

## STUDI KOMPARASI DISAIN STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT AKIBAT GEMPA PADA 5 KOTA DI INDONESIA

Muhammad Immalombassi Prins

Servie O. Dapas, Steenie E. Wallah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Email: [muhammad.prins88@gmail.com](mailto:muhammad.prins88@gmail.com)

### ABSTRAK

*Lahan yang semakin terbatas menyebabkan pembangunan gedung bertingkat dipilih sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan manusia yang meningkat. Perencanaan bangunan harus dilakukan secara teliti dan seksama menggunakan peraturan terbaru yaitu SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012.*

*Perencanaan struktur terdiri dari 20 lantai yang berfungsi sebagai perhotelan dengan konstruksi beton bertulang menggunakan SRPMK. Ditinjau dari balok, kolom, HBK dan pelat pada lima kota di Indonesia yaitu Pontianak, Balikpapan, Batam, Yogyakarta dan Palu. Bangunan direncanakan diatas tanah sedang dan berada pada KDS A sampai KDS E. Pembebanan terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa. Perencanaan elemen struktur menggunakan SNI 2847:2013 dengan mutu beton,  $f_c' 30$  MPa, mutu tulangan baja,  $f_y 240$  MPa untuk diameter tulangan lebih kecil atau sama dengan 10 mm,  $f_y 400$  MPa untuk diameter tulangan lebih besar dari 10 mm. Analisis beban gempa menggunakan SNI 1726:2012. Analisis struktur menggunakan bantuan program ETABS.*

*Hasil perencanaan struktur berupa perhitungan dimensi penampang serta tulangan lentur dan geser balok arah memanjang maupun melintang, tulangan memanjang dan geser kolom, hubungan balok-kolom (HBK) dan tulangan pokok dan susut pelat lantai dan atap.*

**Kata Kunci :** SRPMK, ETABS, Beton Bertulang, HBK, Gempa

### PENDAHULUAN

#### Latar belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka bertambah pula infrastruktur penunjang. Bertambahnya infrastuktur mengakibatkan pembangunan yang cukup pesat namun menimbulkan permasalahan baru yaitu ketersediaan lahan yang minim. Solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan membangun gedung-gedung bertingkat. Mengingat letak geografis Indonesia yang merupakan pertemuan perbatasan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Eurasia dan lempeng Australia mengakibatkan Indonesia menjadi daerah yang rawan gempa bumi (Suharjanto, 2013).

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur harus direncanakan dengan seksama agar apabila terjadi gempa struktur bangunan tidak rusak dan tidak runtuh. Dalam perencanaan suatu struktur harus memperhatikan faktor perencanaan yang matang agar struktur tersebut aman terhadap beban gempa dan beban-beban lainnya. Faktor yang terpenting dalam perencanaan yaitu analisis struktur yang menghasilkan gaya-gaya dalam

berupa momen lentur, gaya geser dan gaya aksial yang digunakan untuk menentukan dimensi dari elemen-elemen struktur.

Dilatarbelakangi hal tersebut, penulis tertarik untuk merencanakan dimensi penampang beserta tulangan struktur beton bertulang yang aman dan ekonomis. Dalam tugas akhir ini struktur yang akan direncanakan adalah 5 kota di Indonesia yang dilihat dari kategori desain seismik berdasarkan parameter respons spektral percepatan desain periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan parameter respons spektral percepatan desain periode 1 detik ( $S_{D1}$ ).

Kelima kota yang diambil yaitu Kota Pontianak dengan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0.018 dan  $S_{D1}$  sebesar 0.034 termasuk kategori desain seismik tipe A, Kota Balikpapan dengan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0.251 dan  $S_{D1}$  sebesar 0.131 termasuk kategori desain seismik tipe B, Kota Batam dengan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0.141 termasuk kategori desain seismik tipe C, Kota Yogyakarta dengan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0.820 dan  $S_{D1}$  sebesar 0.461 termasuk kategori desain seismik tipe D dan Kota Palu dengan nilai  $S_1$  sebesar 0.765 termasuk kategori desain seismik tipe E.

### Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah ini adalah merencanakan dimensi penampang beserta tulangan struktur beton bertulang yang aman dan ekonomis pada 5 kota di Indonesia yaitu Kota Pontianak, Kota Balikpapan, Kota Batam, Kota Yogyakarta dan Kota Palu.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk untuk membandingkan hasil perencanaan dimensi penampang beserta tulangan struktur bangunan beton bertulang yaitu elemen struktur balok, kolom dan pelat pada 5 kota di Indonesia yaitu Kota Pontianak, Kota Balikpapan, Kota Batam, Kota Yogyakarta dan Kota Palu.

### Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk memberikan pemahaman tentang perencanaan dan perhitungan struktur bangunan yang ekonomis dan aman, sebagai salah satu referensi dalam merencanakan struktur bangunan tahan gempa menggunakan (SRPMK) dan mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan *software* ETABS khususnya dalam perencanaan struktur portal tiga dimensi (3D).

### Batasan Masalah

Agar penulisan dapat terarah dan terencana, maka penulis membuat suatu batasan masalah dibawah ini:

1. Struktur bangunan yang ditinjau adalah bangunan yang terdiri dari 20 lantai dengan konstruksi beton bertulang.
2. Fungsi bangunan tiap lantai tipikal yaitu berfungsi sebagai perhotelan.
3. Perencanaan meliputi elemen struktur balok, kolom, pelat lantai dan pelat atap serta hubungan balok-kolom menggunakan beton bertulang yang ditinjau hanya satu titik saja.
4. Analisa perhitungan akibat gaya gempa berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
5. Perencanaan elemen struktur mengacu pada SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
6. Beban gempa menggunakan kurva respons spektra desain Kota Pontianak, Kota Balikpapan, Kota Batam, Kota Yogyakarta dan Kota Palu dengan asumsi tanah sedang.

7. Sistem struktur yang direncanakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
8. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan dengan bantuan program ETABS secara tiga dimensi (3D).
9. Perletakkan dianggap terjepit sempurna.
10. Spesifikasi material yang digunakan
  - a. Beton bertulang dengan  $f_c' = 30$  MPa
  - b. Baja tulangan dengan :
    - $f_y = 240$  MPa untuk  $D \leq 10$  mm
    - $f_y = 400$  MPa untuk  $D > 10$  mm
11. Tidak meninjau dari segi metode pelaksanaan, arsitektural dan manajemen konstruksi.

## LANDASAN TEORI

### Beton

Beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton (Setiawan, 2016).

Ada banyak kelebihan dari beton diantaranya adalah:

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, bahkan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh.
4. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding *basement*, tiang tumpuan jembatan dan bangunan-bangunan semacam itu.
5. Dibandingkan dengan bahan lain, beton memiliki usia layan yang sangat panjang.
6. Disebagian besar daerah, beton terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah (pasir, kerikil dan air) dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.
7. Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membangun konstruksi beton bertulang lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti baja struktur.

Selain memiliki kelebihan-kelebihan, beton juga memiliki beberapa kelemahan antara lain:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap pada tempatnya sampai beton tersebut mengeras.
3. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat.
4. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasi proporsi campuran dan pengadukannya.

**Pembebanan**

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada struktur. Beban terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa (Setiawan, 2016).

Tabel 1. Jenis Beban Mati pada Gedung

No	Jenis Beban Mati	Berat	Satuan
1	Beton bertulang	24,0	kN/m <sup>3</sup>
2	Baja	78,5	kN/m <sup>3</sup>
3	Pasir	16,0	kN/m <sup>3</sup>
4	Mortar, spesi	22,0	kN/m <sup>3</sup>
5	Aspal	0,14	kN/m <sup>3</sup>
6	Dinding bata ½ batu	2,50	kN/m <sup>2</sup>
7	Plafond dan penggantung	0,18	kN/m <sup>2</sup>
8	Penutup lantai (keramik)	0,24	kN/m <sup>2</sup>
9	Instalasi plumbing (ME)	0,25	kN/m <sup>2</sup>
10	Dinding partisi ( <i>cladding</i> )	0,20	kN/m <sup>2</sup>

(Sumber : Riza, 2010)

Berdasarkan SNI 1727-1989, beban hidup untuk lantai gedung perhotelan dan lantai atap yaitu:

Perhotelan = 2,5 kN/m<sup>2</sup>

Lantai atap = 1,0 kN/m<sup>2</sup>

Reduksi beban hidup dapat dilakukan dengan cara mengalikan beban hidup dengan koefisien reduksi yang nilainya tergantung pada penggunaan bangunan. Besarnya koefisien reduksi beban hidup untuk perencanaan gedung perhotelan adalah 0,75 dan reduksi untuk 0,30.

Untuk mendesain kurva respons spektrum desain data pertama yang perlu diketahui yaitu parameter-parameter nilai S<sub>s</sub> dan S<sub>1</sub> dapat dilihat pada situs [www.puskim.pu.go.id](http://www.puskim.pu.go.id) dengan memasukkan daerah kabupaten/kota yang diinginkan. Setelah kurva respons spektrum desain direncanakan, selanjutnya memberikan faktor skala gaya gempa arah X maupun arah Y (Riza, 2010).

Faktor skala gempa arah X = (G x I<sub>e</sub>)/R

Faktor skala gempa arah Y = 30% x (G x I<sub>e</sub>)/R

Keterangan :

G = percepatan gravitasi

I<sub>e</sub> = faktor keutamaan gempa (SNI 1726: 2012)

R = koefisien modifikasi respon (SNI 1726: 2012)

**Kombinasi Pembebanan**

Suatu struktur dirancang mampu memikul beban mati, beban hidup dan beban gempa sesuai SNI Gempa 1726:2012 dan SNI Beton 2847:2013 yaitu:

1. 1,4DL
2. 1,2DI + 1,6LL
3. (1,2+0,2S<sub>DS</sub>)DL+LL+ρ(1,0Q<sub>EX</sub>)± ρ(0,3Q<sub>EY</sub>)
4. (1,2+0,2S<sub>DS</sub>)DL+LL+ρ(0,3Q<sub>EX</sub>)± ρ(1,0Q<sub>EY</sub>)
5. (0,9-0,2S<sub>DS</sub>)DL+ρ(1,0Q<sub>EX</sub>) ±ρ (0,3Q<sub>EY</sub>)
6. (0,9-0,2S<sub>DS</sub>)DL+ρ(0,3Q<sub>EX</sub>) ±ρ (1,0Q<sub>EY</sub>)

Keterangan :

DL = beban mati

LL = beban hidup

Q<sub>EX</sub> = beban gempa arah

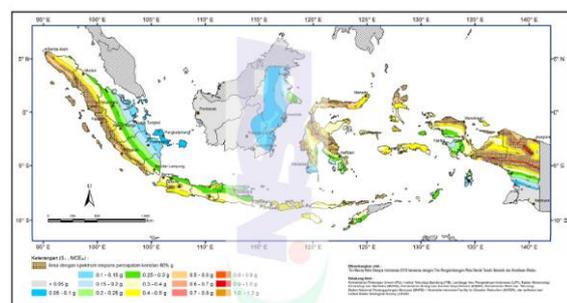
Q<sub>EY</sub> = beban gempa arah Y

ρ = faktor redundansi (SNI 1726:2012)

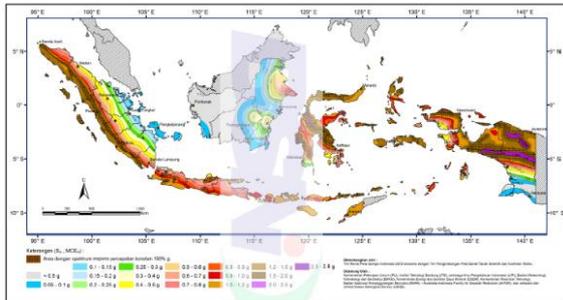
S<sub>DS</sub> = percepatan permukaan tanah maksimum

**Wilayah Gempa dan Spektrum Respons**

Menurut SNI 1726:2012 wilayah gempa Indonesia dibagi menjadi 18 wilayah gempa untuk S<sub>s</sub> dan 15 wilayah gempa untuk S<sub>1</sub>. Wilayah gempa 1 adalah wilayah kegempaan paling rendah dengan nilai respons spektra < 0,05g sedangkan wilayah gempa 18 adalah wilayah gempa tertinggi dengan nilai respons spektra mencapai 2,5 – 2,8g. Gambar-gambar berikut merupakan gambar pembagian wilayah gempa di Indonesia.



Gambar 1. Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia untuk S<sub>s</sub> (Sumber : SNI 1726:2012)



Gambar 2. Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia untuk  $S_1$   
(Sumber : SNI 1726:2012)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplikasi seismik pada perioda 2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplikasi getaran meliputi faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplikasi terkait percepatan pada perioda 1 detik ( $F_v$ ).

Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Keterangan :

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

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

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan pada perioda 1,0 detik ( $S_{D1}$ ), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan mengikuti ketentuan di bawah ini:

- Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) harus dihitung dengan persamaan :

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

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , maka  $S_a = S_{DS}$ .
- Untuk periode lebih besar dari  $T_S$ , maka spektrum respons percepatan desain diambil berdasarkan persamaan berikut :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

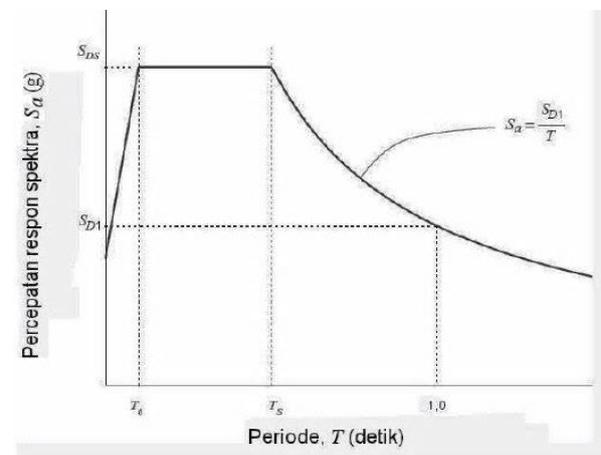
Keterangan :

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

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

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3. Spektrum Respons Desain  
(Sumber : SNI 1726:2012)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan.

Struktur dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E.

Struktur dengan kategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Tabel 2. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek ( $S_{DS}$ )

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

(Sumber : SNI 1726:2012)

Tabel 3. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik ( $S_{D1}$ )

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

(Sumber : SNI 1726:2012)

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.2.1, sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan pada Tabel 4 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Tabel 4. R,  $C_d$ ,  $\Omega_o$  untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik	R	$\Omega_o$	$C_d$	Batasan sistem struktur dan tinggi struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori desain seismik				
Sistem rangka pemikul momen				B	C	D	E	F
Rangka beton bertulangan momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka beton bertulangan momen menengah	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulangan momen biasa	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI

Keterangan :

TB = Tidak Dibatasi, TI = Tidak Diiijinkan

(Sumber : SNI 1726-2012)

### Kekuatan Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser dan torsi harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan

persyaratan dalam SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2, 9.3.4 dan Pasal 9.3.5 adalah sebagai berikut:

- Penampang kendali tarik,  $\phi = 0,90$
- Geser dan torsi  $\phi = 0,75$
- Tulangan spiral  $\phi = 0,75$
- Komponen struktur lain  $\phi = 0,65$
- Tumpuan pada beton  $\phi = 0,65$
- Daerah angkur pasca tarik  $\phi = 0,85$

### Komponen Lentur pada SRPMK

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.5.1.1 sampai 21.5.1.4, komponen lentur struktur rangka ini harus memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut.

- a. Lebar komponen,  $b_w$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0.3h$  dan  $250$  mm.
- b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , tidak lebih dari  $A_g f_c' / 10$ .
- c. Panjang bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$ , harus lebih besar daripada 4 kali tinggi efektif.
- d. Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari  $0.3$ .
- e. Lebar komponen struktur,  $b_w$ , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak  $\frac{3}{4}$  tinggi komponen struktur lentur.

### Persyaratan Tulangan Lentur

Sesuai dengan Pasal 21.5.2 SNI 2847:2013, maka diberikan beberapa ketentuan untuk tulangan lentur pada suatu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah:

- a. Luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang disyaratkan yaitu  $(0,25b_w d \sqrt{f_c'} ) / f_y$  atau  $(1,4b_w d) / f_y$ . Rasio tulangan lentur maksimum ( $\rho_{maksimum}$ ) juga dibatasi sebesar  $0,025$ . Selain itu, pada penampang harus terpasang secara menerus minimum dua batang tulangan atas dan dua buah tulangan bawah.
- b. Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.
- c. Sambungan lewatan pada tulangan lentur hanya diizinkan jika ada tulangan spiral atau sengkang tertutup yang mengikat bagian

sambungan lewatan tersebut. Spasi sengkang yang mengikat daerah sambungan lewatan tersebut tidak melebihi  $d/4$  atau 100 mm.

### Persyaratan Tulangan Transversal

Dalam perencanaan tulangan transversal Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) harus memenuhi beberapa persyaratan yang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.5.3 sebagai berikut:

- a. Sengkang tertutup harus disediakan pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari tumpuan pada kedua ujung komponen struktur lentur. Selain itu, sengkang tertutup juga harus dipasang disepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang, pada tempat yang diharapkan dapat terjadi leleh lentur.
- b. Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi dari nilai terkecil antara:
  - $\frac{d}{4}$
  - $6d_b$
  - 150 mm
- c. Tulangan transversal untuk SRPMK harus didesain untuk memikul gaya geser rencana yang timbul oleh kuat lentur maksimum,  $M_{pr}$ , dengan tanda berlawanan dianggap bekerja pada muka-muka tumpuan. Pada saat yang bersamaan komponen struktur tersebut dianggap dapat memikul beban gravitasi terfaktor disepanjang bentangnya

### Komponen Pemikul Lentur dan Aksial pada SRPMK

Komponen struktur yang menerima kombinasi lentur dan beban aksial beton bertulang sesuai SNI 2847-2013 Pasal 21.6 pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah sebagai berikut :

- a. Persyaratan dari sub pasal ini berlaku untuk komponen struktur rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa dan yang menahan gaya aksial terfaktor,  $P_u$ , akibat sebarang kombinasi beban yang melebihi  $A_g f_c' / 10$ .
- b. Dimensi penampang diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak boleh kurang dari 300 mm.

- c. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0.4.

### Persyaratan Tulangan Lentur

Persyaratan tulangan lentur kolom untuk SRPMK menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.3 adalah sebagai berikut:

- a. Luas tulangan memanjang,  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0.01A_g$  atau lebih dari  $0.06A_g$ .
- b. Pada kolom dengan sengkang bulat, jumlah tulangan longitudinal minimum harus 6.
- c. Sambungan lewatan hanya boleh dipasang ditengah tinggi kolom dan harus diikat dengan tulangan *confinement* dengan spasi tulangan yang ditetapkan pada Pasal 21.6.4.3.

### Persyaratan Tulangan Transversal

Tulangan transversal yang disyaratkan dalam SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.2 sampai 21.6.4.4 harus dipasang sepanjang panjang  $l_o$  dari setiap muka joint dan pada kedua sisi sebarang penampang tidak boleh kurang dari:

- a. Tinggi penampang komponen struktur pada muka hubungan balok– kolom.
- b. 1/6 dari bentang bersih komponen struktur.
- c. 450 mm.
- d. Diluar daerah sepanjang  $l_o$  dari hubungan balok kolom jarak sengkang tertutup diambil tidak melebihi nilai terkecil antara 6 kali diameter tulangan longitudinal atau 150 mm.
- e. Spasi tulangan transversal sepanjang  $l_o$  komponen struktur tidak lebih melebihi yang terkecil dari :
  - Seperempat dimensi komponen struktur minimum
  - Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil, dan
  - $s_o = 100 + \frac{350+hx}{3}$

### Hubungan Balok Kolom

Persyaratan umum untuk hubungan balok-kolom yang diatur sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.7.2 yaitu sebagai berikut:

- a. Gaya-gaya yang bekerja pada tulangan longitudinal balok dimuka HBK harus ditentukan dengan menganggap bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur  $1,25f_y$ .
- b. Tulangan longitudinal balok yang berhenti pada suatu kolom harus memiliki panjang penyaluran yang cukup hingga mencapai sisi jauh dari inti kolom terkekang.

- c. Jika tulangan longitudinal balok diteruskan hingga melewati HBK, maka dimensi kolom dalam arah paralel terhadap tulangan longitudinal balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok. Untuk beton ringan, maka dimensi tersebut tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok. Kuat geser nominal HBK untuk beton normal diambil tidak melebihi dari:
- $1,7\sqrt{f'_c}A_j$ , untuk HBK yang terkekang empat sisinya.
  - $1,25\sqrt{f'_c}A_j$ , untuk HBK yang terkekang ketiga sisinya atau dua sisi yang berlawanan.
  - $1,0\sqrt{f'_c}A_j$ , untuk HBK lainnya.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Data Perencanaan

Tipe bangunan	: Perhotelan
Tinggi bangunan	: ± 70 m
Luas bangunan	: ± 630 m <sup>2</sup>
Tinggi kolom	: 3,5 m
Panjang bentang	: 5 m arah memanjang 6 m arah melintang
Jumlah lantai	: 20 lantai
Struktur bangunan	: Beton bertulang
Lokasi bangunan	: 1. Kota Pontianak 2. Kota Balikpapan 3. Kota Batam 4. Kota Yogyakarta 5. Kota Palu
Mutu beton	: 30 Mpa
Mutu baja	: 400 MPa, D > 10 mm 240 MPa, D ≤ 10 mm
Modulus elastisitas beton	: 25743 MPa
Modulus elastisitas baja	: 200000 MPa

### Pendimensial Awal Struktur

Balok (Vis W. C & Kusuma Gideon, 1993)  
 $h = l/16 - l/12$   
 $b = 0,5$  sampai  $0,6h$   
 Balok memanjang ( $l = 5000$  mm)  
 $h = l/13 = 5000/13 = 384,615 \approx 400$  mm  
 $b = 0,6h = 0,6 \times 400 = 240 \approx 250$  mm  
 Jadi, digunakan balok 250/400  
 Balok melintang ( $l = 6000$  mm)  
 $h = l/13 = 6000/13 = 461,538 \approx 500$  mm  
 $b = 0,6h = 0,6 \times 500 = 300$  mm  
 Jadi, digunakan balok 300/500

Pelat (SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3)

Pelat dua arah yang ditumpu pada empat sisi:

a) Untuk  $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$ .

$$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \geq 125 \text{ mm}$$

b) Untuk  $\alpha_{fm} > 2,0$

$$h = \frac{l_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

c) Untuk  $\alpha_{fm} < 0,2$ , penentuan sama dengan pelat tanpa balok

Pelat lantai = 140 mm

Pelat atap = 100 mm

Kolom (SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6.2)

Estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban yag bekerja meliputi beban mati seperti balok, pelat serta berat dari lantai diatas kolom tersebut dan beban hidup. Untuk komponen sruktur non-prategang dengan tulangan sengkang dihitung dengan persamaan:

$$\phi P_n(\max) = 0,8 \times \phi \times [0,85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}]$$

dengan  $\phi = 0,65$

Jadi, dimensi kolom yang digunakan: Lantai 1

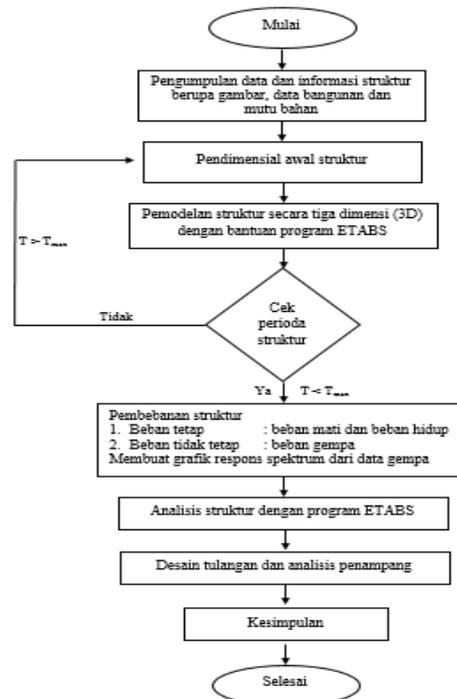
- 5 : 700 x 700

Lantai 6 - 10 : 600 x 600

Lantai 11 - 15 : 500 x 500

Lantai 16 - 20 : 400 x 400

### Alur Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

**PERENCANAAN STRUKTUR**

**Perhitungan Periode Fundamental Struktur (T)**

Menurut SNI 1726:2012, periode struktur bangunan (T) dapat dihitng dengan periode bangunan pendekatan (T<sub>a</sub>) ditentukan dengan persamaan:

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_{max} = C_u T_a$$

Tabel 5. Periode Fundamental Struktur, T

Lokasi	T <sub>1</sub> (detik)	T <sub>2</sub> (detik)	T <sub>3</sub> (detik)	S <sub>01</sub> (g)	C <sub>t</sub>	T <sub>max</sub> (detik)	Kontrol
Pontianak	2,1329	2,7955	2,6245	0,034	1,70	3,6259	OK
Balikpapan	2,1329	2,7955	2,6245	0,131	1,638	3,4937	OK
Batam	2,1329	2,7955	2,6245	0,141	1,618	3,4510	OK
Yogyakarta	2,1329	2,7955	2,6245	0,461	1,40	2,9801	OK
Palu	2,1329	2,7955	2,6245	0,765	1,40	2,9801	OK

**Kontrol Simpangan**

Kriteria persyaratan simpangan antar lantai (Δ) mengacu pada SNI 1726:2012 dengan faktor-faktor sebagai berikut :

- Faktor pembesaran defleksi (C<sub>d</sub>) untuk SRPMK = 5,5 (Tabel 9 SNI 1726:2012)
- Faktor keutamaan gempa (I<sub>e</sub>) = 1,0
- Simpangan antar lantai yang diijinkan untuk gedung dengan kategori risiko I atau II adalah Δ<sub>a</sub> = 0,020 x h, dimana h : tinggi tingkat (Tabel 16 SNI 1726:2012)
- Simpangan antar lantai yang di ijinkan untuk kategori desain seismik D sampai F, nilai Δ<sub>a</sub> harus dibagi dengan faktor redundansi.
- Faktor redundansi sebesar 1,3 sesuai dengan Pasal 7.3.4 SNI 1726:2012

Tabel 6. Simpangan Antar Lantai (Δ) Arah X Kota Pontianak

Lantai	h (mm)	Simpangan (mm)	Δ (mm)	Δ <sub>a</sub> (mm)	Syarat Δ < Δ <sub>a</sub>
Lantai 20	3500	4.6551	1.5230	70	OK
Lantai 19	3500	4.3782	1.5411	70	OK
Lantai 18	3500	4.0980	1.5609	70	OK
Lantai 17	3500	3.8142	1.5802	70	OK
Lantai 16	3500	3.5269	1.5983	70	OK
Lantai 15	3500	3.2363	1.6027	70	OK
Lantai 14	3500	2.9449	1.6088	70	OK
Lantai 13	3500	2.6524	1.6027	70	OK
Lantai 12	3500	2.3610	1.5851	70	OK
Lantai 11	3500	2.0728	1.5549	70	OK
Lantai 10	3500	1.7901	1.5037	70	OK
Lantai 9	3500	1.5167	1.4454	70	OK
Lantai 8	3500	1.2539	1.3657	70	OK
Lantai 7	3500	1.0056	1.2667	70	OK
Lantai 6	3500	0.7753	1.1446	70	OK
Lantai 5	3500	0.5672	0.9999	70	OK
Lantai 4	3500	0.3854	0.8421	70	OK
Lantai 3	3500	0.2323	0.6545	70	OK
Lantai 2	3500	0.1133	0.4395	70	OK
Lantai 1	3500	0.0334	0.0334	70	OK

Tabel 7. Simpangan Antar Lantai (Δ) Arah Y Kota Pontianak

Lantai	h (mm)	Simpangan (mm)	Δ (mm)	Δ <sub>a</sub> (mm)	Syarat Δ < Δ <sub>a</sub>
Lantai 20	3500	4.8624	1.3596	70	OK
Lantai 19	3500	4.6152	1.3943	70	OK
Lantai 18	3500	4.3617	1.4339	70	OK
Lantai 17	3500	4.1010	1.4790	70	OK
Lantai 16	3500	3.8321	1.5257	70	OK
Lantai 15	3500	3.5547	1.5593	70	OK
Lantai 14	3500	3.2712	1.5978	70	OK
Lantai 13	3500	2.9807	1.6264	70	OK
Lantai 12	3500	2.6850	1.6445	70	OK
Lantai 11	3500	2.3860	1.6489	70	OK
Lantai 10	3500	2.0862	1.6286	70	OK
Lantai 9	3500	1.7901	1.5994	70	OK
Lantai 8	3500	1.4993	1.5466	70	OK
Lantai 7	3500	1.2181	1.4680	70	OK
Lantai 6	3500	0.9512	1.3591	70	OK
Lantai 5	3500	0.7041	1.2139	70	OK
Lantai 4	3500	0.4834	1.0434	70	OK
Lantai 3	3500	0.2937	0.8261	70	OK
Lantai 2	3500	0.1435	0.5605	70	OK
Lantai 1	3500	0.0416	0.0416	70	OK

**Perhitungan Pelat Lantai dan Atap Penulangan pokok**

M<sub>u</sub> dari output ETABS

Menentukan tebal selimut beton (t<sub>s</sub>)

$$D \leq 36 \text{ mm}, t_s = 20 \text{ mm (SNI 2847:2013)}$$

Menghitung tinggi efektif (d)

$$d = h - t_s - \frac{1}{2}D$$

Menghitung luas tulangan terpakai (A<sub>s</sub>)

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b/s$$

Menghitung tinggi blok tegangan (a)

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

Menghitung momen nominal (M<sub>n</sub>)

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - \frac{a}{2})$$

Syarat : ϕM<sub>n</sub> ≥ M<sub>u</sub> (SNI 2847:2013)

**Penulangan susut**

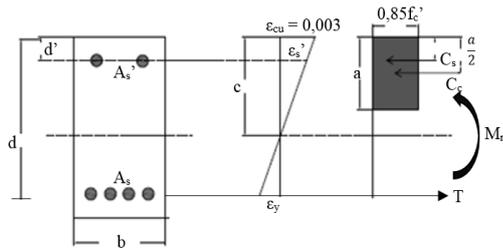
Tulangan susut dipasang pada daerah tumpuan. Kebutuhan tulangan susut diambil sebesar 0,0018 x b x h (Asroni, 2010).

Tabel 8. Rekapitulasi Penulangan Pelat

No	Momen yang ditinjau	Pelat Lantai		Pelat Atap	
		Tul. pokok (mm)	Tul. susut (mm)	Tul. pokok (mm)	Tul. susut (mm)
1	M <sub>lx</sub>	D10-200	D10-150	D10-250	D10-200
2	M <sub>ly</sub>	D10-200	D10-150	D10-250	D10-200
3	M <sub>tx</sub>	D10-120	D10-150	D10-160	D10-200
4	M <sub>ty</sub>	D10-200	D10-150	D10-200	D10-200

**Penulangan Balok Struktur**

Perencanaan balok menggunakan tulangan rangkap seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. Penampang Persegi dengan Tulangan Rangkap  
(Sumber : Asroni, 2010)

**Penulangan Lentur Balok**

M<sub>u</sub> diperoleh dari *output* ETABS.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

Asumsi :

Luas tulangan tekan diambil sebesar A<sub>s</sub>' = 0,5 A<sub>s</sub>

Tulangan tekan belum leleh:

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

$$C_s = A_s \times \epsilon_s \times E_s$$

Gaya tekan pada beton (SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7.1):

$$a = 0,85 \times c$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

Tulangan tarik sudah leleh:

$$T_s = A_s \times f_y$$

Keseimbangan gaya dalam:

$$C_c + C_s = T_s$$

Keseimbangan momen:

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

Cek asumsi:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$\epsilon_s' = \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 < \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 > \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Syarat,  $\phi M_n \geq M_u$  (SNI 2847:2013)

Luas tulangan tarik (A<sub>s</sub>):

$$A_s = \rho \times b \times d \geq A_{s \min}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

Luas tulangan tekan (A<sub>s</sub>'):

$$A_s' = \frac{1}{2} \times A_s \geq A_{s \min}$$

$$A_s' = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

**Penulangan Geser Balok**

Setiawan (2016), menjelaskan langkah-langkah penulangan geser sebagai berikut:

1. V<sub>u</sub>, didapat dari *output* (ETABS)
2. V<sub>c</sub> =  $\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$
3. V<sub>s</sub> = V<sub>u</sub>/φ - V<sub>c</sub>
4. V<sub>u</sub> < ½ φV<sub>c</sub>, tidak diperlukan tulangan

5. ½ φV<sub>c</sub> < V<sub>u</sub> < φV<sub>c</sub>, dibutuhkan tulangan geser minimum

6. V<sub>u</sub> > φV<sub>c</sub>, hitung kuat geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s \text{ atau } V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

Hitung nilai V<sub>c1</sub> dan V<sub>c2</sub>:

$$V_{c1} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{c2} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_s < V_{c1}, \text{ maka } s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

V<sub>s</sub> > V<sub>c2</sub>, maka ukuran penampang harus diperbesar.

7. Kuat geser nominal (φ = 0,75)

$$\phi V_c \geq V_u$$

Syarat spasi maksimum tulangan geser menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.2 adalah sebagai berikut.

- s < d/4
- s < 8 kali tulangan longitudinal terkecil
- s < 24 kali tulangan geser
- s < 300 mm
- s<sub>maks</sub> = d/2

**Perencanaan Tulangan Badan**

Dimensi balok yang relatif tinggi (lebih dari 400 mm) membuat resiko retak pada bagian badan semakin besar, maka harus diberi tulangan pinggang dengan jarak antar tulangan maksimal d/6 atau 300 mm (Riza, 2010).

**Gambar Penulangan**

Lebar balok terbatas pada nilai b, maka jumlah tulangan yang dapat dipasang pada 1 baris (m) juga terbatas (Asroni, 2010).

$$m = \frac{b - 2 \times d_{s1}}{D + S_n} + 1$$

Keterangan :

d<sub>s1</sub>= jarak antara titik berat tulangan tarik baris pertama dan tepi serat beton, mm

D = diameter tulangan longitudinal, mm

S<sub>n</sub> = jarak bersih antar tulangan pada arah mendatar, mm

Tabel 9. Penulangan Balok B12

Balok B12 (250 X 350)			
Posisi	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
B12			
Tulangan Atas	4D19	2D19	4D19
Tulangan Bawah	2D19	3D19	2D19
Sengkang	2P10-70	2P10-140	2P10-70

Tabel 10. Penulangan Balok B43

Balok B43 (250 X 400)			
Posisi	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
B12			
Tulangan Atas	6D19	2D19	6D19
Tulangan Bawah	3D19	3D19	3D19
Sengkang	2P10-55	2P10-170	2P10-55
Tulangan Badan	2D14		

Tabel 11. Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok B12 (Arah Memanjang)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Pontianak	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
2	Balikpapan	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
3	Batam	250 x 350	4D19	2D19	2D19	3D19
4	Yogyakarta	250 x 350	5D19	3D19	2D19	3D19
5	Palu	250 x 400	5D19	3D19	2D19	3D19

Tabel 12. Rekapitulasi Penulangan Geser Balok B12 (Arah Memanjang)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	250 x 350	2P10	70	2P10	140
2	Balikpapan	250 x 350	2P10	70	2P10	140
3	Batam	250 x 350	2P10	70	2P10	140
4	Yogyakarta	250 x 350	2P10	65	2P10	140
5	Palu	250 x 400	2P10	70	2P10	170

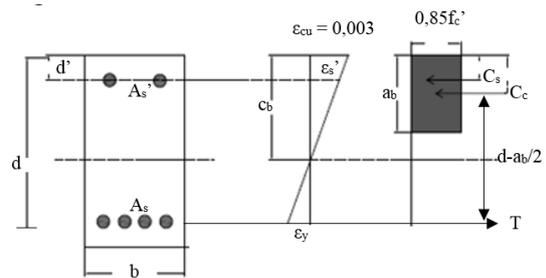
Tabel 13. Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok B43 (Arah Melintang)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	Pontianak	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
2	Balikpapan	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
3	Batam	250 x 400	6D19	3D19	2D19	3D19
4	Yogyakarta	250 x 450	7D19	4D19	2D19	3D19
5	Palu	300 x 500	8D19	4D19	2D19	3D19

Tabel 14. Rekapitulasi Penulangan Geser Balok B43 (Arah Melintang)

No	Lokasi	Dimensi	Tumpuan		Lapangan	
			Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	250 x 400	2P10	55	2P10	170
2	Balikpapan	250 x 400	2P10	55	2P10	170
3	Batam	250 x 400	2P10	55	2P10	170
4	Yogyakarta	250 x 450	2P10	55	2P10	170
5	Palu	300 x 500	2P10	50	2P10	200

### Penulangan Kolom



Gambar 4. Kondisi Keruntuhan Seimbang Penampang Kolom Persegi (Sumber : Setiawan, 2016)

$P_u$  diperoleh dari *output* ETABS akibat kombinasi pembebanan maksimum.

Asumsi :

Luas tulangan tekan diambil sebesar  $A_s' = A_s$

Menentukan rasio penulangan:

Luas total tulangan memanjang,  $\rho_g$ , dapat diambil sebesar 1% hingga maksimum 6% dari luas total penampang kolom yang ditinjau.

Menghitung regangan pada tulangan tarik:

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Menentukan lokasi sumbu netral:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a_b = 0,85 \times c_b$$

Periksa tulangan tekan sudah luluh:

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

$$\epsilon_s' = \frac{c_b - d'}{c_b} \times 0,003$$

$$f_s' = 600 \times \frac{c_b - d'}{c_b}$$

Syarat :  $\epsilon_s' > \epsilon_y, f_s' > f_y (f_s' = f_y)$

Menghitung gaya yang bekerja pada penampang kolom:

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a_b \times b$$

$$T = A_s \times f_y$$

$$C_s = A_s' \times (f_s' - 0,85 \times f_c')$$

$$P_b = C_c + C_s - T$$

untuk sengkang persegi,  $\phi = 0,65$

a. Apabila  $P_n > P_b$  maka dikategorikan tipe keruntuhan tekan.

Pada kasus ini regangan pada beton akan mencapai 0,003 sedangkan regangan pada tulangan baja akan kurang dari  $\epsilon_y$ .

Hitung nilai a dan c:

$$a = \frac{P_n}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$c = \frac{a}{0,85} > c_b$$

(jika posisi garis netral melebihi tinggi penampang kolom, maka penampang kolom diperbesar)

$$f_s = 600 \times \frac{d-c}{c} \leq f_y$$

Hitung kembali gaya-gaya yang bekerja pada penampang kolom:

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$C_s = A_s' \times (f_s' - 0,85 \times f_c')$$

(asumsi tulangan tekan sudah luluh)

$$T = A_s \times f_s$$

Hitung  $P_n$ , dengan  $\phi = 0,65$

$$P_n = C_c + C_s - T$$

Cek kekuatan kolom:

$$\phi P_n \geq P_u$$

a. Apabila  $P_n < P_b$  maka dikategorikan tipe keruntuhan tarik.

Pada kasus ini keruntuhan diakibatkan luluhnya tulangan baja dan hancurnya beton pada saat regangan tulangan baja melampaui  $\epsilon_y = f_y/E_s$ .

### Penulangan Geser Kolom

Setiawan (2016), menjelaskan langkah-langkah penulangan geser kolom sebagai berikut:

1.  $V_u$  didapat dari *output* (ETABS)
2.  $V_c = 0,17 \times \left(1 - \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \times b \times d$
3.  $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$
4.  $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$ , tidak diperlukan tulangan geser
5.  $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$ , dibutuhkan tulangan geser minimum
6.  $V_u > \phi V_c$ , hitung kuat geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s \text{ atau}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

Hitung nilai  $V_{c1}$  dan  $V_{c2}$ :

$$V_{c1} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{c2} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_s < V_{c1}, \text{ maka } s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$V_s > V_{c2}$ , maka ukuran penampang harus diperbesar.

7. Kuat geser nominal penampang ( $\phi = 0,75$ )

$$\phi V_c \geq V_u$$

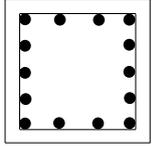
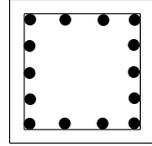
Syarat spasi tulangan geser menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3 sebagai berikut.

$$s < d/4$$

$s < 6$  kali diameter tulangan terkecil

$$s < s_o = 100 + \left[ \frac{350 - \frac{1}{4}h_c}{3} \right]$$

Tabel 15. Penulangan Kolom K15

Kolom K15 (650 X 650)		
Posisi	Sepanjang $l_o$	Diluar $l_o$
K15		
Tulangan pokok	14D21	14D21
Sengkang	2P10-120	2P10-160

Tabel 16. Rekapitulasi Penulangan Lentur Kolom K15

No	Lokasi	Tulangan Lentur	
		Dimensi	n
1	Pontianak	650 x 650	14D21
2	Balikpapan	650 x 650	14D21
3	Batam	650 x 650	14D21
4	Yogyakarta	750 x 750	18D21
5	Palu	800 x 800	20D21

Tabel 17. Rekapitulasi Penulangan Geser Kolom K15

No	Lokasi	Sepanjang $l_o$		Diluar $l_o$	
		Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)
1	Pontianak	2P10	120	2P10	160
2	Balikpapan	2P10	120	2P10	160
3	Batam	2P10	120	2P10	160
4	Yogyakarta	2P10	120	2P10	160
5	Palu	2P10	120	2P10	160

### Perencanaan Hubungan Balok-Kolom (HBK)

Perhitungan hubungan balok kolom (HBK) dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut: Menghitung luas efektif hubungan balok-kolom (HBK):

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.7.4.1, Luas efektif hubungan balok-kolom dinyatakan dalam  $A_j$ , adalah:

$$A_j = 650 \times 650 = 422500 \text{ mm}^2$$

Menghitung gaya-gaya yang bekerja pada balok:

Untuk tulangan 4D19 disisi atas:

$$a = \frac{A_s \times (1,25 \times f_y)}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1134,1149 \times (1,25 \times 400)}{0,85 \times 30 \times 250} = 88,9502 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \times (1,25 \times f_y) \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \times 10^{-6}$$

$$= 1134,1149 \times (1,25 \times 400) \times (290,5 - \frac{88,9502}{2}) \times 10^6$$

$$= 139,5103 \text{ kNm}$$

Untuk tulangan 2D19 disisi bawah:

$$a = 44,4751 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 76,0601 \text{ kNm}$$

Menghitung gaya geser yang bekerja pada join:

$$M_c = DF \times (M_{pr}^- + M_{pr}^+)$$

$$= 0,5 \times (139,5103 + 76,0601)$$

$$= 107,7855 \text{ kNm}$$

Gaya geser kolom sebelah atas:

$$V_{goyangan} = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n}$$

$$= \frac{139,5103 + 76,0601}{3,15}$$

$$= 68,4352 \text{ kN}$$

Menghitung gaya-gaya yang bekerja pada HBK:

Bagian kiri :

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y = 567,0575 \text{ kN}$$

$$C_1 = T_1 = 567,0575 \text{ kN}$$

Bagian kanan :

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y = 283,5288 \text{ kN}$$

$$C_2 = T_2 = 283,5288 \text{ kN}$$

Menghitung keseimbangan gaya dalam arah horizontal:

$$V_j = T_1 + C_2 - V_{goyangan}$$

$$= 567,0575 + 283,5288 - 68,4352$$

$$= 782,1511 \text{ kN}$$

Menghitung kuat geser nominal HBK:

Kuat geser nominal dari HBK yang dikekang keempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j$$

$$= 1,7 \times \sqrt{30} \times 422500$$

$$= 3934,0173 \text{ Kn}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 3934,0173$$

$$= 2950,5130 \text{ kN} > V_j \text{ (OK)}$$

Jadi, dimensi join pada HBK mencukupi.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari hasil pemodelan struktur gedung yang direncanakan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kombinasi pembebanan maksimum untuk Kota Pontianak, Kota Balikpapan dan Kota Batam terdapat pada COMB 2 sedangkan

Kota Yogyakarta dan Kota Palu pada COMB 5.

2. Simpangan antar lantai maksimum didapat 1,6489 mm untuk Kota Pontianak, 5,8982 mm untuk Kota Balikpapan, 6,5890 mm untuk Kota Batam, 20,6784 mm untuk Kota Yogyakarta dan 35,6961 mm untuk Kota Palu.
3. Dimensi penampang balok arah memanjang B12 dan balok arah melintang B43 terjadi perbedaan dan juga jumlah tulangan lentur serta jarak tulangan geser (sengkang) untuk kelima kota.
4. Dimensi penampang kolom K15 untuk kelima kota terjadi perbedaan dikarenakan beban aksial maksimum didapat dari kombinasi pembebanan yang berbeda.
5. Penulangan longitudinal kolom dengan rasio penulangan 1% dari luas penampang mencukupi untuk kelima kota.
6. Jarak tulangan geser (sengkang) kolom untuk kelima kota didapat sama untuk daerah sepanjang  $l_o$  dan diluar  $l_o$ .
7. Penulangan pokok dan susut pada pelat lantai dan pelat atap didapat sama untuk titik yang ditinjau.
8. Dimensi join hubungan balok-kolom (HBK) mencukupi untuk kelima kota.

### Saran

Saran-saran yang dapat diberikan sesuai studi dalam Karya Tulis Ilmiah Sarjana (KTIS) ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu untuk meninjau lokasi perencanaan yang lain dan juga kondisi tanah sehingga dapat diketahui seberapa besar perbedaan dimensi penampang dan tulangan strukturnya.
2. Perencanaan struktur gedung diperlukan ketelitian dan kecermatan yang tinggi sehingga perhitungan yang dihasilkan benar-benar akurat dan sesuai dengan yang diharapkan.
3. Sangat penting memperhitungkan pengaruh gempa pada suatu perencanaan bangunan gedung dan menerapkan pada lokasi yang rawan akan gempa bumi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Asroni Ali. 2010. *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. *Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, SNI 03-1727-1989. Jakarta, Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726:2012. Jakarta, Standar Nasional Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013. Jakarta, Standar Nasional Indonesia.
- Riza, M, M. 2010. *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung dengan ETABS*. Yogyakarta, ARS GROUP.
- Suharjanto. 2013. *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta, Kepel Press.
- Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta, Erlangga.
- Vis W. C & Kusuma Gideon. 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta, Erlangga.