

## NOTASI

$b$	= Lebar Penampang Melintang Kolom
$h$	= Tinggi Penampang Melintang Kolom
$p$	= Rasio Penulangan
$PU$	= Gaya Aksial terfaktor kolom
$A_g$	= Luas bruto penampang
$r$	= Besaran kedua sumbu
$\Phi$	= Faktor reduksi kekuatan
$f_c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$et$	= Eksentrisitas gaya terhadap sumbu
$e$	= Eksentrisitas
$M_u$	= Momen Terfaktor
$P_n$	= Gaya aksial nominal
$A_s$	= Luas tulangan persisi
$f_y$	= Mutu Baja
$d$	= Tinggi kolom dikurangi asumsi selimut beton
$d'$	= Asumsi selimut beton
$K$	= Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
$P_{min}$	= Rasio tulangan minimum
$P_{max}$	= Rasio tulangan maksimum
$V_c$	= Kuat geser nominal
$F_u$	= Tegangan tarik
$V_s$	= Kuat geser nominal
$V_u$	= Gaya geser terfaktor
$F'_c$	= Kuat tekan beton
$F_y$	= Tegangan leleh baja
$H$	= Jumlah tingkat gedung
$\Psi$	= Koefisien $\psi$ untuk menghitung faktor respon gempa vertikal C
$A_0$	= Nilai dari percepatan puncak muka tanah

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan salah satu negara yang dikategorikan rawan terhadap gempa. Kondisi ini memberikan pengaruh besar dalam proses perencanaan. Maka dari itu, Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan perencanaan gedung bertingkat. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di bidang konstruksi bangunan, banyak sekali perubahan persyaratan yang terjadi pada SNI. Adanya perubahan persyaratan gempa di Indonesia disebabkan karena peta percepatan gempa yang terus meningkat sehingga menyebabkan potensi gempa yang berada di Indonesia lebih tinggi, mulai dari perencanaan peraturan gempa untuk rumah dan gedung (PPKGGURG-1987) sehingga saat ini menjadi SNI 1726 ; 2019.

Akibat perubahan yang terjadi pada aturan – aturan tersebut, terdapat perubahan parameter dalam perhitungannya. Dengan adanya SNI 1726 -2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa dan SNI 2847 – 2019 tentang persyaratan struktural untuk bangunan gedung, menyebabkan bangunan struktur beton bertulang perlu di evaluasi Kembali.

Dengan kata lain gedung yang sudah melebihi usia standar perlu dilakukan peninjauan ulang agar tidak terjadi hal yang tidak diinginkan. Seperti runtuhnya bangunan saat digunakan karna tidak kuatnya struktur menahan beban yang dipikulnya. Dengan melakukan peninjauan ulang kita bisa mengetahui bagian gedung mana saja yang akan kita perbaiki dan kita renovasi tanpa harus merobohkan semua gedung. Dengan arti kata kita bisa meminimalisir biaya yang

kita gunakan untuk perbaikan struktur gedung ini. Analisis struktur gedung ini menggunakan *software SAP2000*.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Dalam mengidentifikasi masalah analisis struktural Gedung KPPN Tanjung Balai, terdapat beberapa masalah umum seperti:

1. Menganalisis ketahanan struktur Gedung KPPN Tanjung Balai terhadap beban gempa standar terbaru dalam SNI 1726-2019
2. Meninjau nilai *periode, base reaction, story drift* dan kinerja struktur Gedung KPPN Tanjung Balai apakah memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk bangunan tahan gempa sesuai dengan SNI 1726-2019

## **1.3 Batasan Masalah**

Mengingat ruang lingkup permasalahan yang terlalu luas maka permasalahan yang akan diteliti di fokuskan pada pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Meninjau ulang kinerja struktur gedung dengan diberlakukannya SNI 1726 - 2019
2. Evaluasi hanya meninjau struktur atas bangunan gedung KPPN Tanjung Balai dengan menggunakan aplikasi *SAP2000*

## **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah yang telah dijelaskan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah antara lain;

1. Apakah gedung KPPN Tanjung Balai tahan terhadap gempa berdasarkan SNI 1726-2019?

2. Apakah nilai *perioda*, *base reaction*, *story drift* dan kinerja struktur gedung memiliki persyaratan bangunan tahan gempa?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang permasalahan sebagaimana yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisis struktur bangunan gedung KPPN Tanjung Balai.
2. Untuk mengetahui nilai *perioda*, *base reaction*, *story drift* dan kinerja struktur pada gedung KPPN Tanjung Balai dengan dilakukannya penganalisaan rancangan baru menggunakan aplikasi *SAP2000*.

### **1.6 Manfaat Penelitian;**

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka penelitian ini diharapkan:

1. Penulis dapat mengetahui cara menganalisis struktur beton bertulang pada gedung bertingkat.
2. Penulis bisa menambah pengetahuan dan wawasan dalam perencanaan struktur beton bertulang pada struktur gedung yang bisa tahan terhadap beban gempa.
3. Penulis bisa mempraktekan ilmu yang dipelajari dengan menerapkan aspek perencanaan gedung bertingkat dengan struktur beton bertulang.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk mencapai tujuan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yang dianggap perlu. Metode dan prosedur pelaksanaannya secara garis besar adalah sebagai berikut;

## **BAB I. PENDAHULUAN**

Mengemukakan tentang informasi secara umum dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, hipotesa, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## **BAB II. KAJIAN PUSTAKA**

Mengemukakan tentang informasi secara umum dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, hipotesa, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bagian ini berisi tentang penentuan lokasi penelitian, alat penelitian, jadwal penelitian, dan tahap penelitian.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan data yang diperoleh dari hasil pengumpulan yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pengujian dalam penelitian ini. Selanjutnya data tersebut kemudian diolah dan dianalisa sehingga bisa menghasilkan informasi yang berguna.

## **BAB V. KESIMPULAN,SARAN,DAN DAFTAR PUSTAKA**

Dalam bab ini dikemukakan tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran - saran dari peneliti berdasarkan analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Bangunan dengan struktur beton bertulang yang mempunyai banyak lantai rawan runtuh jika tidak direncanakan dengan baik. Karena itu, diperlukan rencana struktural yang tepat dan menyeluruh untuk memenuhi persyaratan tersebut dengan kriteria kekuatan (*Strenght*), kenyamanan (*Serviceability*), keamanan (*Safety*), dan umur bangunan yang direncanakan (*Durability*). Struktur bangunan umumnya terdiri dari struktur bawah (*Lower structure*) dan struktur atas (*Upper structure*). Struktur bawah (*Lower structure*) yang dimaksud adalah pondasi dan struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah, sedangkan yang dimaksud dengan struktur atas (*Upper structure*) adalah struktur bangunan yang terletak di atas permukaan tanah seperti kolom, balok, dan plat.

Masing-masing komponen tersebut mempunyai fungsi yang berbeda-beda dalam sebuah bangunan struktur (Hariono).

#### **2.2 Struktur Bawah**

Yang dimaksud struktur bawah (*Lower structure*) adalah struktur pondasi bangunan yang berada dibawah permukaan tanah. Pondasi merupakan bagian bangunan yang paling bawah yang menyalurkan beban yang dibawa oleh bangunan ke tanah atau batu berada di bawahnya. Pondasi secara garis besar terbagi menjadi 2 bagian yaitu pondasi dangkal (*Shallow foundation*) dan pondasi dalam (*Deep foundation*), tergantung dari letak tanah keras dan perbandingan kedalaman terhadap lebar pondasi.

Suatu pondasi dapat dikatakan pondasi dangkal apabila kedalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ( $D \leq B$ ) dan dapat digunakan apabila lapisan tanahnya keras terletak dekat dengan permukaan tanah sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras terletak jauh dari permukaan tanah.

### **2.2.1 Jenis Dan Fungsi Pondasi**

Untuk menentukan jenis, ukuran dan konstruksi pondasi harus memperhatikan jenis bangunan, beban bangunan, kondisi tanah, dan faktor lain yang mempengaruhinya. Karena fungsi pondasi adalah menyalurkan beban pada bangunan ke tanah sebagai penopang bangunan, maka pondasi perlu diperhitungkan dengan sebaik-baiknya.

Beban yang harus dipikul oleh pondasi, dibedakan menjadi 2 bagian yaitu :

#### **1. Pondasi dangkal**

Pondasi dangkal ini digunakan apabila lapisan tanah pada dasar pondasi mampu menopang beban yang relatif dekat dengan permukaan tanah.

Pondasi dangkal dibagi menjadi:

a. Pondasi memanjang

b. Pondasi telapak

c. Pondasi rakit

#### **2. Pondasi dalam**

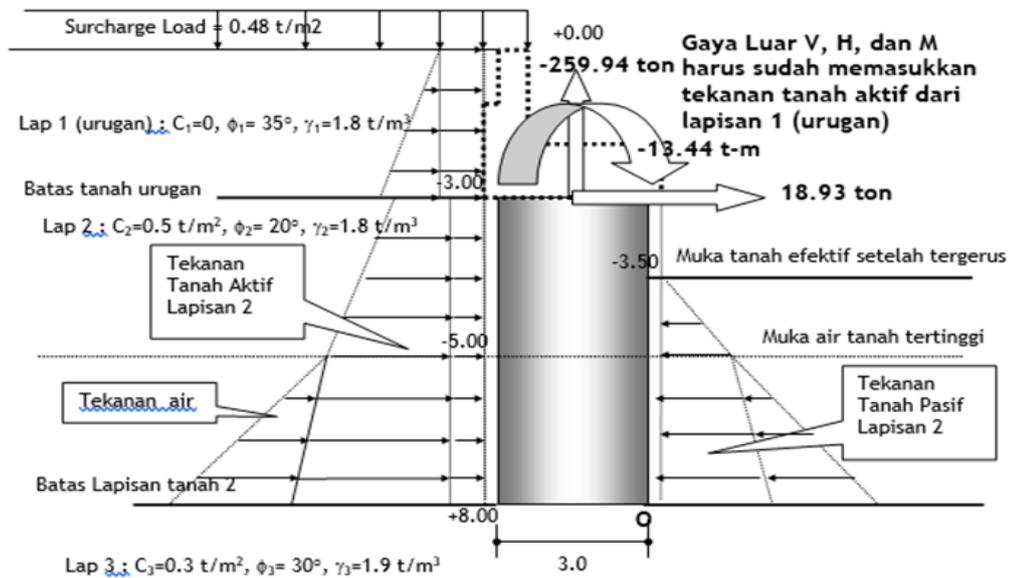
Pondasi dalam digunakan apabila lapisan tanah dasar yang mampu menopang beban terletak jauh dari permukaan tanah, pondasi dalam dibagi menjadi:

a. Pondasi tiang

b. Pondasi sumuran

Pemilihan jenis pondasi yang tepat perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut ini:

1. Apabila tanah penyangga pondasi terletak pada kedalaman 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka pada kondisi ini bangunan dapat menggunakan pondasi telapak
2. Jika tanah penyangga pondasi terletak pada kedalaman 10 meter di bawah permukaan tanah, dalam kondisi ini bisa menggunakan pondasi tiang pancang.
3. Apabila tanah penyangga pondasi terletak pada kedalaman 20 meter di bawah permukaan tanah, maka dalam kondisi ini jika diturunkan bisa memakai tiang geser dan kalau tidak bisa diturunkan biasanya memakai tiang pancang, namun kalau di lapisannya terdapat batu-batu besar maka lebih menguntungkan menggunakan *caisson*.
4. Jika tanah penyangga pondasi terletak pada kedalaman 30 meter di bawah permukaan tanah, dapat digunakan *caisson* terbuka, tiang pancang baja atau tiang pancang di cor ditempat, tetapi jika tekanan atmosfer kerja kurang dari 3 kg/cm<sup>2</sup> maka digunakan *caisson* tekanan.
5. Apabila tanah penyangga pondasi terletak pada kedalaman sekitar 40 meter di bawah permukaan tanah, maka pada kondisi ini digunakan tiang-tiang baja dan tiang-tiang beton yang dipasang pada tempatnya (Bowles J.E, 1993).



Gambar 2.1 Percobaan diameter dengan kedalaman 3 meter  
 Sumber: Bagas Hermawan1/beton-bertulang

### 2.3 Struktur Atas

Struktur atas suatu bangunan adalah seluruh bagian struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah (SNI 2002). Bangunan atas ini terdiri dari kolom, pelat, balok, dinding geser dan tangga yang masing-masing mempunyai peranan yang sangat penting. Gedung kantor pelayanan perbendaharaan negara ini terdiri dari 2 lantai, dalam penulisan skripsi ini penulis hanya akan mengulas struktur bagian atasnya saja, terdiri dari:

1. Kolom
2. Balok
3. Plat lantai

## **2.3.1 Kolom**

### **2.3.1.1 Pengertian Kolom**

Kolom merupakan bagian vertikal suatu struktur rangka yang menerima beban tekan dan lentur. Kolom menyalurkan beban dari elevasi atas ke elevasi bawah hingga akhirnya mencapai tanah melalui pondasi (Nawy, 1998).

Runtuhnya kolom-kolom struktur merupakan hal yang harus diperhatikan baik dari segi ekonomi maupun keselamatan jiwa manusia. Oleh karena itu dalam perencanaan kolom perlu lebih berhati-hati dengan memberikan faktor keamanan yang lebih besar dibandingkan dengan elemen struktur lain seperti balok dan pelat khususnya, kegagalan kompresi yang terjadi pada kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup kuat

### **2.3.1.2 Fungsi Kolom**

Fungsi kolom adalah mendistribusikan beban seluruh bangunan ke pondasi. Misalnya kolom ibarat rangka tubuh manusia yang menopang suatu bangunan berdiri. Kolom merupakan struktur utama yang memikul beban-beban bangunan dan beban-beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang) dan beban hembusan angin. SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom sebagai suatu komponen struktur bangunan yang tugas pokoknya menopang beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling sedikit tiga kali dimensi lateral terkecil.

Kolom mempunyai fungsi yang sangat penting, agar bangunan tidak mudah runtuh. Beban pada suatu bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom

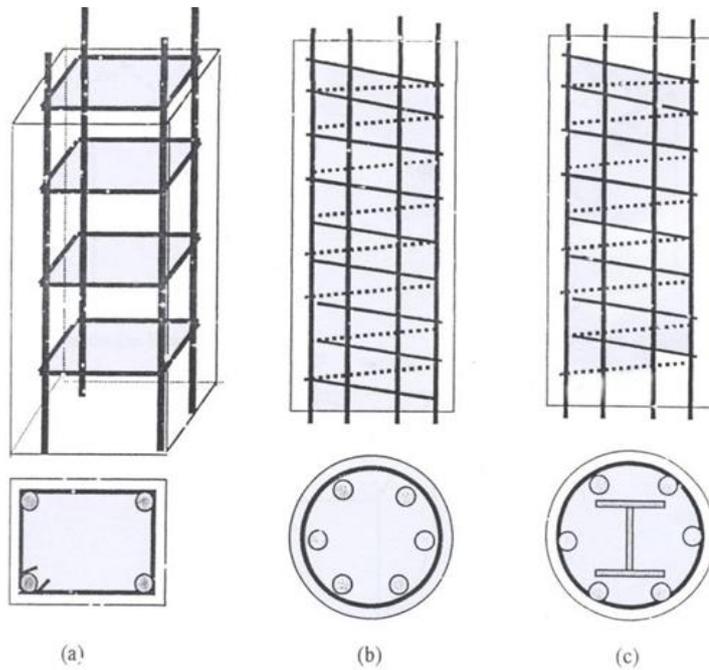
didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya. Struktur kolom terbuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan kombinasi material yang tahan terhadap tegangan dan tekanan.

Besi merupakan material yang tahan terhadap tegangan, sedangkan beton merupakan material yang tahan terhadap tekanan. Perpaduan kedua material ini pada suatu struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktur lainnya seperti sloof dan balok dapat menahan gaya tekan dan tarik bangunan.

### **2.3.1.3 Jenis – Jenis Kolom**

Jenis kolom berdasarkan bentuk dan jenis tulangnya dapat dibagi menjadi tiga kategori seperti terlihat pada Gambar 2.2.

- a. Kolom berbentuk persegi panjang atau persegi dengan tulangan memanjang dan Sengkang
- b. Kolom bulat dengan tulangan memanjang dan sengkang spiral
- c. Kolom komposit merupakan gabungan profil beton dan baja sebagai pengganti tulangan dalam



Gambar 2.2 Jenis kolom dan penulangannya

(a) Kolom persegi bertulangan sengkang

(b) Kolom bundar bertulangan spiral

(c) Kolom komposit

Sumber: Bagas Hermawan1/beton-bertulang

Kolom bersengkang merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena mudah dikerjakan dan murah pembuatannya. Walau demikian kolom persegi Panjang dan kolom bulat dengan tulangan spiral juga terkadang digunakan, terutama untuk kolom yang memerlukan daktilitas tinggi di daerah rawan gempa.

Pembagian tulangan pada kolom berpenampang persegi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pertama, tulangan dipasang secara simetris pada dua sisi penampang, tegak lurus arah lentur dan  $A_s = A'_s = 0,5 A_{st}$ , sedangkan pada kedua metode tersebut tulangan dibagi rata pada sisi penampang dengan  $A_s = A'_s = A_{st} = 0,25 A_{st}$ .

Penggunaan grafik terutama direkomendasikan untuk perkuatan seluruh sisi kolom yang eksentrisitasnya pendek, artinya beban aksial relatif besar dan momen relatif kecil.

Pada sumbu vertikal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{Pu}{\phi A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c} \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan :

- $P_u$  = Gaya aksial terfaktor kolom
- $A_g$  = Luas bruto penampang
- $r$  = Besaran kedua sumbu
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan
- $f_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

Pada sumbu horizontal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{P_u}{\phi A_{gr} \cdot 0,85 \cdot f_c} \left( \frac{e_t}{h} \right) \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan :

- $e_t$  = Eksentrisitas gaya terhadap sumbu
- $h$  = Tebal atau tinggi total komponen

Dalam  $e_t$  telah diperhitungkan eksentrisitas yang dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$e = \frac{M_u}{P_u} \dots\dots\dots (23)$$

Keterangan :

- $e$  = Eksentrisitas
- $M_u$  = Momen terfaktor
- $h$  = Tebal atau tinggi total komponen

Besaran pada kedua sumbu dapat dihitung dan ditentukan, kemudian nilai  $r$  dapat dibaca. Penulangan yang dibutuhkan adalah  $\beta$ .  $r$ , dengan  $\beta$  tergantung pada kualitas beton. Untuk kolom diperbolehkan mengasumsikan faktor reduksi kekuatan sebesar  $\phi = 0,65$ .

Sedangkan harganya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$P_u < 0,10 A_g F_c \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk kolom dengan sanggurdi sebagai pengencang, bisa ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\phi = 0.80 - \frac{0,20\phi P_n}{0,1f'_c A_g} = 0,65 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- $P_n$  = Gaya aksial nominal
- $\phi$  = Gaya reduksi kekuatan

$$P_n \frac{A_s f_y}{(d-d') + 5} + \frac{b h f_c}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- $A_s$  = Luas tulangan persisi
- $f_y$  = Mutu baja
- $d$  = Tinggi kolom dikurangi asumsi selimut beton
- $d'$  = Asumsi selimut beton
- $b=h$  = Lebar dan tinggi kolom

Dengan menggunakan baja tulangan yang telah ditentukan, nilai minimum jarak sengkang ditentukan dari ketentuan sebagai berikut:

1. 16 kali diameter tulangan memanjang utama
2. 48 kali diameter tulangan Sengkang
3. Dimensi terkecil kolom

### 2.3.2 Balok

#### 2.3.2.1 Pengertian Balok

Balok merupakan bagian suatu struktur yang berfungsi sebagai penyalur momen ke struktur kolom. Balok dikenal sebagai elemen fleksibel, yaitu elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser.

#### 2.3.2.2 Fungsi Balok

Fungsi balok antara lain:

- 1) Mengirimkan beban dinding ke kolom
- 2) Sebagai pengikat kolom
- 3) Meningkatkan kekuatan lentur pelat
- 4) Menambah kekuatan horizontal pada struktur

### **2.3.2.3 Jenis-jenis Balok**

Beberapa jenis kolom antara lain:

1. Sebuah balok sederhana bertumpu pada kolom pada ujung-ujungnya, dengan salah satu ujungnya bebas berputar dan tidak mempunyai tahanan momen. Seperti halnya struktur statis lainnya, nilai semua reaksi, perpindahan, dan momen untuk balok sederhana tidak bergantung pada bentuk penampang dan materialnya.
2. Kantilever adalah balok yang menonjol atau struktur kaku lainnya yang ditopang hanya pada satu ujung tetap.
3. Balok atap adalah balok sederhana yang memanjang melewati salah satu kolom penyangga.
4. Balok dengan ujung tetap (terpasang kuat) menahan translasi dan rotasi.
5. Bentang gantung adalah balok sederhana yang ditopang tiang dari dua bentang dengan konstruksi sambungan pin pada momen nol.
6. Balok kontinu memanjang terus menerus pada lebih dari dua kolom penyangga untuk memberikan kekakuan yang lebih besar dan momen yang lebih kecil dibandingkan rangkaian balok terputus-putus yang panjang dan beban yang sama.

### **2.3.2.4 Perencanaan Tulang pada Balok**

1. Momen

Perhitungan momen dan gaya aksial pada balok dan kolom diselesaikan dengan menggunakan aplikasi *SAP2000*.

2. Luas tulangan (AS)

- a. Mengubah beban atau momen kerja menjadi beban rencana ( $W_u$ ) atau momen rencana ( $M_u$ ) termasuk beratnya sendiri.
- b. Berdasarkan  $h$  yang diketahui, perkirakan  $d$  menggunakan hubungan  $d=h-80$  mm, kemudian hitung  $k$  yang diperlukan menggunakan persamaan berikut:

$$K = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- $K$  = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
- $M_u$  = Momen terfaktor
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan
- $b$  = Lebar ( $m$ )
- $d$  = Tinggi efektif ( $m$ )

- c. Menentukan perbandingan tulangan berdasarkan tabel luas penampang tulangan baja.
- d. Menghitung  $A_s$  yang dibutuhkan dengan persamaan berikut:

$$A_s = p b d \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- $A_s$  = Luas tulangan persisi
- $p$  = Selimut beton
- $b$  = Lebar balok
- $d$  = Tinggi efektif penampang balok

3. Mencanakan dimensi penampang dan sumbu *AS*
  - a. Pilih rasio tulangan yang diperlukan berdasarkan tabel, kecuali dimensi balok terlalu kecil atau diinginkan pengurangan penulangannya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_{min} \leq p \leq p_{max} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

*p<sub>min</sub>* = Rasio tulangan minimum

*p<sub>max</sub>* = Rasio tulangan maksimum

- b. Perkirakan *b* lalu hitung *d* yang dibutuhkan menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$d_{perlu} = \sqrt{\frac{M_u}{\phi b k}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

*d* = Tinggi efektif penampang balok

*M<sub>u</sub>* = Momen terfaktor

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

4. Perencanaan tulangan geser
  - a. Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur persamaan 13.3-1 SK SNI 2847-2019 memberikan kemampuan beton menahan gaya geser adalah *V<sub>c</sub>* yaitu dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_c = \left( \sqrt{\frac{f_u}{6}} \right) b_w d \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

$V_c$  = Kuat geser nominal

$f_u$  = Tegangan tarik

$$v_s = \frac{v_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

$v_s$  = Kuat geser nominal

$v_u$  = Gaya geser terfaktor

b. Berdasarkan SNI 2847-2019 koefisien reduksi ( $\phi$ ) = 0,75 dimana  $M_u$  adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum  $V_u$  pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dan  $V_c$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$\frac{V_u}{M_u} < 1.0 \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$V_u$  = Gaya geser terfaktor

$M_u$  = Momen terfaktor

$$V_c < (0,30\sqrt{f'_c})b_w d \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$V_c$  = Gaya geser nominal

$f'_c$  = kuat tekan beton

- c. Untuk sengkang yang tegak lurus sumbu aksial komponen struktur dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_s = \frac{A_s f_y d}{s} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

- $A_s$  = Luas tulangan tarik  
 $f_y$  = Tegangan leleh baja  
 $s$  = Spasi tulangan geser

### 2.3.3 Plat Lantai

#### 2.3.3.1 Perhitungan Plat Lantai

Pelat lantai adalah suatu lantai yang letaknya tidak langsung diatas tanah, melainkan merupakan lantai datar yang memisahkan satu tingkat dengan tingkat lainnya. Pelat lantai ditopang oleh balok yang bertumpu pada kolom bangunan. Ketebalan pelat l antai ditentukan oleh:

- a. Besarnya defleksi yang diinginkan.
- b. Lebar bentang atau jarak antar balok penyangga.
- c. Bahan konstruksi dan pelat lantai.

Pelat lantai harus direncanakan kaku, rata, lurus dan sejajar dengan permukaan air (memiliki ketinggian yang sama dan tidak miring), pelat lantai dapat diberi kemiringan sedikit untuk kepentingan aliran air. Tebal pelat lantai ditentukan oleh: beban yang harus ditopang, lendutan yang diijinkan, lebar bentang atau jarak antar balok penyangga, bahan konstruksi pelat lantai.

Pelat lantai merupakan suatu struktur padat tiga dimensi dengan permukaan lurus dan datar serta ketebalan yang jauh lebih kecil dibandingkan dimensi lainnya.

Struktur pelat dapat dimodelkan dengan elemen 3 dimensi yang mempunyai ketebalan  $h$ , panjang  $b$ , dan lebar  $a$ . Fungsi pelat lantai adalah menerima beban-beban yang akan disalurkan ke struktur lainnya.

Pelat lantai merupakan beton bertulang yang diberi tulangan baja dengan posisi melintang dan memanjang yang diikat menggunakan kawat fleksibel, serta tidak menempel pada permukaan pelat baik bagian bawah maupun atas. Diameter, jarak antar tulangan, posisi tulangan tambahan tergantung pada bentuknya pelat, kemampuan pelat yang diinginkan untuk menerima defleksi yang diijinkan.

### **2.3.3.2 Fungsi Plat Lantai**

Fungsi pelat lantai adalah sebagai berikut :

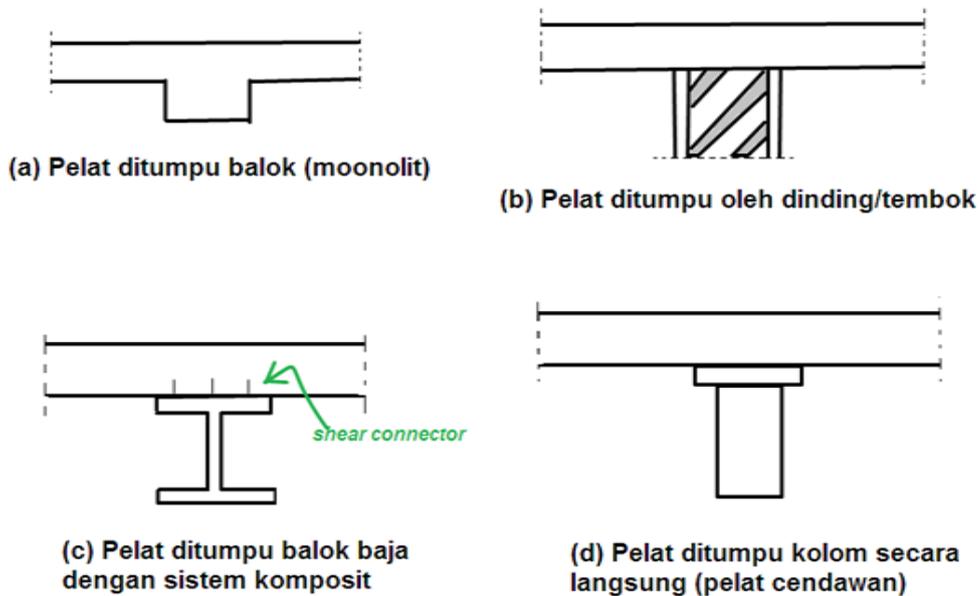
- a. Sebagai pemisah ruang bawah dan ruang atas.
- b. Sebagai tempat pijakan penghuni di lantai paling atas.
- c. Tempatkan kabel listrik dan lampu di ruang bawah.
- d. Meredam suara dari ruangan atas dan bawah.
- e. Meningkatkan kekakuan bangunan pada arah horizontal.

### **2.3.3.3 Jenis-jenis Plat Lantai**

Terdapat berbagai jenis pelat lantai berdasarkan sistem pendukung, penempatan dan perkuatannya. Jenis-jenis pelat lantai berdasarkan tumpuannya adalah:

1. Monolit adalah suatu plat yang balok-baloknya dicor menjadi satu sehingga menjadi satu kesatuan.
2. Ditopang oleh dinding/dinding bangunan.
3. Ditopang balok baja dengan sistem komposit.

4. Ditopang kolom langsung tanpa balok, dikenal sebagai plat cendawan.



Gambar 2.3 jenis plat berdasarkan tumpuan

Sumber: Bagas Hermawan1/beton-bertulang

Jenis-jenis pelat lantai berdasarkan penempatannya adalah:

1. Terletak bebas

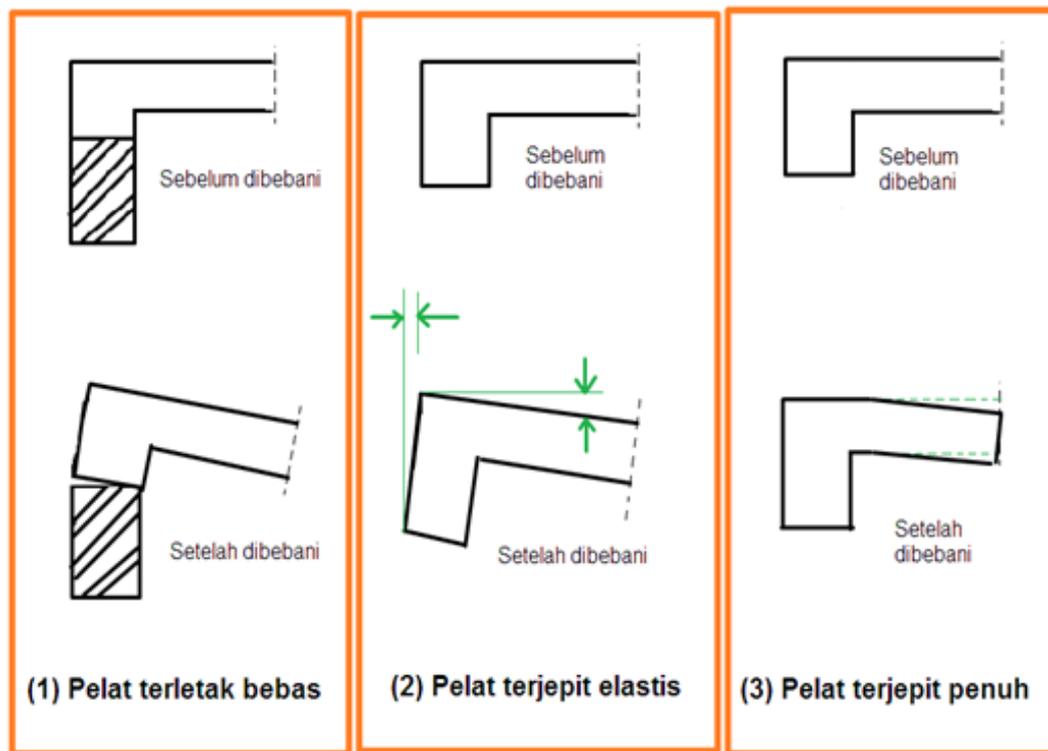
Apabila pelat hanya diletakkan pada balok saja, atau pelat dan balok tidak dicor bersama-sama sehingga pelat dapat berputar bebas pada tumpuannya.

2. Terjepit elastis

Jika pelat dan balok dicor secara monolitik, maka ukuran balok cukup kecil sehingga balok tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi.

3. Dijepit sepenuhnya

Jika pelat dan balok dicor bersama-sama secara monolitik, dan ukuran balok cukup besar untuk mencegah rotasi pelat.



Gambar 2.4 jenis plat berdasarkan perletakannya

Sumber: Bagas Hermawan1/beton-bertulang

Jenis-jenis pelat lantai berdasarkan sistem perkuatannya adalah:

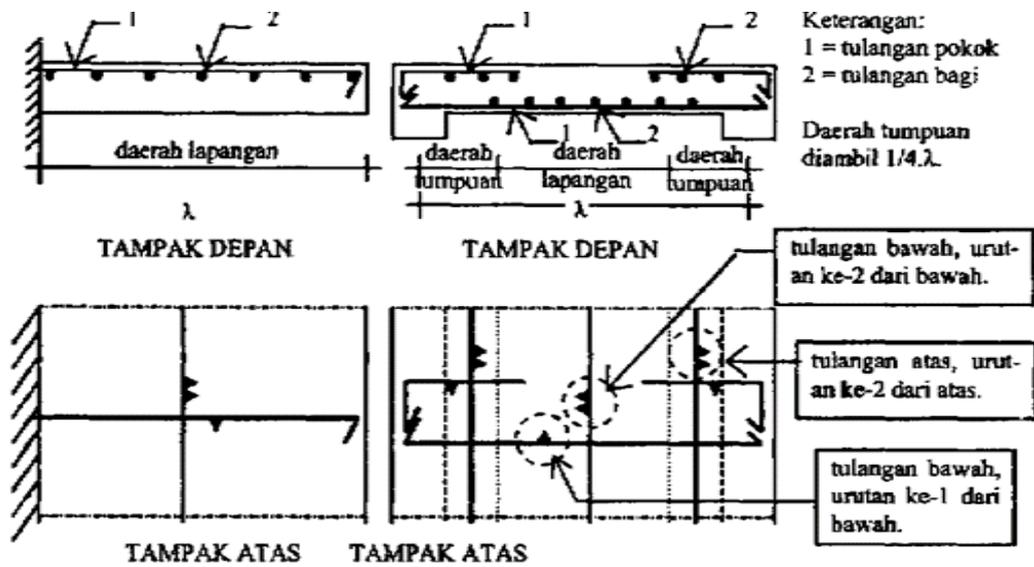
1. Tulangan pelat satu arah (*one way slab*)

Konstruksi pelat satu arah dengan tulangan utama satu arah akan diperoleh jika pelat beton yang dominan memikul beban berupa momen lentur hanya pada satu arah bentang. Contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever (*Luifel*) dan pelat penyangga dengan 2 dukungan paralel.

2. Perkuatan pelat dua arah

Konstruksi pelat dua arah dengan tulangan utama dua arah ini akan diperoleh jika pelat beton memikul beban berupa momen lentur pada bentang dua arah. Pada ulasan pelat lantai kali ini, sistem perkuatan pelat yang digunakan adalah pelat dua arah. Contoh piring dua arah merupakan pelat yang ditopang oleh 4 sisi sejajar,

seperti pada proyek Pembangunan Gedung Pelayanan Keperawatan Gigi Kementerian Kesehatan Padang di ini.



(a). Pelat kantilever (b). Pelat dengan dua tumpuan sejajar

Gambar 2.5 Jenis plat berdasarkan penulangannya

Sumber: Bagas Hermawan1/beton-bertulang

### 2.3.3.4 Perencanaan Plat Lantai

Pelat lantai direncanakan berdasarkan kebutuhan tebal minimum dengan bantuan tebal minimum  $h$  dan ditambah dengan faktor pengali yang dihasilkan bila menggunakan beton selain  $f_y = 400$  MPa (Vis-Kusuma, 1993), yaitu menurut persamaan sebagai berikut:

$$0,4 + \frac{f_y}{700} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dalam perhitungan perencanaan pelat beton bertulang digunakan definisi bentang teoritis yang dinyatakan sebagai  $l$ . Nilai ini dianggap sama dengan bentang bersih  $L$  antara dua permukaan penyangga ditambah setengah panjang peletakan  $a$

pada setiap ujungnya. Jika lebar balok lebih dari dua kali tebal seluruh pelat, maka dianggap  $l = L + 100$  (seperti pada Gambar 2.5). Apabila penempatan pelat beton bertulang terbuat dari bahan selain beton bertulang, maka menurut ketentuan bentang  $l = l+h$ , dimana  $L$  adalah bentang bersih dan  $h$  adalah tebal total pelat.

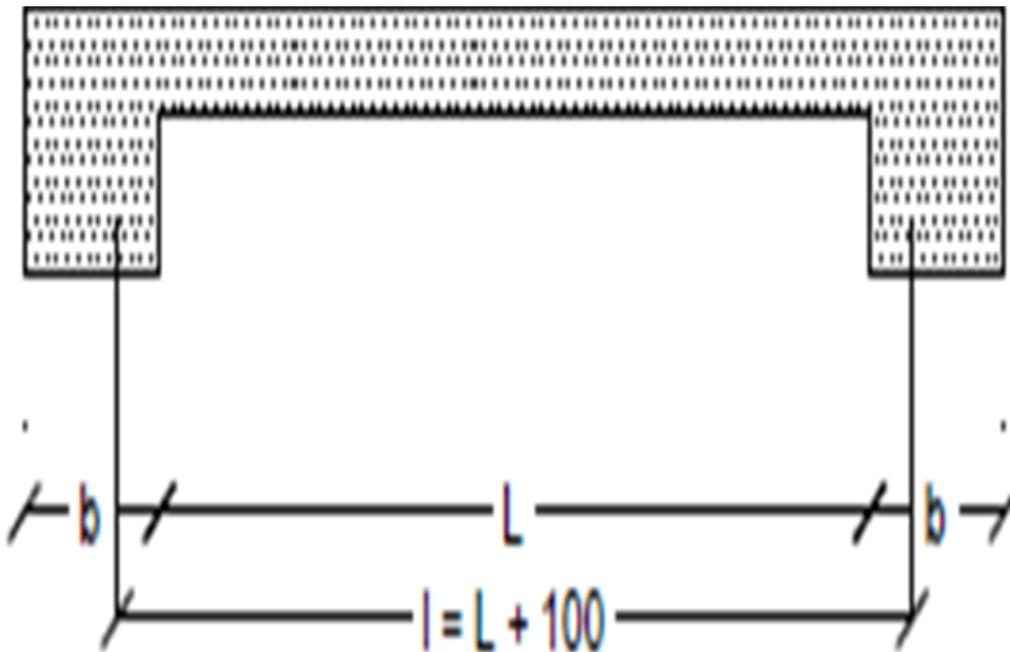
Jika  $(L+h)$  lebih besar dari jarak pusat ke pusat tumpuan, maka dapat dianggap sebagai jarak ke pusat seperti pada Gambar (2.6). Dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$l = L + \left(2 \times \frac{1}{2} b\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

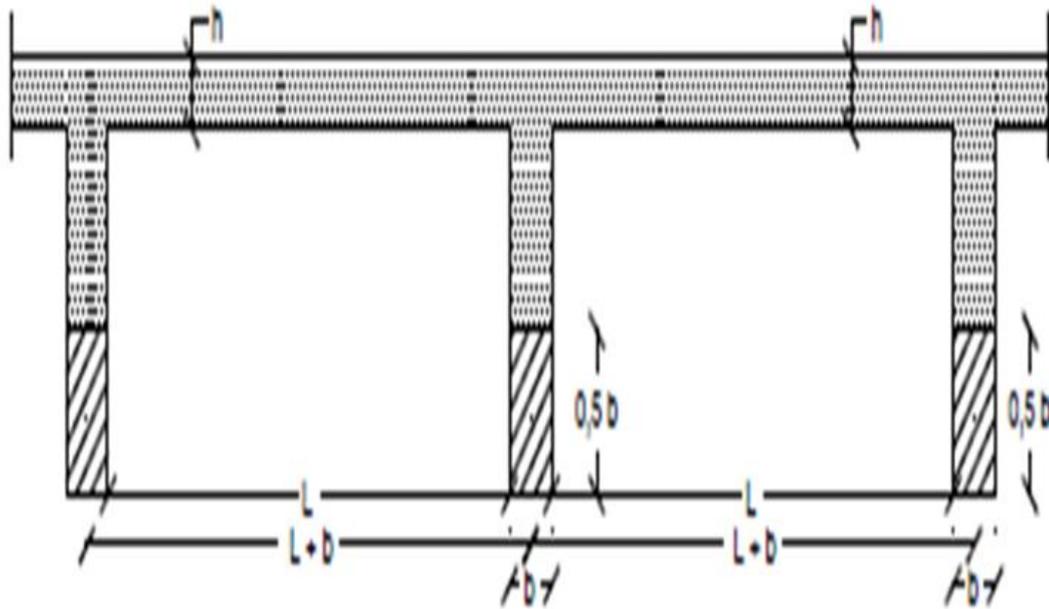
$L$  = Panjang bentang

$b$  = Lebar daerah komponen



Gambar 2.6 Bentang teoritis monolit

Sumber: Vis-Kusuma, 1993



Gambar 2.7 Bentang teoritis tidak monolit

Sumber: Vis-Kusuma, 1993

Dengan memperkirakan tulangan yang akan digunakan sebagai tulangan tarik utama dan penutup beton berdasarkan tebal minimum penutup beton pada tulangan terluar dalam satuan mm (Vis-Kusuma, 1993) maka nilai  $d$  dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$d = h - p - \frac{1}{2}\phi p \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan :

- $d$  = Tebal selimut beton
- $h$  = Tinggi plat
- $p$  = Beban terpusat
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan

Perencanaan menggunakan  $M_u = M_R$  sebagai limitnya dengan  $M_R = \phi bd^2 k$ , sehingga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$K_{perlu} = \frac{M_u}{\phi bd^2} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan :

- $K$  = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan
- $M_u$  = Momen (kN/mm)
- $\phi$  = 0,8

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka dapat dihitung rasio baja yang dibutuhkan  $\rho$  sehingga  $A_s$  yang dibutuhkan juga dapat dihitung, yaitu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = P_{min}bd. 10^6 \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

- $A_s$  = Rasio tulangan
- $P_{min}$  = Rasio tulangan minimum
- $b$  = Lebar (mm)

#### 2.4 Prosedur Metode Beban

Struktur bangunan harus mempunyai sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan dan kapasitas disipasi energi yang cukup untuk menahan pergerakan tanah rencana dalam batas deformasi dan persyaratan kekuatan yang diperlukan. Berikut penjelasan langkah-langkah metode beban gempa berdasarkan SNI-1726-2019 untuk bangunan gedung.

### 2.4.1 Menentukan Kategori Resiko Struktur Gedung

Metode struktur bangunan mengutamakan faktor gempa dan kategori risiko struktur bangunan. Kategori risiko bangunan dan non bangunan ditentukan pada tabel 2.1, kategori risiko bangunan dan faktor prioritas gempa dapat dilihat pada tabel 2.2 Faktor prioritas gempa.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
Gedung dan nongedung 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, perternakan, 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, III, 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 apartemen/ rumah susun</li><li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li><li>- Bangunan industri</li><li>- Fasilitas manufaktur</li><li>- Pabrik</li></ul>	II

<p>Gedung dan nongedung 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> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	<b>III</b>
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, 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, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin,</li> </ul>	<b>IV</b>

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	
--	--

Sumber: SNI-1726-2019

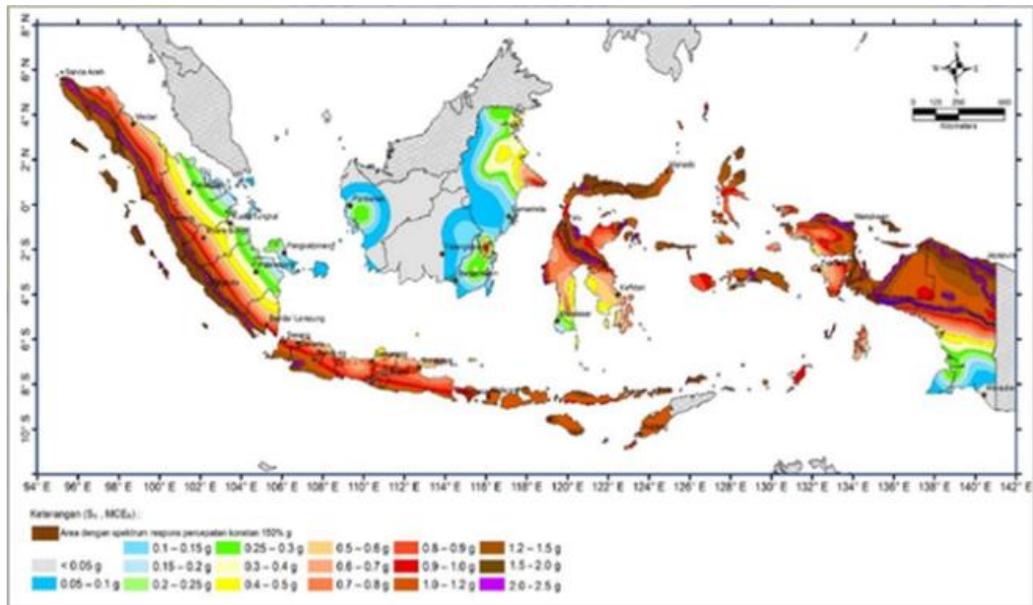
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI-1726-2019

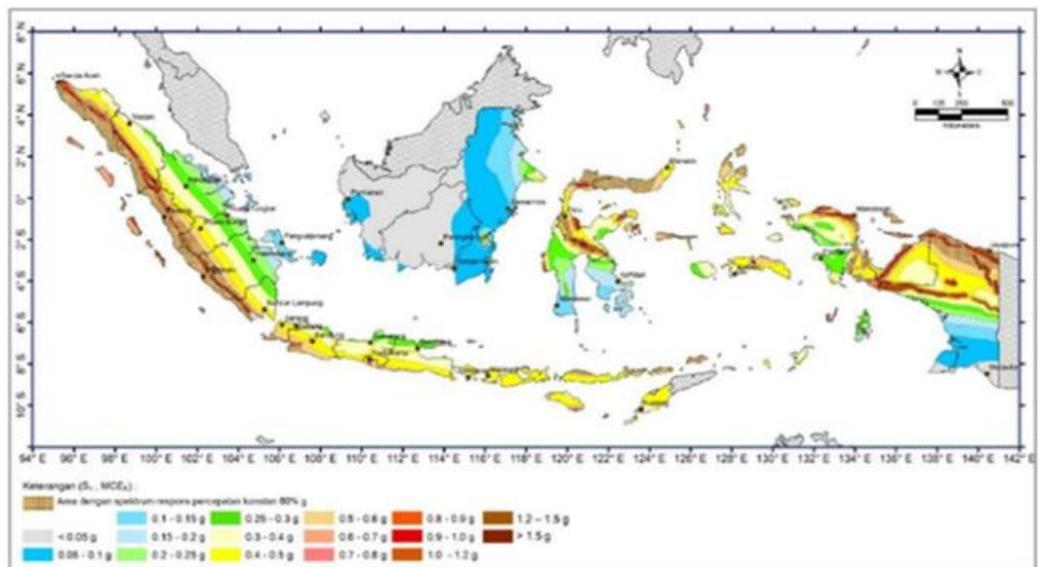
#### 2.4.2 Menentukan Parameter Percepatan Gempa Terpetakan (Ss, S1)

Parameter dasar pergerakan tanah pada SNI Gempa adalah Ss dan S1, Ss adalah parameter percepatan batuan dasar dalam waktu singkat (0,2 detik) dan S1 adalah percepatan batuan dasar dalam kurun waktu 1 detik. Penentuan nilai Ss dan S1 dapat diperoleh berdasarkan peta gempa pada gambar 2.7 dan gambar 2.8 pada SNI 1726:2019 atau melalui website [www.rsapuskim2019.litbang.pu.go.id](http://www.rsapuskim2019.litbang.pu.go.id). Contoh peta parameter Ss pada Gambar 2.7, dan contoh peta parameter S1 pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Contoh peta parameter  $S_s$

(Sumber: SNI Gempa 1726-2019)



Gambar 2.9 Contoh peta parameter  $S_1$

(Sumber: SNI Gempa 1726-2019)

### 2.4.3 Menentukan Kelas Situs (SA – SF)

Lapisan tanah pada suatu lokasi proyek dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelas tapak mulai dari kelas A sampai F. Klasifikasi kelas tapak dilakukan berdasarkan hasil pengujian, yaitu rata-rata kecepatan gelombang geser, rata-rata ketahanan penetrasi standar lapangan, atau rata-rata ketahanan penetrasi standar lapangan. Untuk lapisan tanah non-kohefif, dan kuat geser fluida rata-rata. Profil tanah di lokasi harus diklasifikasikan berdasarkan Tabel 2.3, berdasarkan profil tanah pada lapisan 30 m teratas. Penentuan kelas lokasi harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dengan mengukur secara mandiri paling sedikit dua dari tiga parameter tanah yang tercantum pada Tabel 2.3. Dalam hal ini, kelas lokasi dengan kondisi yang lebih buruk harus diterapkan. Apabila pada suatu lokasi tidak tersedia data tanah yang spesifik sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah tersebut harus diperkirakan oleh ahli geoteknik yang mempunyai sertifikat/izin keahlian.

Tabel 2.3 Klasifikasi situs

<b>Kelas situs</b>	<b>Vs (m/dt)</b>	<b>N atau Nch</b>	<b>Su (kpa)</b>
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 s/d 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 s/d 750	> 50	$\geq 100$
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 $S_u \ll 25 \text{ kPa}$
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan metode respon spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut ( $H > 3\text{m}$ ) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $SU < 50 \text{ kPa}$ )

Sumber: SNI-1726-2019

#### 2.4.4 Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER)

Untuk mengetahui respon spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi mencakup faktor amplifikasi getaran terkait percepatan untuk getaran jangka pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran jangka panjang.

1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan dalam periode pendek (SMS) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.21) dan periode 1 detik (SM1) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.22) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi lokasi.

$$SMS = F_a \times S_s \dots\dots\dots (2.21)$$

$$SM1 = F_v \times S1 \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan :

$S_s$  = Parameter respons spektral untuk perioda pendek.

$S_1$  = Parameter respons spektral untuk perioda 1,0 detik.

(penentuan koefisien  $F_a$  mengikuti tabel 2.4 dan koefisien  $F_v$  tabel 2.5).

Tabel 2.4 Koefisien situs  $F_a$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER) terpetakan padaperioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$SS \leq 0,25$	$SS = 0,5$	$SS = 0,75$	$SS = 1,0$	$SS \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	0,1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	0,1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Ssb				

Sumber: SNI-1726-2019

- (a) Untuk nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $S_{sb}$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan metode respons situs-spesifik,

Tabel 2.5 Koefisien situs  $F_v$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCER) terpetakan padaperioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	0,1

SD	1,6	1,4	1,2	1,1	0,1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	Ssb				

Sumber: SNI-1726-2019

- (a) Untuk nilai antara S1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SSb = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan metode respons situs-spesifik

#### 2.4.5 Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain

Rancang parameter percepatan spektral untuk periode pendek, SDS ditentukan oleh persamaan (2.23) dan untuk periode 1 detik SD1 ditentukan oleh persamaan (2.24) dengan rumus sebagai berikut:

$$SDS = 2 SMS \dots\dots\dots (2.23)$$

$$SD1 = \frac{2}{3} SM1 \dots\dots\dots (2.24)$$

dengan:

*SDS* = Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

*SD1* = Parameter respons spektral untuk perioda 1,0 detik.

#### 2.4.6 Menghitung Periode Getar Fundamental Struktur

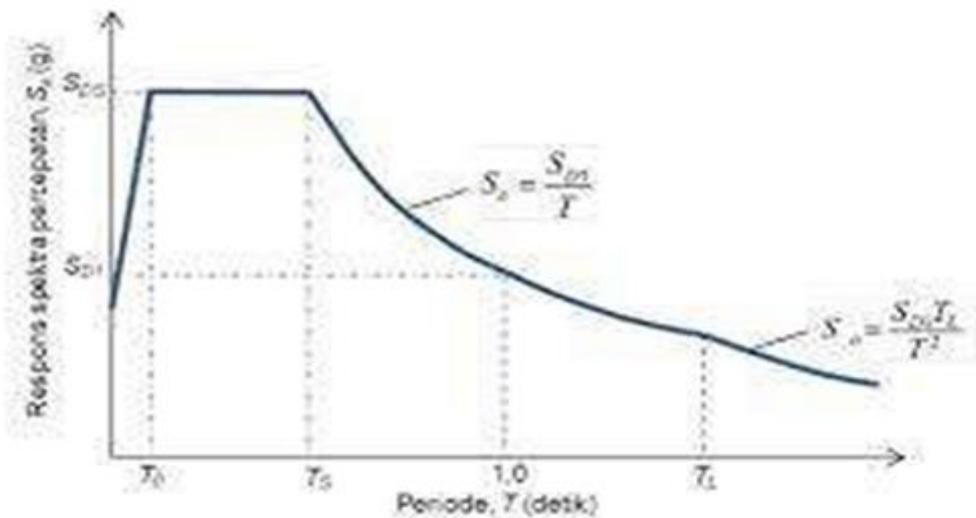
Dalam perhitungan periode getar fundamental sesuai dengan SNI 1726:219 mengikuti persamaan (2.25) dan persamaan (2.26) sebagai berikut:

$$T_o = 0,2 \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SD_s} \dots\dots\dots (2.26)$$

### 2.4.7 Menentukan Spektrum Respons Desain

Jika spektrum respons desain disyaratkan oleh peraturan ini dan prosedur gerakan tanah spesifik lokasi tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar. 2.10 dan ikuti ketentuan di bawah ini:



Gambar 2.10 Desain Spektrum respon

(Sumber: SNI-1726-2019)

Untuk  $T < T_0$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , mengikuti persamaan (2.27)

$$S_a = S_{ps} \left[ 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right] \dots\dots\dots (2.27)$$

Untuk  $T < T_0 < T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  sama dengan SDS, dan untuk  $T > T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , mengikuti persamaan (2.28)

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T^2} \dots\dots\dots (2.28)$$

Untuk  $T > T_L$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$ , maka

Berikut persamaan (2.29)

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan :

$SDS$  = parameter respon spektra percepatan desain pada periode pendek.

$SDI$  = parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

$T$  = periode getar fundamental struktur.

#### 2.4.8 Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur dalam kategori risiko IV yang terletak di mana parameter respons spektral percepatan ditetapkan pada periode 1 detik,  $S_1$  lebih besar atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan desain seismik kategori F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko dan parameter respons spektral percepatan desain,  $SDS$  dan  $SDI$ . Setiap gedung dan Struktur tersebut harus masuk dalam kategori desain seismik berat, mengacu pada tabel 2.6 Kategori desain seismik percepatan periode pendek atau tabel 2.7 kategori desain seismik percepatan periode 1 detik, tanpa memperhatikan nilai periode getaran fundamental struktur,  $T$ .

Jika  $S_1$  kurang dari 0,75, kategori desain seismik diperbolehkan ditentukan berdasarkan tabel 2.6 saja, jika seluruh kondisi di bawah ini berlaku:

- a. Pada masing-masing dua arah ortogonal, estimasi periode fundamental struktur,  $T_a$  kurang dari 0,8  $T_s$ .

- b. Pada masing-masing dua arah ortogonal, periode fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai lebih kecil dari  $T_s$ .
- c. Persamaan 2.9 digunakan untuk menentukan koefisien respon seismik,  $C_s$ .
- d. Diafragma struktur bersifat kaku, untuk diafragma fleksibel jarak antar elemen vertikal yang menahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Tabel 2.6 Kategori desain seismik percepatan perioda pendek.

Nilai SDS	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDS < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SDS \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq SDS \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq SDS$	D	D

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 2.7 Kategori desain seismik percepatan perioda 1 detik

Nilai SDS	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SD1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD1 \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD1 \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD1$	D	D

Sumber: SNI-1726-2019

## 2.4.9 Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem ( $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ )

Sistem dasar penahan gaya gempa lateral dan vertikal harus memenuhi SNI-1726:2019, salah satu jenisnya ditunjukkan pada Tabel 2.8. Pembagian masing-masing jenisnya didasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus memenuhi batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan pada Tabel 2.8. Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$ , untuk modifikasi yang sesuai terhadap respon sistem penahan gaya gempa,  $R$ , faktor kekuatan lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan koefisien amplifikasi defleksi,  $C_d$ , seperti ditunjukkan pada tabel 2.8 harus digunakan dalam menentukan geser dasar, kekuatan desain elemen, dan penyimpangan antar lantai pada tingkat desain.

Tabel 2.8 Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$ , untuk sistem pemikul gaya seismic

Sistem pemikul gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismic				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>g</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>n</sup>	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10

Sumber: SNI Gempa 1726-2019

## 2.5 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Struktur Bangunan

Suatu struktur dirancang agar mampu menahan beban kerja, untuk dapat menentukan beban mati dan beban hidup untuk perencanaan harus digunakan berat bahan dan konstruksi yang sebenarnya, dengan ketentuan jika tidak ada penjelasan yang jelas maka nilai yang harus digunakan adalah nilai yang telah ditentukan sesuai dengan peraturan pembebanan Indonesia SNI 03-1727-1989.

### 2.5.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bagian permanen suatu bangunan, serta perlengkapan tetap yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari bangunan tersebut. Berat sendiri bahan bangunan disesuaikan dengan tabel 2.9 dan tabel 2.10 digunakan sebagai dasar penghitungan beban mati.

Tabel 2.9 Berat sendiri bahan bangunan

No.	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m <sup>3</sup>
2	Batu alam	2600	Kg/m <sup>3</sup>
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	Kg/m <sup>3</sup>
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	Kg/m <sup>3</sup>
5	Batu pecah	1450	Kg/m <sup>3</sup>
6	Besi tuang	7250	Kg/m <sup>3</sup>
7	Beton (1)	2200	Kg/m <sup>3</sup>
8	Beton bertulang (2)	2400	Kg/m <sup>3</sup>
9	Kayu (kelas 1) (3)	1000	Kg/m <sup>3</sup>
10	Krikil, koral (kering udara-lembab, tanpa ayak)	1650	Kg/m <sup>3</sup>
11	Pasangan bata merah	1700	Kg/m <sup>3</sup>
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	Kg/m <sup>3</sup>

13	Pasangan batu cetak	2200	Kg/m <sup>3</sup>
14	Pasangan batu karang	1450	Kg/m <sup>3</sup>
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	Kg/m <sup>3</sup>
16	Pasir (jenuh air)	1800	Kg/m <sup>3</sup>
17	Pasir krikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	Kg/m <sup>3</sup>
18	Tanah, lempung, lanau (kering udara-lembab)	1700	Kg/m <sup>3</sup>
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	Kg/m <sup>3</sup>
20	Timah hitam (timbangan)	11400	Kg/m <sup>3</sup>

Sumber: SNI 03-1727-1989

Tabel 2.10 Berat sendiri komponen gedung

No.	Komponen Bangunan	Beban	Satuan
1	Adukan, per cm tebal : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dari semen</li> <li>• Dari kapur, semen merah atau tras</li> </ul>	21	Kg/m <sup>2</sup>
		17	Kg/m <sup>2</sup>
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	Kg/m <sup>2</sup>
3	Dinding pasangan bata merah : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Satu batu</li> <li>• Setengah batu</li> </ul>	450	Kg/m <sup>2</sup>
		250	Kg/m <sup>2</sup>
4	Batu karang (berat tumpuk) Dinding pasangan batako : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berlubang : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tebal dinding 20 cm (HB 20)</li> <li>- Tebal dinding 10 cm (HB 10)</li> </ul> </li> <li>• Tanpa lubang: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tebal dinding 15 cm</li> <li>- Tebal dinding 10 cm</li> </ul> </li> </ul>	200	Kg/m <sup>2</sup>
		120	Kg/m <sup>2</sup>
		300	Kg/m <sup>2</sup>
		200	Kg/m <sup>2</sup>

5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terpadu dari: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Semen asbes (eternity dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm.</li> <li>• Kaca, dengan tebal 3-4 mm.</li> </ul>	11	Kg/m <sup>2</sup>
		10	Kg/m <sup>2</sup>
6	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m.	40	Kg/m <sup>2</sup>
7	Penutup atap genting dengan reng dan usuk / kaso per m <sup>2</sup> bidang atap.	50	Kg/m <sup>2</sup>
8	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk / kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap.	40	Kg/m <sup>2</sup>
9	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	Kg/m <sup>2</sup>
10	Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal.	24	Kg/m <sup>2</sup>
11	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	Kg/m <sup>2</sup>

Sumber: SNI 03-1727-1989

### 2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah segala beban yang terjadi akibat ditempati atau digunakan pada suatu bangunan, termasuk beban pada lantai yang berasal dari benda bergerak. Perhitungan beban hidup pada lantai bangunan dapat disesuaikan dengan berat per panjang

Tabel 2.11 Beban hidup pada lantai gedung

No.	Lantai Gedung	Beban	Satuan
1	Baja lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam no 2.	200	Kg/m <sup>2</sup>
2	Lantai tangga rumah tinggal sederhana dan gudang- gudang tidak penting yang bukan untuk took, pabrik atau bengkel.	125	Kg/m <sup>2</sup>
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk) Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, took, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit.	250	Kg/m <sup>2</sup>
4	Lantai ruang olah raga.	400	Kg/m <sup>2</sup>
5	Lantai dansa	500	Kg/m <sup>2</sup>
6	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari yang disebut dalam no 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung dengan tempat duduk tetap.	400	Kg/m <sup>2</sup>
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton berdiri.	500	Kg/m <sup>2</sup>
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 3.	300	Kg/m <sup>2</sup>
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 4,5,6 dan 7.	500	Kg/m <sup>2</sup>
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam no 3,4,5,6 dan 7.	250	Kg/m <sup>2</sup>

11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	400	Kg/m <sup>2</sup>
12	Lantai gedung parkir bertingkat : <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Untuk lantai bawah</li> <li>➤ Untuk lantai lainnya</li> </ul>	800	Kg/m <sup>2</sup>
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai yang berbatasan dengan minimum.	300	Kg/m <sup>2</sup>

Sumber: SNI 03-1727-1989

## 2.6 Prosedur Metode Gaya Lateral pada Struktur Bangunan

### 2.6.1 Gaya geser dasar seismic

Geser dasar seismic  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan (2.30)

$$V = C_S \times W_1 \dots\dots\dots (2.30)$$

Untuk perhitungan koefisien respons seismic ( $C_S$ ), ditentukan sesuai dengan persamaan (2.31)

$$C_S = \frac{S_{D_S} \times I_e}{r} \dots\dots\dots (2.31)$$

Untuk perhitungan koefisien respon seismic maksimum dengan Syaratnya jika  $T \leq T_L$  maka koefisien respon seismic ( $C_S$ ) menggunakan persamaan (2.32), dan jika  $T \geq T_L$  maka koefisien respon seismic ( $C_S$ ) menggunakan persamaan (2.33)

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan:

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain perioda pendek.

Ie = Faktor keutamaan gempa.

R = Faktor modifikasi respons.

### 2.6.2 Periode Fundamental

Periode fundamental struktur  $T$ , dalam arah yang dipertimbangkan harus diperoleh dengan menggunakan sifat struktural dan karakteristik deformasi elemen pendukung dalam metode yang diuji. Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil kali koefisien batas atas dan periode perhitungan ( $C_u$ ) dan perkiraan periode fundamental,  $T_a$ , yang ditentukan berdasarkan persamaan 2-15. Sebagai alternatif penerapan metode penentuan periode fundamental suatu struktur,  $T$ , diperbolehkan menggunakan estimasi langsung periode bangunan,  $T_a$ .

Penentuan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan (2.34)

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots\dots\dots (2.34)$$

dengan :

$h_n$  = Ketinggian struktur

$C_{t,x}$  = Koefisien perioda ditentukan dalam tabel 2.5, dan ( $C_u$  di tentukan dalam tabel 2.16 koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung)

Tabel 2.12 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$

<b>Tipe Struktur</b>	<b><math>C_t</math></b>	<b><math>\alpha</math></b>
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan 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 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber: SNI-1726-2019

Tabel 2.13 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

<b>Parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik, SD1</b>	<b>Koefisien <math>C_u</math></b>
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI-1726-2019

Dalam menentukan periode fundamental (T) dalam SNI 1726:2019 yang akan di gunakan jika Tc lebih dari (Cu), maka menggunakan persamaan (2.35) sebagai berikut:

$$T = C_u \times T_a \dots\dots\dots (2.35)$$

Jika perioda fundamental pendekatan (Ta) kurang dari periode fundamental struktur yang diperoleh dari program metode struktur (Tc) kurang dari (Cu x Ta), maka gunakan persamaan gunakan persamaan (2.36) sebagai berikut:

$$T = T_c \dots\dots\dots (2.36)$$

Jika periode fundamental struktur yang diperoleh dari program metode struktur (Tc) kurang dari periode minimum (Ta), maka gunakan persamaan (2.37)

$$T = T_a \dots\dots\dots (2.37)$$

## 2.7 Distribusi Gaya Gempa

### 2.7.2 Distribusi Gaya Gempa Vertikal

Gaya gempa lateral (Fx) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan (2.38) dan faktor distribusi vertikal pada persamaan (2.39)

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots (2.38)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h_x^k}{\sum W_i \times h_i^k} \dots\dots\dots (2.39)$$

dengan:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertical

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur.

$W_i, W_x$  = Bagian berat efektif total struktur yang ditempatkan di Tingkat

$h_i, h_x$  = Tinggi dari dasar sampai Tingkat I atau x

$k$  = Eksponen yang terkaiy dengan periode struktur

Penentuan nilai k berdasarkan pada perioda (T) dari sistem struktur tersebut.

- 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.

### 2.7.3 Distritribusi Gaya Gempa

Tingkat geser gempa rencana pada semua tingkat ( $V_x$ ), harus ditentukan dari persamaan (2.40)

$$V_x = \sum_{x-1}^n f_i \dots\dots\dots (2.40)$$

dengan:

$V_x$  = Geser Tingkat desain gempa di semua tempat

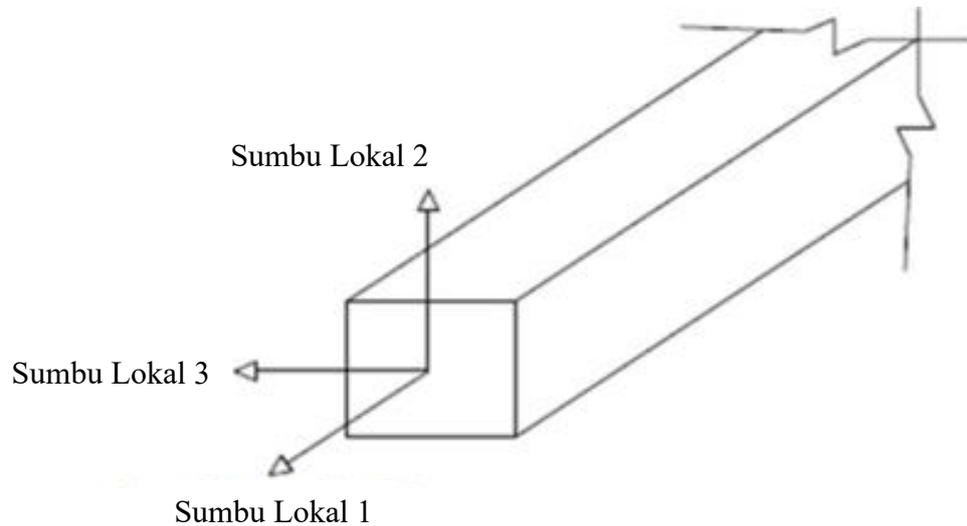
$F_i$  = Bagian dari geser dasar seismic

### 2.7.4 Permodelan Sendi Plastis

#### 1. *Hinge properti balok*

Data sifat engsel dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok, yaitu lokasi dimana diperkirakan akan terjadi engsel plastis. Setiap penampang balok

dimodelkan dengan pilihan model momen M3 yang berarti engsel plastis hanya terjadi akibat momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 2.11

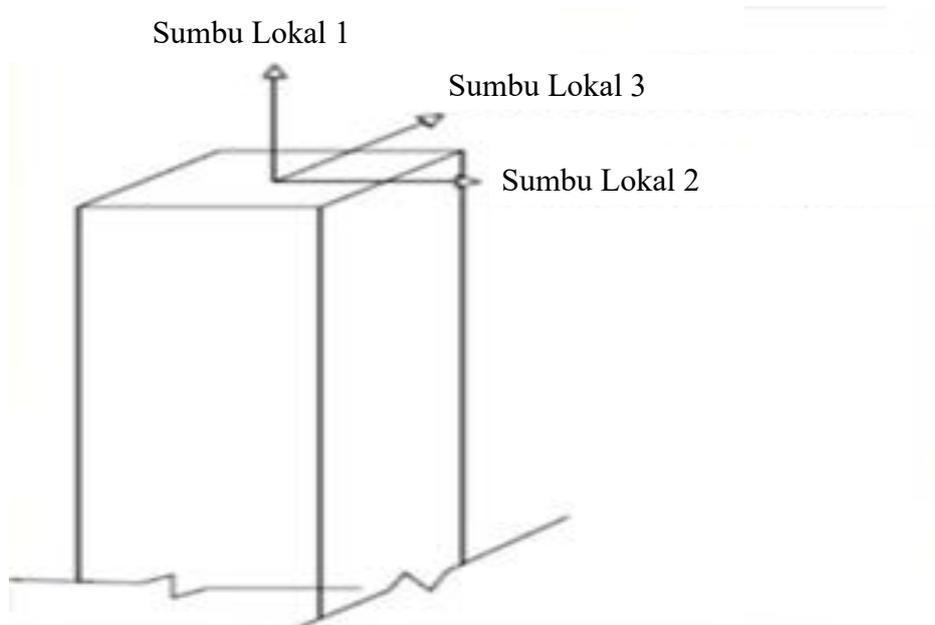


Gambar 2.11 Posisi sumbu lokal balok program SAP 2000

(Sumber: Batara, 2021)

## 2. *Hinge properties kolom*

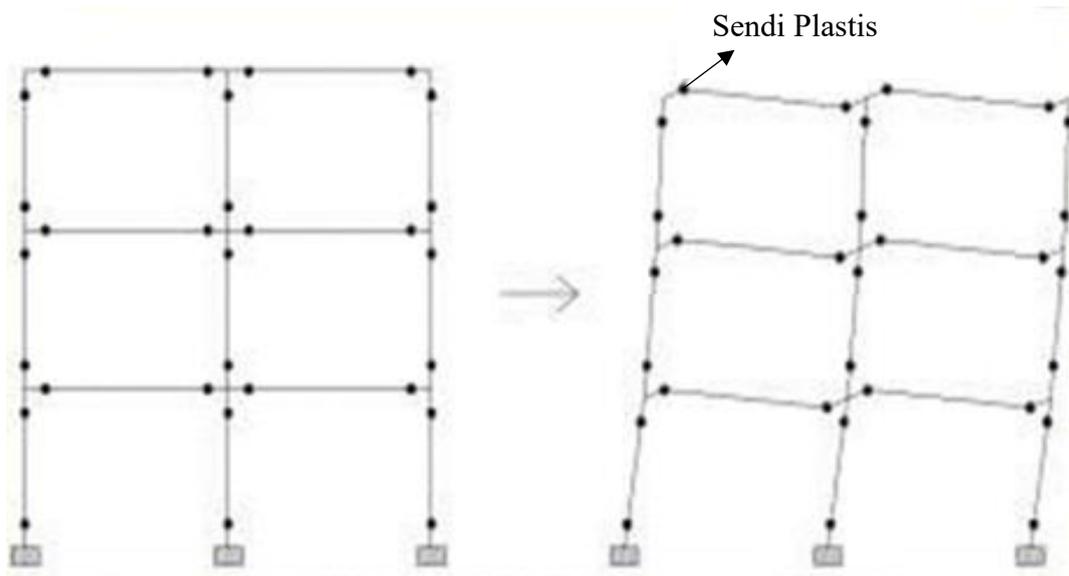
Data sifat-sifat engsel kolom adalah Model P-M2-M3 yang berarti engsel plastis terjadi akibat interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Pada penelitian ini, setiap kolom bangunan yang ditinjau mempunyai momen aksial. . lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom merata pada keempat sisinya. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Posisi Sumbu lokal Kolom pada Program SAP2000  
(Sumber: Batara, 2021)

### 3. Penentuan letak sendi plastis

langkah selanjutnya adalah menentukan letak sambungan plastis yang diinginkan. Posisi 0 mewakili posisi awal panjang badan balok, sedangkan posisi 1 mewakili posisi akhir panjang badan balok. Keduanya terletak di bagian depan kolom. Begitu pula dengan kolom, posisi 0 mewakili posisi awal panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 mewakili posisi akhir panjang bersih kolom. Pemahaman letak sambungan plastis pada balok dan kolom akan memudahkan peneliti dalam merancang struktur tempat sambungan plastis berada. Struktur 2 Dimensi Sambungan plastis yang terjadi pada balok dan kolom Sambungan plastis yang terjadi pada balok dan kolom dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom

(Sumber: Batara, 2021)

## 2.8 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

### 2.8.1 Analisis Respon Spektrum Ragam

Metode analisis ragam spektrum respons mendefinisikan bahwa simpangan struktur yang terjadi merupakan penjumlahan dari simpangan masing-masing ragam getarnya. Menurut Budiono dan Supriatna (2011) parameter respons terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam- ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja (Hari, 2017). Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares*) dan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination*).

Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa

dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90% (SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1). Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode Kombinasi Kuadrat Lengkap (*Complete Quadratic Combination/ CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/ SRSS*).

### 2.8.2 Gaya Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2019, Geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan (2.41).

$$V = C_S W_t \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana:

$C_S$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan

$W_t$  = Berat total gedung

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8.1.1, untuk mendapatkan koefisien  $C_S$  digunakan persamaan-persamaan yang terdapat pada Persamaan (2.42) sampai Persamaan (2.45)

1.  $C_S$  maksimum

$$C_S \text{ maksimum} = SDS/(R/I_e) \dots\dots\dots (2.42)$$

2.  $C_S$  hasil hitungan

$$C_S \text{ Hasil Hitungan} = SD1/T/(R/I_e) \dots\dots\dots (2.43)$$

3.  $C_S$  minimum

$$C_S \text{ minimum} = 0,044S_{DSIe} \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.44)$$

4.  $C_S$  minimum tambahan

Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  jika lebih besar dari 0,6 g maka  $C_s$  harus tidak kurang dari Persamaan (2.42).

$$C_S \text{ minimum tambahan} = 0,5 S_1/(R/I_e) \dots\dots\dots (2.45)$$

Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser  $V_t$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.46)

$$V_t \geq V \dots\dots\dots (2.46)$$

Maka, apabila nilai akhir respons dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, maka harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Persamaan (2.47)

$$\text{Faktor skala} = V/V_T > 1 \dots\dots\dots (2.47)$$

Dimana:

$V_t$  = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan

$V$  = Gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekivalen pada penggunaan program penghitung struktur

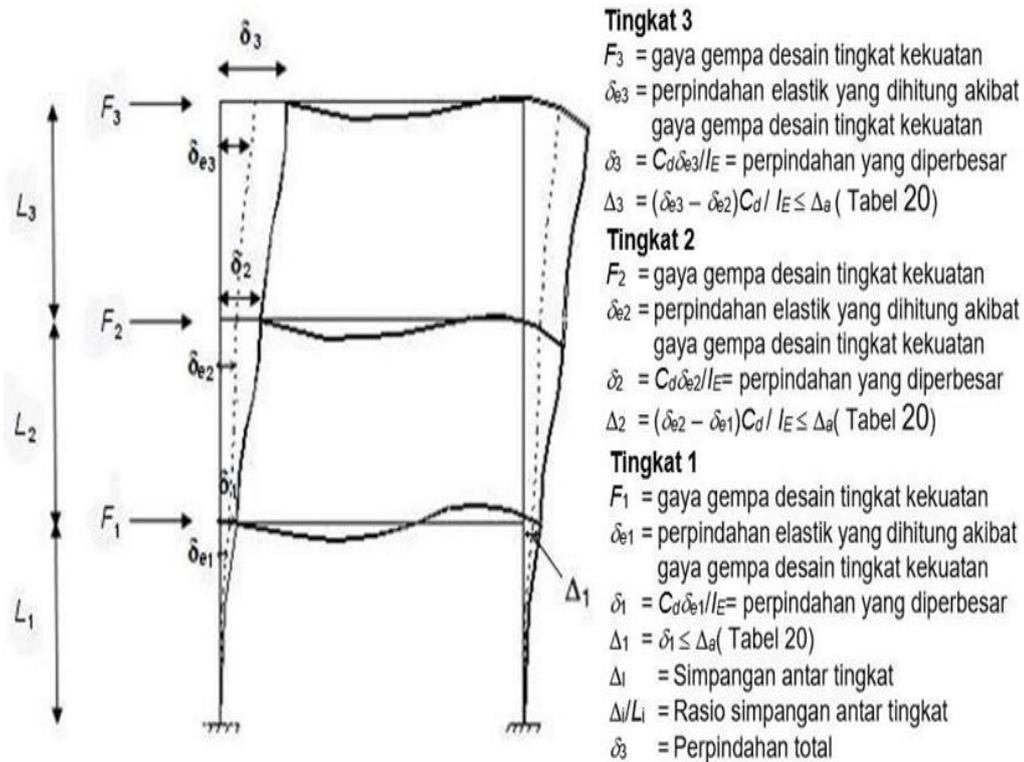
**2.8.3 Periode Alami Struktur**

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan di mana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan struktur.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 5.6, perioda struktur fundamental (T) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh dengan menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda struktur fundamental memiliki nilai batas minimum dan batas maksimum yang dapat dilihat pada SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.

#### **2.8.4 *Story Drift***

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.6. Penentuan *story drift* / simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.14). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya seismik desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



Gambar 2.14 Penentuan simpangan antar tingkat

Sumber: SNI 1726-2019

Bagi struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C, D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal Tipe 1a atau 1b pada Tabel 13 pasal 7.3.3.4, simpangan antar tingkat desain,  $\Delta$ , harus dihitung sebagai selisih terbesar

dari simpangan titik-titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur, di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Simpangan antar lantai, nilainya harus diperbesar dengan menggunakan Persamaan (2.48)

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (2.48)$$

Dimana:

- $C_d$  = Faktor pembesaran simpangan lateral
- $\delta_{xe}$  = Simpangan di tingkat-x yang disyaratkan
- $I_e$  = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 2.14. untuk semua tingkat.

Tabel 2.14 Simpangan antar tingkat izin

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 tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Catatan:  $h_{sx}$  = Tinggi tingkat yang bersangkutan

Sumber: SNI 1726-2019

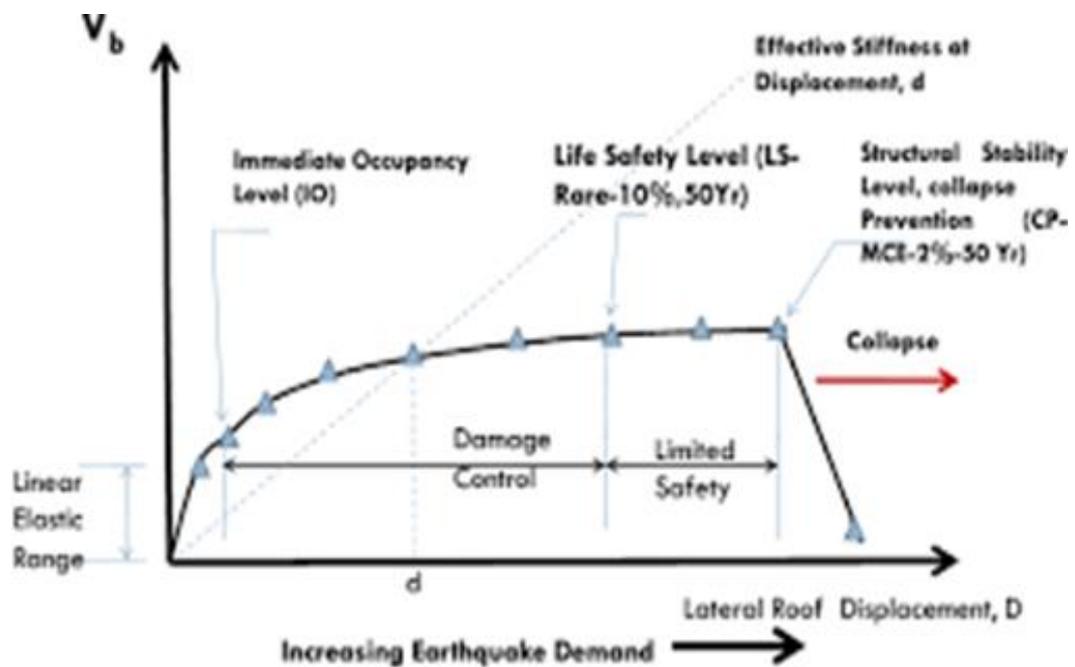
## 2.9 Kinerja Struktur

### 2.9.1 Kinerja Struktur Metode ATC-40

Respon bangunan terhadap gerakan tanah akibat gempa menyebabkan perpindahan lateral dan deformasi pada setiap elemen struktur. Pada level rendah, deformasi elemen akan dalam rentang elastis (*linear*) dan tidak akan ada kerusakan yang timbul. Pada level respon tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas linear elastis dan bangunan akan mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja seismik yang andal, sistem penahan gaya lateral yang lengkap harus dimiliki oleh suatu bangunan, yang mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan

konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter gerakan tanah. (ATC, 1996).

*Applied Technologi Council-40* (1996) memberikan beberapa pertimbangan kondisi kerusakan (damage states) dan kinerja bangunan dibagi menjadi 6 kategori level kinerja struktur, pembagian level kinerja bangunan ditampilkan dalam gambar (2.15) dan tabel (2.15)



Gambar 2.15 Tipikal kurva kapasitas pada berbagai tingkat kinerja struktur  
Sumber: ATC-40, 1996

Tabel 2.15 Level Kinerja Struktur

<i>Building Performance Levels</i>						
<i>Nonstruktural Performance Levels</i>	<i>Structure Performance Levels</i>					
	<i>SP-1 Immediate Occupancy</i>	<i>SP-2 Damage Control</i>	<i>SP-3 Life Safety</i>	<i>SP-4 Limited safety (Range)</i>	<i>SP-5 Structural Stability</i>	<i>SP-6 Not Considered</i>
<i>NP-A Operational</i>	<i>1-A Operational</i>	<i>2-A</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-B Immediate Occupancy</i>	<i>1-B Immediate Occupancy</i>	<i>2-B</i>	<i>3-B</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>
<i>NP-C Life Safety</i>	<i>1-C</i>	<i>2-C</i>	<i>3-C Life Safety</i>	<i>4-C</i>	<i>5-C</i>	<i>6-C</i>
<i>NP-D Hazards Reduced</i>	<i>NR</i>	<i>2-D</i>	<i>3-D</i>	<i>4-D</i>	<i>5-D</i>	<i>6-D</i>
<i>NP-E Not Consider</i>	<i>NR</i>	<i>NR</i>	<i>3-E</i>	<i>4-E</i>	<i>5-E Structural Stability</i>	<i>Not Applicable</i>

Sumber: ATC-40, 1996

Penjelasan lebih lanjut kinerja stuktur menurut ATC-40 sebagai berikut:

1. *Immeddiate Occupancy, SP-1*: Bila terjadi gempa, hanya terjadi sedikit kerusakan, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa, sistem pemikul gaya vertikal dan lateral pada struktur masih mampu memikul gaya gempa yang terjadi.
2. *Damage Control, SP-2*: Tingkat kerusakan struktural yang terjadi berada diantara IO dan LS. Tingkat ini memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membatasi kerusakan struktural yang terjadi pada bangunan dibandingkan LS., dalam ATC-40 tidak disebutkan secara signifikan, dalam kategori ini, permodelan bangunan baru dengan beban rencana dengan beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
3. *Life Safety, SP-3*: Saat gempa terjadi, pada struktur timbul kerusakan yang cukup signifikan tetapi belum mengalami keruntuham, namun struktur mampu

menahan gempa kembali. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan masih dapat digunakan jika dilakukan perbaikan.

4. *Limited Safety, SP-4*: Bangunan yang ada tidak sebaik *Life Safety* dan tidak seburuk *Structural Stability*, ketika *Life Safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan kritis yang dapat dikurangi.
5. *Structural Stability, SP-5*: Kondisi dimana merupakan batas kemampuan dari struktur dimana struktural dan non-struktural sudah mengalami kerusakan yang parah, struktur sudah tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan namun struktur belum mengalami kerutuhan.
6. *Not Considered, SP-6*: Struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

ATC-40 juga memberikan batasan rasio *drift* pada *performance point* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur. Batasan rasio *drift* ditampilkan pada tabel (2.16)

Tabel 2.16 Batasan Rasio Drift Atap

<i>Interstory Drift Limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Maximum Total Drift</i>	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
<i>Maximum Inelastic Drift</i>	0.005	0.005 – 0.015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

Sumber : ATC-40, 1996