Vu.d}{Mu}$  dapat diambil dengan 1, tetapi dalam hal ini  $Vc$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$Vc = 0,29\lambda\sqrt{fc'bwd} \sqrt{1 + \frac{0.29Nu}{Ag}} \quad (3.81)$$

besaran  $\frac{Nu}{Ag}$  harus dinyatakan dalam MPa bila  $Mm$  bernilai negatif, maka  $Vc$  harus dihitung dengan persamaan 3.81.

## K. RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

RAB merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek pembangunan. Secara Umum perhitungan RAB dapat dirumuskan sebagai berikut:

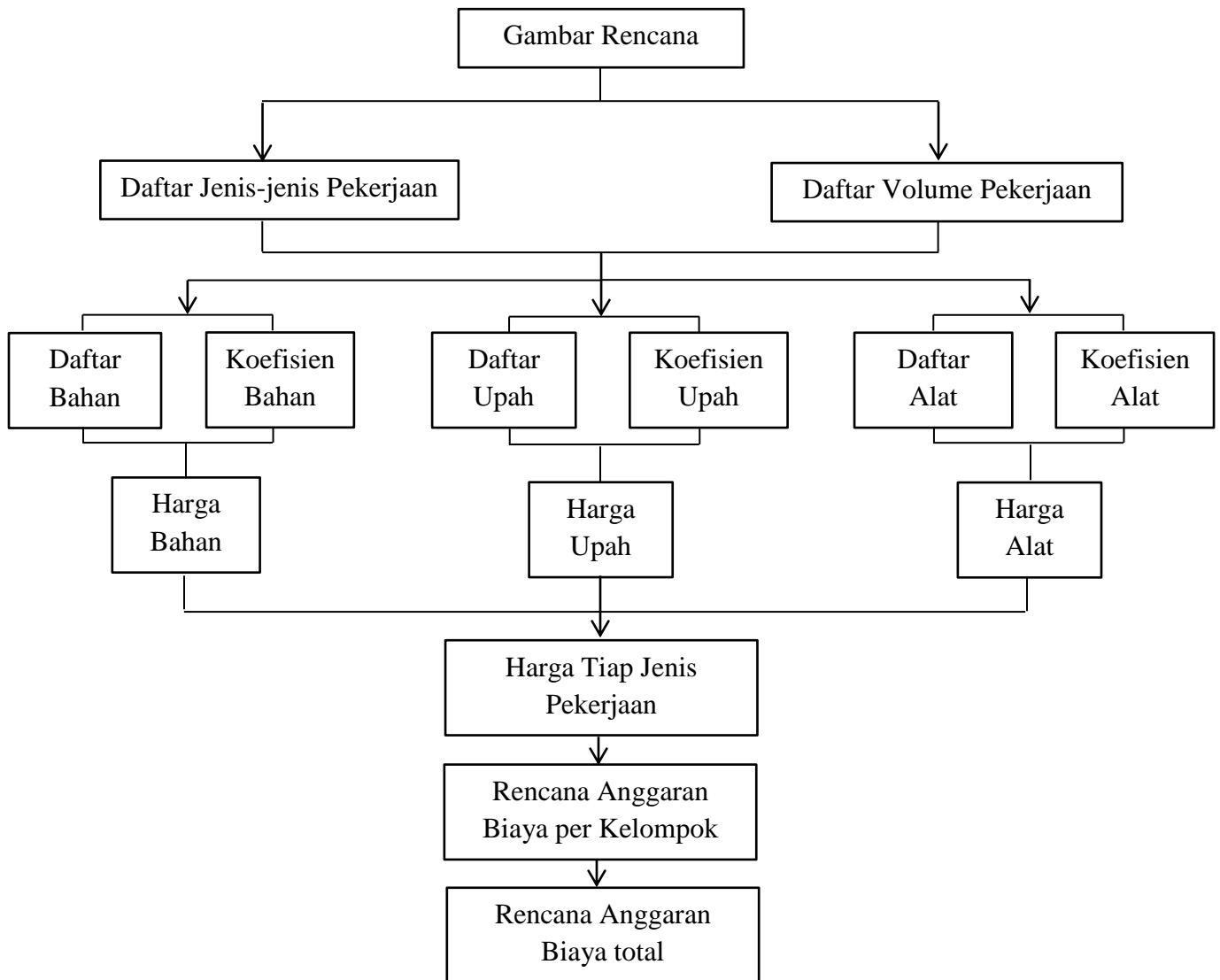
$$RAB = \sum (\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan})$$

Analisa harga satuan berfungsi sebagai pedoman awal perhitungan rencana anggaran biaya yang didalamnya terdapat angka yang menunjukkan jumlah material, tenaga dan biaya persatuan pekerjaan. Sedangkan Perhitungan volume

pekerjaan adalah bagian paling esensial dalam tahap perencanaan proyek. Pengukuran kualitas/volume pekerjaan merupakan suatu proses pengukuran / perhitungan terhadap kuantitas item –item pekerjaan sesuai dengan lapangan. Dengan mengetahui jumlah volume pekerjaan maka akan diketahui berapa biaya yang akan di perlukan dalam pelaksanaan proyek”.

Rencana anggaran biaya mempunyai tahapan yang diperlukan untuk menghitung jumlah volume per satuan pekerjaan dan analisa harga satuan pekerjaan berdasarkan gambar tahap pekerjaan serta syarat-syarat analisa pembangunan kontruksi yang berlaku. Adapaun tahapan analisi perhitungan rencana anggaran biaya seperti gambar 3.19.





Gambar 3.19 Tahapan Analisis Perhitungan RAB