

## **BAB 3**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Standar Perencanaan Struktur**

Perencanaan struktur mengikuti standar-standar perencanaan berikut.

1. SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton structural untuk bangunan gedung dan penjelasan;
2. SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
3. SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.

#### **3.2 Komponen Sistem Struktur**

Menurut Nawy (1998) komponen struktur yang saling berkaitan dalam memikul beban-beban merupakan sistem struktur. Komponen-komponen system struktur secara garis besar terdiri atas pelat, balok, kolom, dinding dan fondasi. Penelitian ini menganalisis Komponen struktur seperti balok, kolom, dan plat.

##### **3.2.1 Balok (*Beam*)**

Menurut SNI 2847-2019, balok adalah komponen struktur yang tugas utamanya menahan lentur dan geser dengan atau tanpa gaya aksial atau torsi. Balok dalam rangka momen yang merupakan bagian dari sistem penahan gaya lateral umumnya adalah komponen horizontal.

Penampang balok perlu dilakukan pemeriksaan agar mampu menahan beban lentur memenuhi kriteria berikut.

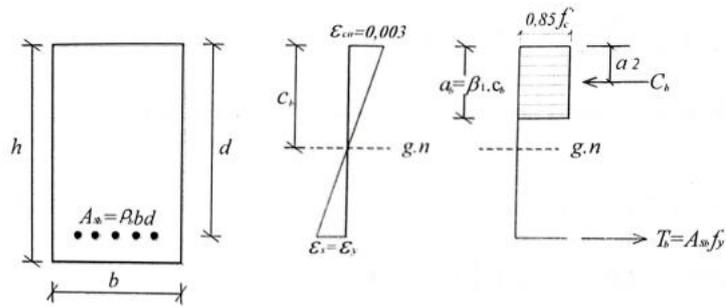
$$\phi Mn \geq Mu \quad (3.1)$$

Dimana:

$\phi$  = factor reduksi keutaman

$Mn$  = keutamaan lentur nominal pada penampang (Nmm)

$Mu$  = momen terfaktor pada penampang (Nmm)



Gambar 3.1 Penampang balok, diagram regangan, dan diagram tegangan

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

### 3.2.1.1 Analisa Balok Tulangan tunggal SNI 2847:2019

Balok tulangan tunggal adalah balok yang hanya menggunakan tulangan Tarik sebagai penguatnya (*tension reinforced only*). Dalam analisa kuat nominal, blok tekan menggunakan konsep yang dikembangkan oleh *whitney*. Tujuannya untuk menentukan momen nominal ( $M_n$ ) dari balok agar kuat memikul momen ultimate ( $M_u$ ) akibat beban luar yang bekerja.

$$Mn = T \left( d - \frac{a}{2} \right) = C \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.2)$$

Gaya tekan ( $C$ ) pada daerah tekan penampang adalah

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \quad (3.3)$$

Dimana nilai  $\beta_1$  sangat dipengaruhi oleh nilai  $f'_c$ :

$$\text{Bila } 17 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Bila } 28 \text{ MPa} < f'_c \leq 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,85 - 0,05 \left( \frac{f'_c - 28}{7} \right)$$

$$\text{Bila } > 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,65$$

Gaya Tarik ( $T$ ) pada tulangan baja :  $A_s$

$$T = A_s \cdot f_y = \rho b d \cdot f_y \quad (3.4)$$

Besaran  $C = T$  sehingga:

$$C = T$$

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c = \rho b d \cdot f_y$$

$$\text{Dimana nilai } a = \beta_1 \cdot c$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = \rho b d \cdot f_y$$

Sehingga nilai tinggi blok tegangan ( $a$ ) :

$$a = \rho \left( \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \right) d \quad (3.5)$$

Bila Persamaan 3.. disubstitusikan kedalam persamaan (3.2), maka rumus momen nominal menjadi:

$$M_n = \rho b d \cdot f_y \left( d - \frac{\rho}{2} \left( \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) d \right) = \rho b d^2 \cdot f_y \left( 1 - \frac{1}{2} \rho m \right) \quad (3.6)$$

Dimana :

$$m = \left( \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right) \quad (3.7)$$

Persamaan (3.6) bila dibagi dengan  $b d^2$  akan menghasilkan parameter *coefficient of resistance* ( $R_n$ ):

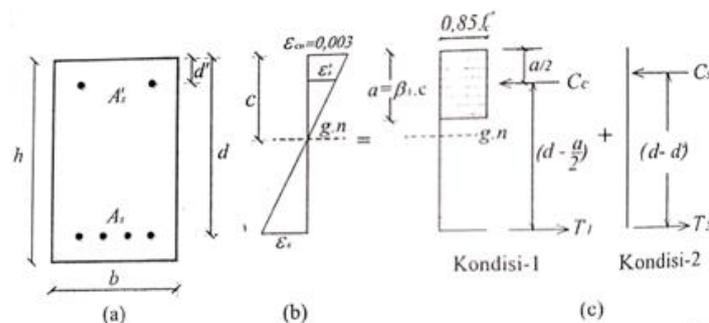
$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \rho f_y \left( 1 - \frac{1}{2} \rho m \right) \quad (3.8)$$

Sehingga persamaan rasio tulangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{1}{m} = \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (3.9)$$

### 3.2.1.2 Analisa Balok Tulangan Rangkap

Balok tulangan rangkap merupakan balok yang memiliki tulangan Tarik ( $A_s$ ) dan tulangan tekan ( $A'_s$ ) pada penampangannya. Pada dasarnya beton memiliki kuat tekan yang sangat tinggi sehingga peran utama dari tulangan tekan pada daerah tekan tidak dimaksudkan untuk menyumbang kekuatan. Penggunaan tulangan tekan pada balok yaitu untuk mengontrol deformasi, mengurangi rangkakan (*creep*) dan susut (*shrinkage*), meningkatkan daktilitas struktur balok, dan bisa merubah kondisi balok tulangan tunggal yang awalnya *compression controlled* menjadi *tension controlled* dengan di beri tulangan tekan. Analisa balok tulangan rangkap memiliki dua kondisi sebagai berikut:



Gambar 3.2 Konsep analisa balok tulangan rangkap (*doubly reinforced*)

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

- Kondisi 1

Pengaruh dari tulangan tekan pada kondisi ini belum diperhitungkan. Analisa hamper sama dengan balok tulangan tunggal namun nilai gaya tarik dari tulangan tarik diubah menjadi  $T_1$ . Penggunaan symbol  $T_1$  dikarenakan gaya tarik dari tulangan tarik dibagi menjadi dua bagian yaitu  $T_1$  (pada kondisi-1) dan  $T_2$  (pada kondisi-2) atau dapat ditulis  $T=T_1+T_2$ . Berikut detail rumus pada kondisi-1.

Gaya tulangan tarik ( $A_{s1}$ )

$$T_1 = A_{s1} \quad (3.10)$$

Gaya tekan beton ( $C_c$ )

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times b \times a \quad (3.11)$$

Dimana  $T_1 = C_c$  sehingga momen nominal pada kondisi-1 dapat ditulis:

$$\begin{aligned} M_{n1} &= T_1 \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ M_{n1} &= A_{s1} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dimana tulangan tarik ( $A_s$ ) dapat ditulis:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

- Kondisi 2

Terlihat pada gambar 3.2 (c) parameter yang terlibat dalam perhitungan adalah parameter gaya tekan ( $C_s$ ) yang disumbang oleh tulangan tekan ( $A's$ ) dan gaya tarik ( $T_1$ ) yang disumbangkan oleh tulangan tarik. Posisi  $C_s$  sejajar  $d'$  dari serat tekan terluar penampang beton sehingga lengan momen antara gaya tekan ( $C_s$ ) dan gaya tarik ( $T_1$ ) dari kondisi-2 sebesar  $(d - d')$ . berikut detail rumus pada kondisi-2.

Gaya tulangan tarik ( $A_{s2}$ )

$$T_2 = A_{s2} \times f_y \quad (3.13)$$

Gaya tekan dari tulangan tekan ( $C_s$ )

$$C_s = A's \times f_s' \quad (3.14)$$

Dimana  $T_2 = C_s$ , dan  $f_s'$  adalah tegangan leleh pada tulangan tekan ( $A's$ ). Sehingga momen nominal pada kondisi-2 dapat ditulis:

$$\begin{aligned} M_{n2} &= T_2 \times (d - d') \\ M_{n2} &= A_{s2} \times f_s' \times (d - d') \end{aligned} \quad (3.15)$$

Dimana tulangan tekan ( $A's$ ) dapat ditulis:

$$A'_s = A_{s2} \quad (3.16)$$

Besaran moemn nominal ( $M_n$ ) untuk balok tulangan rangkap digunakan rumus:

$$M_{n2} = M_{n1} + M_{n2}$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (3.17)$$

Nilai  $C_c$  dapat diwujudkan berupa:

$$T = C_c + C_s$$

$$C_c = C_s - T = (A'_s \times f'_s) - (A_s \times f_y) \quad (3.18)$$

Sehingga momen nominal menjadi:

$$M_n = [(A'_s \times f'_s) - (A_s \times f_y)] \left( d - \frac{a}{2} \right) + (A'_s \times f'_s)(d - d') \quad (3.19)$$

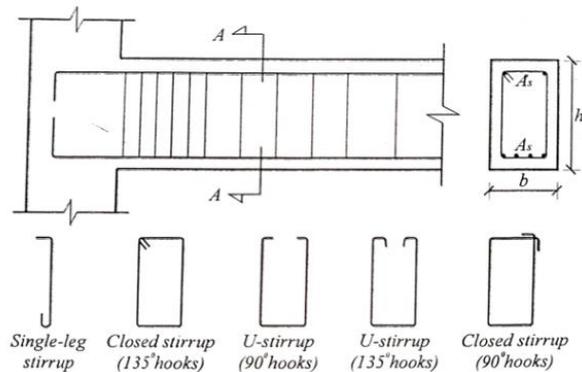
Dengan syarat :

$$\phi \cdot M_n \geq M_u \quad (3.20)$$

### 3.2.1.3 Analisa Balok Tulangan Geser

Tipe tulangan geser yang umum digunakan pada beton nonprategang yaitu sesuai dengan ACI (22.5.10.5.1) dan SNI 2847:2019, meliputi:

- Tulangan geser vertikal (Gambar 3.3)
- Tulangan geser *welded wire fabric*.
- Tulangan geser spiral (umum digunakan untuk kolom)



Gambar 3.3 Tulangan geser vertikal

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

Berdasarkan Gambar 3.3 jenis tulangan geser yang paling umum digunakan pada elemen balok adalah tipe *closed-stirrup 135° hooks*. Berdasarkan SNI 2847:2019; pasal 22.5.1.1; hal-482, perhitungan kuat geser nominal ( $V_n$ ) merupakan penjumlahan dari kuat geser yang disumbang oleh beton ( $V_c$ ) dan kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser ( $V_s$ ). adapun persamaannya sebagai berikut:

$$V_n = V_c - V_s \quad (3.21)$$

Persyaratan gaya geser nominal pada metode desain geser berdasarkan SNI 2847:2019 adalah:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (3.22)$$

Nilai faktor reduksi untuk geser adalah  $\phi = 0,75$ , sesuai SNI 2847:2019; Pasal 21.2.1; Tabel 21.2.1; Hal-469 dan  $V_u$  merupakan gaya geser *ultimate* yang diperoleh dari analisa struktur. Dimensi penampang perlu dipastikan mampu memikul beban geser dengan memenuhi persyaratan SNI 2847:2019; Pasal 22.5.1.2; Hal-482, yaitu:

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,66 \cdot \sqrt{f'_c b_w d}) \quad (3.23)$$

Penampang perlu diperbesar jika tidak memenuhi syarat.

Untuk menentukan nilai  $V_s$  persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d (\sin \alpha + \cos \alpha)}{s} \quad (3.24)$$

Dan

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (3.25)$$

Persamaan 3.23 dan 3.24 dapat digunakan, namun disarankan tidak boleh diambil lebih besar dari SNI 2847:2019; Pasal 22.5.1.2; Hal-482.

$$V_{s \max} = 0,66 \sqrt{f'_c b_w d} \quad (3.26)$$

Sedangkan untuk menentukan nilai  $V_c$  untuk balok dalam betuk sederhana dapat melihat SNI 2847:2019; Pasal 22.5.5.1; Hal-485:

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c b_w d} \quad (3.27)$$

Nilai  $M_u$  dan  $V_u$  terjadi secara serentak pada penampang dan  $\frac{V_u d}{M_u} < 1,0$

Dimana:

- $\lambda$  = Faktor modifikasi; beton normal = 1,0
- $\rho_w$  = Rasio tulangan tarik ( $A_s/b_w d$ ).
- $V_u$  = Gaya geser *ultimate* hasil analisa struktur (ETABS) ( $N$ )
- $M_u$  = Momen *ultimate* hasil analisa struktur (ETABS) ( $Nmm$ )
- $b_w$  = Lebar penampang balok ( $mm$ )
- $d$  = tinggi efektif balok, ( $mm$ )

Luasan tulangan geser ( $A_v$ ) yang digunakan diharapkan tidak terlalu kecil dan terlalu besar. Pembatas ini dimaksudkan untuk memastikan tulangan geser mengalami leleh saat terjadi retak sehingga struktur berperilaku duktail dan tidak runtuh secara tiba-tiba. Oleh karena itu SNI 2847:2019; Pasal 9.6.3.3; Tabel 9.6.3.3; Hal-192 mengatur luasan minimum untuk tulangan geser. Nilai  $A_v$  diambil yang terbesar dari dua persamaan berikut:

$$A_{v,min} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (3.28)$$

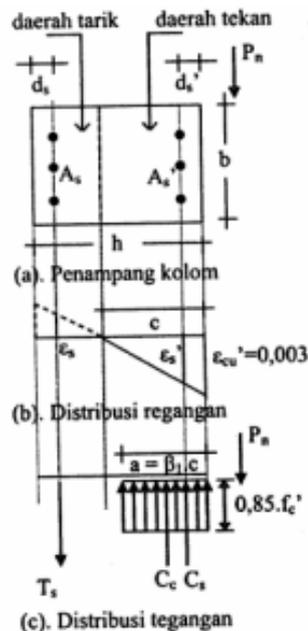
atau

$$A_{v,min} = \frac{(0,35b_w s)}{f_{yt}} \quad (3.29)$$

### 3.2.2 Kolom (*Column*)

SNI 2847-2019 menjelaskan bahwa kolom adalah komponen struktur umumnya vertical, digunakan untuk memikul beban tekan aksial, tapi dapat juga memikul momen, geser atau torsi. Kolom yang digunakan sebagai bagian system rangka pemikul gaya lateral menahan kombinasi beban aksial, momen dan geser.

Penampang kolom perlu dilakukan pemeriksaan agar mampu menahan beban aksial memenuhi kriteria berikut.



Gambar 3.4 Penampang kolom, diagram regangan, dan diagram tegangan

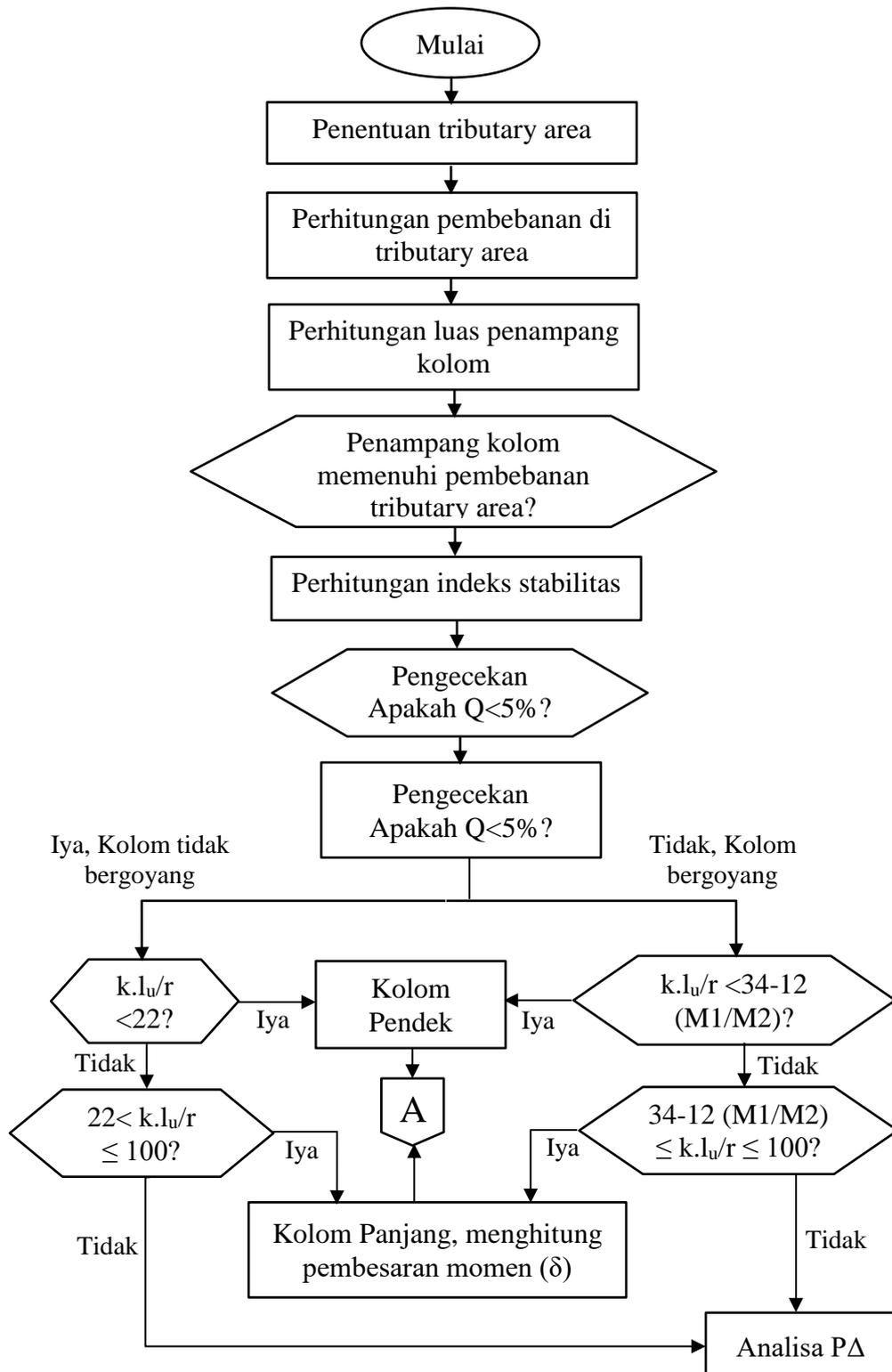
(Sumber: Ali Asroni, 2010)

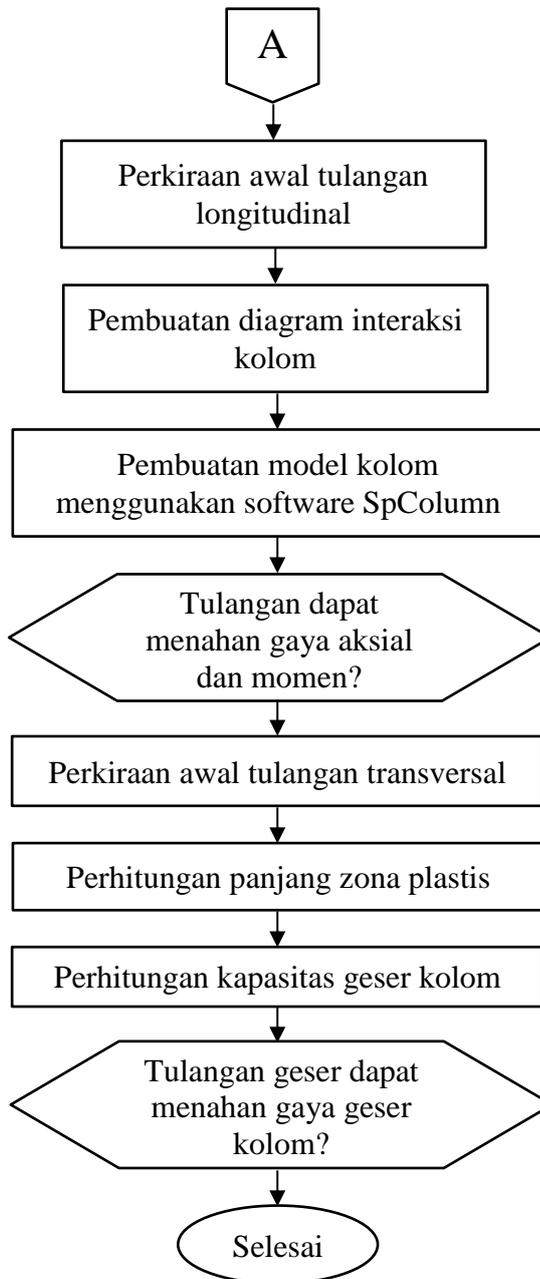
Pemeriksaan penampang kolom agar mampu menahan beban aksial, maka harus didesain dengan mengikuti kriteria berikut.

$$\phi P_n \geq P_u \quad (3.30)$$

### 3.2.2.1 Flowchart Pendesainan Kolom

Berikut adalah *flowchart* perhitungan kolom sesuai SNI 2847:2019.





Gambar 3.5 *Flowchart* pendesainan kolom

(Sumber: SNI 2847:2019, 2024)

### 3.2.2.2 Indeks Stabilitas (*Stability Index*)

Kolom dikatakan tidak bergoyang apabila momen yang ditimbulkan oleh perkalian antara akumulasi gaya aksial kolom dari tingkat atanya dan lendutan horizontal relatif pada tingkat itu tidak melebihi 5% dari momen yang ditimbulkan oleh

perkalian antara gaya geser total kolom dan tinggi kolom pada tingkat itu (Asroni 2010). Perhitungan indeks stabilitas kolom adalah sebagai berikut.

$$Q = \frac{P_u \Delta_o}{V_u \cdot L_c} \quad (3.31)$$

Dengan keterangan:

- $P_u$  = gaya aksial  
 $V_u$  = gaya geser terfaktor  
 $\Delta_o$  = lendutan horizontal  
 $L_c$  = tinggi kolom

Setelah mendapatkan karakteristik kolom, maka perlu dihitung kelangsingan kolom (*slenderness ratio*). Kelangsingan kolom dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{k \cdot l_u}{r} \quad (3.32)$$

Dengan keterangan

- $k$  = faktor panjang efektif  
 $l_u$  = panjang bersih kolom  
 $r$  = radius girasi kolom

radius girasi didapatkan dari persamaan berikut.

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \quad (3.33)$$

Dengan keterangan

- $I_g$  = momen inersia  
 $A_g$  = luas penampang

Dalam perhitungan kelangsingan kolom terdapat pula faktor panjang efektif ( $k$ ) yang dihitung berdasarkan indeks stabilitas kolom. Perhitungan faktor panjang efektif kolom adalah sebagai berikut.

a. Kolom bergoyang

Untuk perhitungan pembesaran momen didapati beberapa variable yang dihitung khusus sebagai berikut.

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2} \quad (3.34)$$

$$EI = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2} \quad (3.35)$$

$$\beta_d = \frac{1,2 DL}{1,2DL + 1,6DL} \quad (3.36)$$

Dengan keterangan

$E_c$  = modulus elastisitas beton

$I_g$  = momen inersia

$K$  = faktor panjang efektif

$l_u$  = panjang bersih

$DL$  = beban mati

Setelah mendapatkan nilai – nilai tersebut maka perhitungan pembesaran momen dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \quad (3.37)$$

Dengan keterangan

$P_u$  = gaya aksial kolom

b. Kolom tidak bergoyang

Perhitungan pembesaran momen tidak bergoyang memerlukan varabel  $C_m$  yang dihitung sebagai berikut.

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (3.38)$$

Dengan diketahuinya nilai  $C_m$  maka pembesaran momen dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut.

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \quad (3.39)$$

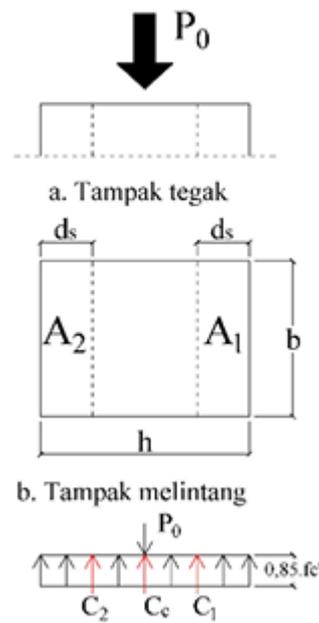
### 3.2.2.3 Diagram interaksi

Pembuatan diagram interaksi kolom dimulai dengan menentukan gaya normal ( $P$ , kN) yang berada di sumbu vertikal, dan momen lentur ( $M$ , MPa) yang berada di sumbu horizontal. Titik-titik penting yang harus ada di dalam diagram interaksi kolom adalah sebagai berikut (Soelarso dan Darwis, 2015).

a. Tinjauan pada kondisi beban sentris

Pada penampang kolom dengan kondisi beban sentris, berarti beton, dan tulangan tepat bekerja pada sumbu longitudinal kolom sehingga sama – sama menahan beban tekan. Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa semua baja tulangan sudah mencapai leleh, dan regangan sudah sampai ke batas maksimal (Asroni, 2010). Dalam kondisi ini, kolom dapat dianalisis menggunakan rumus berikut.

$$P_0 = 0,85 \times f_c \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y \quad (3.40)$$

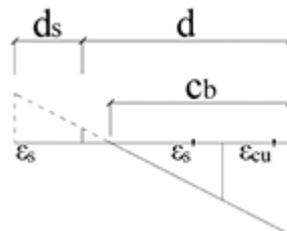


Gambar 3.6 Tinjauan Pada Kondisi Beban Sentris

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

b. Tinjauan pada kondisi seimbang ( $c = c_b$ )

Pada penampang kolom dengan kondisi seimbang maka tulangan tarik mencapai leleh bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak, atau batas ultimit.



Gambar 3.7 Distribusi Regangan Pada Kondisi Seimbang

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

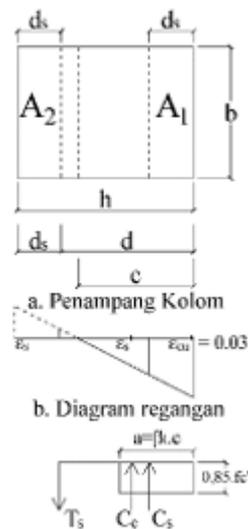
- c. Tinjauan tekan menentukan ( $c > c_b$ )

Jika beban pada kondisi beban sentris digeser ke kanan, maka pada penampang kolom sebelah kiri mulai menahan beban tarik yang relatif kecil sehingga baja tulangan tarik belum leleh, sedangkan penampang sebelah kanan tetap menahan beban tekan yang cukup besar sehingga menimbulkan retak beton tekan. Pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan, regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit, tulangan tekan telah leleh, sedangkan tulangan tarik masih belum (Asroni, 2010). Untuk menganalisis kondisi tekan menentukan digunakan rumus berikut.

Tabel 3.1 Perhitungan P-M Kolom

Gaya (kN)	Lengan ke Sumbu (m)	Momen (kNm)
$-T_s = -A_s f_s$	$-Z = -(h/2 - ds)$	$T_s Z_s$
$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$	$Z_c = (h/2 - a/2)$	$C_c Z_c$
$C_s = A_s' f_s'$	$Z_s' = (h/2 - ds')$	$C_s Z_s'$
Jumlah: $P_n$		$M_n =$

(Sumber: Asroni, 2010)



Gambar 3.8 Diagram Tegangan Tekan Menentukan

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

- d. Tinjauan tarik menentukan ( $c < c_b$ )

Jika beban aksial telah berada kondisi penampang seimbang, kemudian digeser lagi ke kanan, maka luas penampang beton tekan semakin kecil, sehingga regangan tekan beton juga semakin kecil, dan nilai  $c$  ikut mengecil. Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah semakin besar

sehingga regangan tulangan tarik melebihi batas leleh. Dengan demikian, kekuatan penampang kolom pada kondisi ini ditentukan oleh kuat leleh tulangan tarik (Asroni, 2010).

e. Tinjauan pada kondisi beban  $P_n = 0$

Penampang kolom dengan beban aksial sebesar 0 adalah kolom hanya menahan momen lentur saja (Asroni, 2010). Momen nominal, dan momen rencana dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

1. Menghitung nilai  $a$

$$a = \frac{(A_s - A'_s)f_y}{0,85.f'_c.b} \quad (3.41)$$

$$a_{min, leleh} = \frac{600.\beta_1.d'_s}{600 - f_y} \quad (3.42)$$

$$a_{min, leleh} = \frac{600.\beta_1.d_d}{600 - f_y} \quad (3.43)$$

2. Kontrol kondisi tulangan tekan

Jika  $a > a_{min, leleh}$  maka tulangan sudah leleh, sebaliknya jika belum leleh maka dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

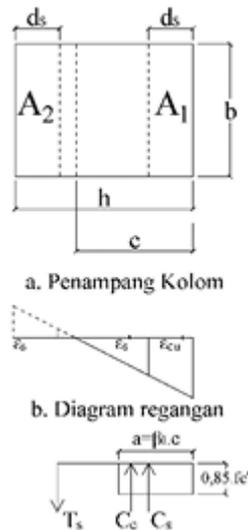
$$p = \frac{600.A'_s - A_s.f_y}{1,7.f'_c.b} \quad (3.44)$$

$$q = \frac{600.A'_s - \beta_1 A_s.f_y}{1,7.f'_c.b} \quad (3.45)$$

$$a = (\sqrt{p^2 - q}) - p \quad (3.46)$$

$$q = \frac{a - \beta_1.d'_s}{a} \times 600 \quad (3.47)$$

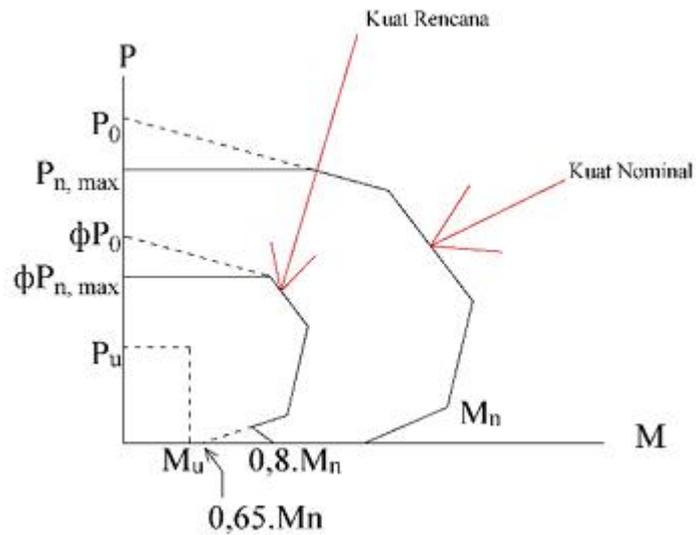
mengontrol kondisi tulangan tarik dengan syarat  $a < a_{maks, leleh}$ .



Gambar 3.9 Kolom dengan Beban  $P_n = 0$

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

Setelah semua titik sudah didapatkan nilainya, gambar diagram interaksi kolom akan berbentuk seperti Gambar 3.9.



Gambar 3.10 Diagram Interaksi Kolom

(Sumber: Ali Asroni, 2010)

### 3.2.3 Pelat (*Slab*)

Pelat atau slab adalah elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu system struktur. Elemen-elemen tersebut dapat dibuat sehingga bekerja dalam satu arah (slab satu arah) atau bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus (slab dua arah). Menurut SNI 2847:2019 pelat lantai pada gedung memiliki beberapa persyaratan yaitu mempunyai minimal tiga bentang menerus dalam arah X dan Y, panel berbentuk persegi dengan rasio dimensi terpanjang terhadap dimensi terpendek tidak melebihi 2, dan semua beban yang diperhitungkan hanya akibat beban gravitasi dan beban terdistribusi merata. Pelat diharuskan mampu memikul momen terfaktor dengan melakukan pendekatan faktor tahanan ( $R_n$ ) yang bisa digunakan untuk menghitung tinggi efektif dari penampang lantai. Adapun hubungan persamaan  $R_n$  dan  $M_n$  sebagai berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = R_n b d^2 \quad (3.48)$$

Dimana:

$M_n$  = Momen nominal pelat ( $N.mm$ )

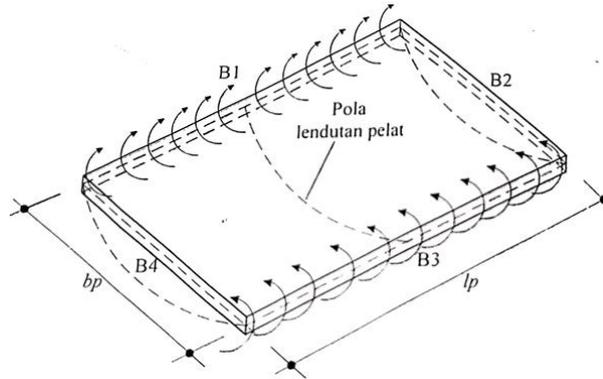
$M_u$  = Momen terfaktor pelat ( $N.mm$ )

$b$  = lebar pelat ( $b = 1.000 \text{ mm}$ )

$d$  = Tinggi efektif pelat ( $mm$ )

#### 3.2.3.1 Pelat satu arah SNI 2847:2019

Pada dasarnya pelat satu arah (*one way*) adalah lendutan yang terjadi saat memikul beban gravitasi (beban mati dan beban hidup), terjadi pada satu arah yaitu pada arah memendek ( $b_p$ ). Hal ini mengandung arti bahwa semua beban yang dipikul oleh pelat akan disalurkan pada balok memanjang ( $B_1$  dan  $B_2$ ) dengan begitu pelat dianalogikan sebagai pelat menerus dan perilakunya diasumsikan sama seperti struktur balok.



Gambar 3.11 Ilustrasi lendutan yang terjadi pada pelat satu arah (*one way*)

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

SNI 2847:2019 mengizinkan untuk melakukan analisa momen terfaktor ( $M_u$ ) dan geser terfaktor ( $V_u$ ) pada pelat dengan menggunakan pendekatan koefisien momen dan geser sesuai SNI 2847:2019; Pasal 6.5; Hal-99. Perhitungan  $M_u$  dan  $V_u$  akibat beban gravitasi struktur pelat satu arah (*one way*) harus perlu memenuhi persyaratan berikut:

- Komponen struktur adalah prismatis.
- Beban terdistribusi secara merata.
- Beban hidup ( $L$ ) tak terfaktorkan tidak melebihi tiga kali beban mati ( $D$ ).
- Terdapat dua bentang atau lebih.
- Panjang bentang terbesar terhadap panjang bentang terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 20%.

Momen terfaktor pada pelat satu arah dapat ditentukan dengan memahami pola momen yang terjadi. Berdasarkan Gambar 3.5 pada bagian tumpuan akan tercipta momen negative yang mengandung arti bahwa sisi atas pada bagian pelat akan mengalami tarik. Dan pada bagian lapangan akan tercipta momen positif yang mengandung arti bahwa sisi bawah pelat akan mengalami tarik. Nilai momen terfaktor dapat dirumuskan sebagai berikut.

Momen negatif pada muka eksterior dari pendukung interior pertama (Sumbu-A):

$$M_u = \frac{W_u l_n^2}{10} \quad (3.49)$$

Momen positif pada bentang ujung tak menerus dan monolit (Tengah pelat-1):

$$M_u = \frac{W_u l_n^2}{14} \quad (3.50)$$

Momen negatif muka interior dari pendukung eksterior (Sumbu-B):

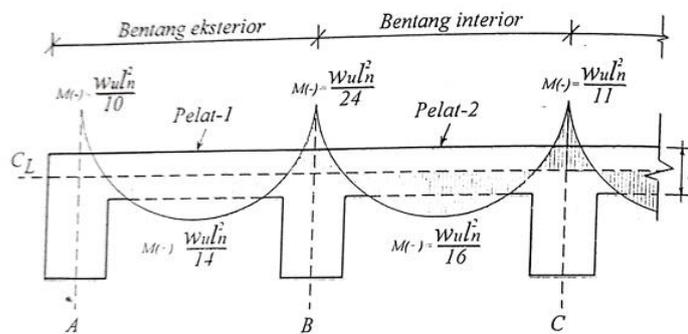
$$M_u = \frac{W_u l_n^2}{24} \quad (3.51)$$

Momen positif pada bentang tengah untuk semua kondisi (Tengah pelat-2):

$$M_u = \frac{W_u l_n^2}{16} \quad (3.52)$$

Momen negatif muka dari penampang lainnya (Sumbu-C):

$$M_u = \frac{W_u l_n^2}{11} \quad (3.53)$$



Gambar 3.12 Pola momen pelat satu arah (*one way*) memikul beban gravitasi

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

Nilai gaya geser pada muka eksterior dari pendukung muka interior pertama (Sumbu-A):

$$V_u = \frac{1,15W_u l_n}{2} \quad (3.54)$$

Nilai gaya geser pada muka pendukung lainnya (Selain Sumbu-A):

$$V_u = \frac{W_u l_n}{2} \quad (3.55)$$

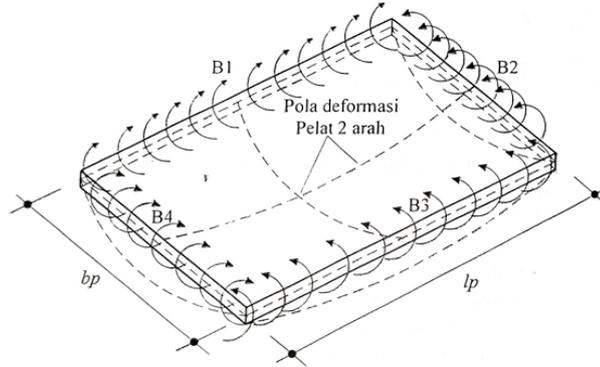
Dimana:

$w_u$  = Beban terfaktor per satuan panjang pelat satu arah ( $N/mm$ )

$l_n$  = Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan ( $mm$ )

### 3.2.3.2 Pelat dua arah

Struktur pelat dikategorikan sebagai pelat dua arah, jika perbandingan bentang ( $l_p$ ) terhadap bentang terpendek ( $b_p$ ) lebih kecil sama dengan 2 ( $l_p/b_p \leq 2$ ).



Gambar 3.13 Pola momen pelat satu arah (*one way*) memikul beban gravitasi

(Sumber: Yudha Lesmana, 2020)

Pelat jenis ini mayoritas akan dipikul oleh balok bentang terpanjang dan sisanya akan ditranfer pada balok bentang terpendek seperti pada Gambar 3.7. perhitungan moemn pada pelat memiliki beberapa metode. Perhitungan pelat dengan koefisien momen (PBI 1971) dapat juga digunakan. Nilai koefisien momen dapat dicari menggunakan metode PBI 1971. Penentuan kategori pelat dengan membandingkan kedua bentang pelat  $L_y/L_x$ .

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot (l_x)^2 \cdot \text{coefs } M_{tx}$$

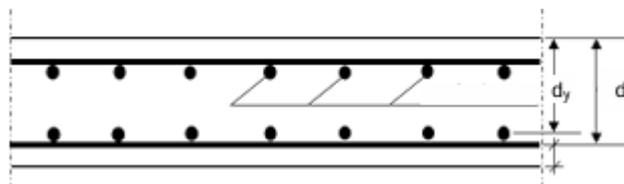
$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot (l_x)^2 \cdot \text{coefs } M_{lx}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot (l_x)^2 \cdot \text{coefs } M_{ly}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot (l_x)^2 \cdot \text{coefs } M_{ty}$$

Selanjutnya perhitungan tulangan pelat dapat dilakukan dengan mengikuti SNI 2847:2019.

Perhitungan tinggi efektif pelat ( $d$ )



Gambar 3.14 Skema tulangan pelat

(Sumber: Analisa penulis, 2024)

Perhitungan tinggi efektif arah x ( $d_x$ )

$$dx = h - ds - \frac{1}{2} \times \emptyset.tul \quad (3.56)$$

Perhitungan tinggi efektif arah y (dy)

$$dx = h - ds - \emptyset.tul - \frac{1}{2} \times \emptyset.tul \quad (3.57)$$

Nilai ( $\beta_1$ ) ditentukan berdasarkan (SNI 2847:2019; Pasal 22.2.2.4.3, Hal-478)

Perhitungan rasio tulangan dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$Rn = \frac{Mn}{b.d_a^2} = \frac{Mn}{\phi.b.d_x^2}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \quad (3.58)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}, \text{ dan } \rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

Nilai  $\rho$  dapat digunakan dengan syarat:

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

Perhitungan penulangan pokok:

Tulangan perlu ( $A_s$ ) =  $\rho \cdot b \cdot d_x$

As pilih > As perlu

Jarak antar tulangan pokok (s) ditentukan dengan memilih nilai terkecil dari kedua persamaan berikut:

$$s = \frac{b \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi_{tul}^2\right)}{A_s}$$

$$S_{\max} = 2h \quad (3.59)$$

Perhitungan tulangan bagi diambil nilai terbesar dari kedua persamaan berikut:

$$Asb,1 = 20\% \cdot A_s$$

$$Asb,2 = 0,002 \times b \times h \quad (3.60)$$

Jarak tulangan bagi (s) ditentukan dengan memilih nilai terkecil dari kedua persamaan berikut::

$$s = (b \cdot \frac{1}{4} \pi D^2) / A_s \quad (3.61)$$

$$s \leq 5.h$$

Kapasitas tulangan perlu dikontrol agar dapat memastikan tulangan sudah leleh dengan menggunakan syarat  $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ , dan  $M_r > M_u$  dengan  $M_r$  dikali faktor direduksi 0,85.

### **3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus**

SNI 1726-2019 menjelaskan bahwa system rangka pemikul momen adalah system struktur rangka yang elemen-elemen struktur dan sambungannya menahan beban-beban lateral melalui mekanisme lentur. Sistem ini terbagi menjadi 3, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sistem rangka struktur yang di gunakan pada pada bangunan ini adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Special Moment Frame (SMF) ini adalah system struktur dengan komponen struktur yang mampu memikul gaya akibat beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur. Sistem ini digunakan pada Kategori Desain Seismik D, E atau F dengan factor reduksi gempa untuk rangka beton bertulang adalah 8. Penelitian ini memiliki Kategori Risiko III dan Kategori Desain Seismik D, karena parameter respons spektral percepatan pada lokasi bangunan untuk periode 1 detik ( $S_1$ ) lebih besar dari 0,75.

### **3.4 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan Struktur**

#### **3.4.1 Pembebanan**

##### **1. Beban Hidup**

SNI 1726-2020 menjelaskan bahwa beban hidup adalah beban yang di akibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

##### **2. Beban Mati**

SNI 1726-2020 menjelaskan bahwa beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan system pengangkut material

##### **3. Beban Gempa**

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi. Peraturan perencanaan beban gempa SNI 1726-2019 memiliki factor-faktor yang

disesuaikan dalam perencanaan suatu struktur yang terdiri dari wilayah gempa, parameter percepatan gempa, faktor keutamaan gempa, kategori risiko, faktor reduksi gempa, dan waktu getar alami.

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal static ekuivalen. Beban gempa didapatkan dari hasil perhitungan gaya geser seismic static yang diperoleh menggunakan rumus:

$$V = C_s . W = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} . W \quad (3.62)$$

Dimana:

$V$  = gaya geser dasar nominal

$C_s$  = koefisien respon seismic

$W$  = berat seismik efektif

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektral desain dalam rentang periode pendek

$R$  = koefisien modifikasi respons dalam SNI 1726-2019 Tabel 12

$I_e$  = faktor keutamaan gempa dalam SNI 1726-2019 Tabel 4

Analisis pada penelitian ini menggunakan Metode Statik Ekuivalen dan Metode Dinamik Respon Spektrum untuk memperhitungkan efek beban gempa terhadap struktur bangunan.

SNI 1726-2019 Pasal 7.8; Hal-69 menjelaskan bahwa Metode statik ekuivalen adalah merupakan metode pendekatan untuk mempresentasikan pengaruh beban dinamik gempa menjadi beban statik yang berupa gaya terpusat yang terdistribusikan pada tiap tingkat struktur bangunan sesuai besaran massa pada tingkat yang ditinjau. Sedangkan Metode dinamik respon spectrum pada SNI 1726-2019; Pasal 7.9; Hal-77 menjelaskan metode ini merupakan metode gempa yang diperoleh dari rekaman Riwayat percepatan dari model *Single Degree of Freedom* (SDOF) yang dibebani beban gempa yang berupa ground motion. Rekaman Riwayat yang diambil merupakan plot dari nilai maksimum (percepatan, kecepatan dan perpindahan) dari periode yang berbeda-beda sehingga membentuk sebuah kurva yang dikenal sebagai *Response Spectrum* (RS). (Yudha Lesmana, 2020)

### 3.4.2 Kombinasi Pembebanan

SNI 1726-2019; Pasal 4.2.2.1 dan pasal 4.2.2.3 menjelaskan bahwa struktur, komponen elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1,0 W + L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5.  $0,9D + 1,0W$
6.  $1,2D + Ev + Eh + L$
7.  $0,9D - Ev + Eh$

Keterangan:

- $D$  = Beban mati  
 $L$  = Beban hidup  
 $L_r$  = Beban hidup atap  
 $R$  = Beban air hujan  
 $W$  = Beban angin  
 $E$  = Beban gempa

### 3.5 Diaphragm Wall

*Diaphragm wall* merupakan salah satu jenis dinding penahan yang biasa digunakan untuk perencanaan dinding basement pada struktur bangunan yang memiliki lantai dibawah tanah. Pengerjaannya dilakukan sebelum melakukan pengerjaan galian tanah dengan cara melakukan pengeboran, pemasangan tulangan, kemudian diakhiri dengan pekerjaan pengecoran. Mendesain *Diaphragm Wall* terdiri dari perencanaan ketebalan dinding dan penulangannya. Ketebalan dinding biasanya ditentukan melalui analisa tegangan, analisa deformasi dinding, dan studi kelayakan detailing penulangan dinding. Deformasi ijin *Diaphragm Wall* dapat diasumsikan sebesar 5%  $H_e$  (kedalaman galian) di preliminary desain. (SNI 8460:2017).

### 3.5.1 Korelasi Nilai Tahanan konus ( $q_c$ )

Menurut Kurniawan (2017) Korelasi nilai  $q_c$  dilakukan jika data tanah yang didapatkan tidak mencukupi. Pendekatan-pendekatan untuk mendapatkan parameter tanah yang dibutuhkan harus dilakukan. Salah satu cara pendekatan untuk mendapatkan parameter tanah adalah dengan cara mengkorelasikan data tanah yang ada dengan tabel korelasi yang diperoleh dari perencanaan sebelumnya atau hasil penelitian para ahli. Parameter-parameter plaxis ditentukan dengan korelasi terhadap nilai tahanan konus ( $q_c$ ) sebagai berikut.

- Penentuan parameter  $E_{ref}$ .

Trofimenkov (1974) korelasi untuk nilai modulus elastisitas pada pasir dan lempung ditentukan sebagai berikut.

$$E_s = 3q_c \text{ (Pasir)}$$

$$E_s = 7q_c \text{ (Lempung)}$$

- Penentuan parameter sudut geser dalam  $\phi$  ( $^\circ$ )

Parameter ini ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 5.75 korelasi parameter sudut geser dalam  $\phi$  ( $^\circ$ )

Jenis Tanah	$\phi$ ( $^\circ$ )
Lempung sangat lunak	19 $^\circ$ – 24 $^\circ$
Lempung lunak	19 $^\circ$ – 29 $^\circ$
Lanau pasir sedang	27 $^\circ$ – 31 $^\circ$
Pasir - pasir sangat padat	35 $^\circ$ – 42 $^\circ$

(Sumber: Lunne dkk,1997)

- Penentuan parameter  $C_{ref}$  ( $kN/m^2$ )

Parameter ini ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 5.76 Hubungan antara konsistensi dengan tekanan konus

Konsistensi	Tekanan Konus	Undrained Cohesion
	$q_c$ ( $kg/cm^2$ )	( $T/m^2$ )
Sangat Lunak	< 2,5	<1,25
Lunak	2,5-5,0	1,25 - 2,50
Kaku sedang	5,0 - 10,0	2,50 - 5,0
Kaku	10,00 - 20,00	5,0 - 10,0
Sangat Kaku	20 - 40	10,0 - 20,0
Keras	> 40	>20

(Sumber: Begeman,1965)

- Penentuan Parameter  $\gamma_{\text{unsat}}$  dan  $\gamma_{\text{sat}}$

Parameter ini ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 5.77 Parameter  $\gamma_{\text{unsat}}$  dan  $\gamma_{\text{sat}}$

Jenis Tanah	$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Lempung	8	14
Lanau	16	18
Pair padat	19	21

(Sumber: Look, 2007)

- Penentuan parameter Posion Rasio ( $\nu$ )

Parameter ini ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 5.78 nilai representatif parameter poison rasio

Jenis Tanah	Poisson ratio
Pasir lepas (Gembur)	0,2-0,4
Pasir sedang	0,25-0,4
Pasir padat	0,3-0,45
Pasir Lanau	0,2-0,4
Tanah Lempung	0,15-0,25
Lempung Sedang	0,2-0,5

(Sumber : Das, 2010)

- Penentuan parameter sudut dilatasi ( $\psi$ )

Menurut Das (2010), Sudut dilatasi pada umumnya ditetapkan sama dengan nol untuk analisa tak terdrainase dan ( $\phi' - 30^\circ$ ) untuk analisa terdrainase.

- Penentuan parameter  $R_{\text{inter}}$

Tanah lempung  $R_{\text{inter}} = 0,5$

Tanah Lanau  $R_{\text{inter}} = \text{dimodelkan rigit}$

Tanah Pasr  $= 0,7$

### 3.5.2 Perhitungan Tulangan *Diaphragm Wall*

Secara umum perhitungan tulangan dilakukan berdasarkan momen lentur dan gaya geser terbesar yang didapat dari analisa tegangan menggunakan program bantu plaxis. Plaxis merupakan program komputer yang melakukan analisis elemen hingga seperti perhitungan deformasi, stabilitas, dan aliran air dimana perhitungan dapat dilanjutkan jika deformasi/defleksi/gaya lebih kecil dari defleksi ijin. Berikut dasar teori yang digunakan pada saat perencanaan utama penulangan *diaphragm wall*.

1. Perhitungan nilai  $M_R$

- Mencari nilai  $\beta_1$ . Untuk  $f'_c \geq 28$  MPa digunakan persamaan berikut.

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'_c - 280/70) \geq 0,65 \quad (3.63)$$

- Mencari nilai  $\rho_b$  dan  $\rho_{max}$  digunakan persamaan berikut.

$$\rho_b = \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y}\right) \beta_1 (6120 / (6120 + f_y)) \quad (3.64)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \quad (3.65)$$

- Menghitung nilai  $M_R$

$$M_R = (1/\phi) \rho_{max} f_y (1 - 0,59 (\rho_{max} f_y / f'_c)) b d^2 \quad (3.66)$$

2. Tulangan Vertikal

Penulangan vertikal direncanakan untuk menahan *bending moment* yang terjadi pada dinding. Perhitungan ini memerlukan nilai  $M_u$  yang didapatkan dari program plaxis. Nilai  $M_u$  harus lebih kecil dari nilai  $\phi MR$  sehingga tidak diperlukan tulangan tekan.

- Menentukan Rasio Kekuatan Material ( $m$ ):

$$m = f_y / 0,85 f'_c \quad (3.67)$$

- Menentukan Rasio Penulangan

$$\rho = 1/m (1 - \sqrt{1 - (2 m M_n / f_y b d^2)}) \quad (3.68)$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \quad (3.69)$$

- Menentukan Luas tulangan yang dibutuhkan ( $A_s$ ):

$$A_s = \rho b d \quad (3.70)$$

- Mencari Jumlah Tulangan:

Dapat dicari dengan cara nilai  $A_s$  dibagi  $A_s$  tulangan.

3. Tulangan horizontal

Tulangan horizontal diperlukan karena efek susut beton oleh temperature.

- menentukan luas tulangan yang dibutuhkan ( $A_s$ )

$$A_s = 0,002 \times A_g \quad (3.71)$$

- Mencari jumlah tulangan

Dapat dicari dengan cara nilai  $A_s$  dibagi  $A_s$  tulangan.

4. Tulangan geser

Perencanaan tulangan geser, diperlukan nilai geser maksimum dari *diaphragm wall*. Nilai  $V_u$  didapatkan dari hasil analisa program plaxis. Jika nilai  $V_u < V_c$  maka tidak dibutuhkan tulangan geser.

### 3.6 Pondasi

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 13.1.1; Hal-259, jenis pondasi pada struktur gedung dibagi menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*) yang ditentukan pada letak lapisan tanah keras. Dua jenis pondasi ini memiliki macam struktur sendiri sebagai berikut.

1. Pondasi dangkal (*shallow foundation*)
  - a) Pondasi lajur/menerus, merupakan jenis pondasi dangkal yang bentuk dimensinya memanjang mengikuti struktur atasnya.
  - b) Pondasi setempat, merupakan jenis pondasi dangkal yang lokasinya sesuai posisi kolom dari struktur bangunan. Umumnya bentuk fondasi ini berbentuk persegi dengan ketebalan minimum ( $t \geq 150$  mm), berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 13.3.1.2; Hal-265.
  - c) Pondasi gabungan, pada dasarnya merupakan jenis pondasi setempat. Namun dikarenakan lokasi antar kolom berdekatan dan dimensi pelat pondasi antara dua kolom tersebut berdekatan, sehingga untuk memberikan efisiensi yang optimal, pondasi setempat digabung menjadi satu dan membentuk pondasi gabungan.
  - d) Pondasi rakit (*raft foundation*) merupakan jenis pondasi dangkal yang dimensinya seluas bangunan. Jenis pondasi ini umumnya digunakan bila jenis tanah yang digunakan sangat buruk atau memiliki daya dukung ijin yang relatif kecil. Sehingga agar gaya (tegangan) yang ditransferkan dari struktur atas menjadi lebih kecil, maka luasan pondasi diperluas.
2. Pondasi dalam (*deep foundation*)
  - a) Pondasi *caissons* (*Bor Pile*), merupakan jenis pondasi dalam yang metode pengerjaannya diawali dengan pengeboran tanah sesuai dengan diameter tiang beton yang direncanakan. Selanjutnya besi tulangan yang sudah disusun kemudian dimasukan ke dalam lubang tersebut dan dilakukan pengecoran ditempat (*cast in situ*).
  - b) Pondasi tiang pancang merupakan jenis pondasi dalam yang menggunakan beton precast sebagai media tiang yang ditanam. Jenis pondasi ini paling banyak digunakan, karena dari segi kualitas beton sangat terjamin. Elemen

pendukung untuk tiang pancang adalah pile cap yang berfungsi mentransfer gaya dari kolom ke tiang pancang.

Menurut Lesmana, 2020 Struktur Pondasi adalah struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke dalam tanah sehingga bangunan bisa tetap berdiri dan stabil. Pemilihan jenis pondasi yang digunakan didasarkan kepada beberapa pertimbangan, yaitu: keadaan tanah pondasi, jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras, dan beberapa hal yang menyangkut keadaan tanah. Hal ini meliputi kondisi beban (bebsar beban, arah beban dan penyebaran beban). Mendesain pondasi yang sesuai berdasarkan analisis mekanika teknik struktur rangka gedung dan data tanah gasil investigasi. Pemeriksaan tegangan maksimum terhadap tegangan ijin dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$q_{max} = \frac{Pu}{A} + \frac{M_{ux}(b_2/2)}{I_x} + \frac{M_{uy}(b_2/2)}{I_y} \quad (3.72)$$

$$q_{max} < q_{max} \quad (3.73)$$

### 3.7 Analisis dan Desain Struktur

Analisis yang rumit pada struktur menjadikan penggunaan computer menjadi pilihan utama. *Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems* (ETABS) merupakan salah satu program computer untuk perencanaan struktur gedung yang bertujuan memperkirakan gaya dalam, deformasi system struktur, dan juga memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan stabilitas struktur sesuai dengan standar SNI 2847-2019. Dan untuk analisis Diaphragm wall menggunakan program PLAXIS V 8.2 sesuai dengan standar SNI 8460:2017.