

## Studi Komparasi Detailing Desain Komponen Lentur Struktur Beton Bertulang SRPMK Dan SRPMM

Ridho Aidil Fitrah<sup>1)</sup>, Annisa Prita Melinda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Dharma Andalas, Jl. Sawahan 103 A, Padang  
email: ridho.af@unidha.ac.id

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Padang, Jl Prof Dr Hamka, Air Tawar, Padang  
email: annisaprita@st.unp.ac.id

**Abstract:** *Special Reinforced Concrete Moment Frame (SRCMF) and Intermediate Reinforced Concrete Moment Frame (IRCMF) have clearly different concept of design and structure detailing for inquiring capacity as the earthquake resistant building. However, few of construction designs still did not refer to earthquake's code of SNI 1726-2012 and reinforced concrete's code of SNI 2847:2013. Therefore, many components of structure detailing, especially for reinforced concrete's building, still be the main issue that need further comprehension. This research has the purpose to compare both structural systems, SRCMF and IRCMF, as well as design and detailing of flexural components for office building. Structure was modeled by using SAP2000 v.19 software with spectrum analysis in Padang city and Pekanbaru city. The internal forces from this analysis was used for the design of longitudinal and transversal reinforcement along with cut off point for beam. Based on comparison of these designs, SRCMF and IRCMF, there were many different counts for the number of longitudinal reinforcement in case for resisting positive and negative moment through the beam span, along with the space of the transversal reinforcement, and cut-off point.*

**Abstrak:** *Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus (SPRMK) dan Sistem Pemikul Rangka Momen Menengah (SPRMM) memiliki konsep desain dan detailing struktur yang berbeda untuk mencapai kapasitas sebuah gedung tahan gempa. Namun, beberapa perencanaan konstruksi bangunan masih belum mengacu ke SNI Gempa 1726-2012 dan SNI Beton 2847:2013. Sehingga, detailing komponen struktur khususnya bangunan beton bertulang yang tahan gempa perlu menjadi perhatian khusus. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan desain dan detailing komponen struktur lentur untuk tipe SPRMK dan SPRMM dengan fungsi gedung perkantoran. Permodelan struktur menggunakan software SAP2000 v.19 dengan analisis respons spektra kota Padang dan Pekanbaru. Hasil analisis gaya dalam digunakan untuk mendesain kebutuhan tulangan longitudinal dan transversal serta cut off points pada balok. Berdasarkan hasil komparasi desain struktur SPRMK dan SPRMM, terdapat perbedaan jumlah tulangan longitudinal untuk memikul momen positif dan negatif di sepanjang bentang balok, serta jarak tulangan transversal dan jarak pemutusan tulangan.*

**Keywords:** *Beton Bertulang, Komponen Lentur, SPRMK, SPRMM, Tahan Gempa*

### PENDAHULUAN

Pada dasarnya sebuah konstruksi bangunan harus memenuhi kaidah-kaidah yang berlaku pada perencanaan atau pelaksanaan struktur terutama pada bangunan tahan gempa. Tetapi, banyak perencana ataupun pelaku konstruksi yang masih belum mampu menerapkan kaidah tersebut sehingga banyak kejadian seperti kerusakan struktur akibat gempa khususnya

pada bangunan beton bertulang. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan tersebut adalah detailing komponen struktur yang tidak mengacu pada peraturan. Selain itu, ketidaksesuaian sistem bangunan yang digunakan pada daerah-daerah khususnya rawan gempa (Imran dan Hendrik, 2014).

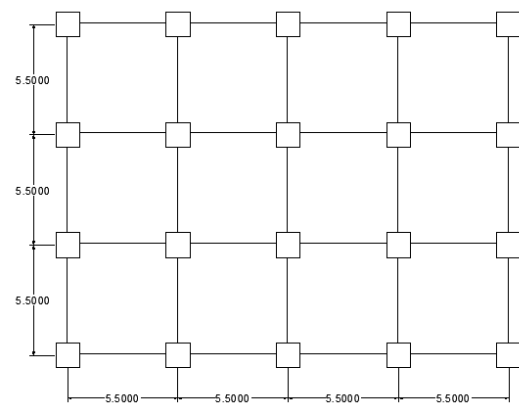
Aspek desain struktur tahan gempa untuk bangunan beton bertulang telah diatur secara umum dalam SNI Gempa 1726-2012

dan SNI Beton 2847:2013. Sistem struktur seperti sistem pemikul rangka momen khusus (SPRMK) dan sistem pemikul rangka momen menengah (SPRMM) merupakan salah satu aspek tersebut. Sistem struktur SPRMK sering digunakan untuk daerah dengan kategori desain seismik D, E, dan F dan juga tingkat daktilitas penuh. Sedangkan sistem struktur SPRMM sering digunakan untuk daerah rawan gempa dengan kategori desain seismik C dan tingkat daktilitas sedang. Hal ini membuktikan bahwa walaupun bangunannya memiliki konfigurasi denah yang sama tetapi perlakuan pembebanan gempa sangat berbeda. Namun dari segi *performance level* struktur, SPRMK memiliki kapasitas yang relatif sama dengan SPRMM (Tajunnisa dkk, 2014). Pada saat analisis kinerja struktur, daktilitas merupakan bagian dari parameter indikasinya. Tetapi, pada beberapa kasus analisis kinerja struktur SPRMK ataupun SPRMM nilai aktual daktilitas sangat sulit didapatkan karena detailing komponen struktur yang tidak rinci (Nadeak dkk, 2016). Dalam SNI Beton, detailing komponen struktur khususnya lentur pada kedua sistem struktur tersebut memiliki beberapa perbedaan. Untuk itu, dalam makalah ini dibahas tentang perbandingan desain dan detailing komponen lentur (tulangan longitudinal, tulangan transversal, *lap splice* dan *cut off points*) struktur untuk kedua sistem tersebut. Struktur yang dimodelkan memiliki fungsi sebagai perkantoran dengan kategori risiko III namun berada pada daerah yang berbeda dengan tanah lunak.

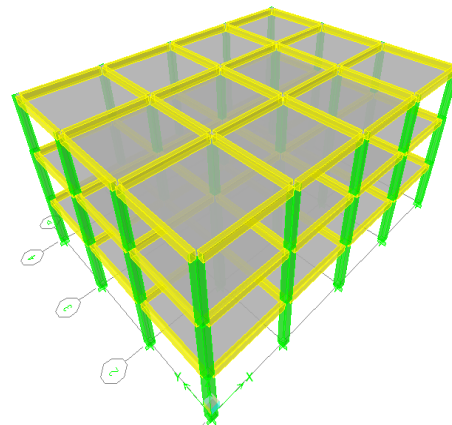
## METODE PENELITIAN

### 1. Layout dan Data Umum Bangunan

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi layout bangunan dengan ukuran 22 m x 16,5 m dengan panjang bentang balok yaitu 5,5 m. Bangunan ini dimodelkan 3 lantai dengan menggunakan SAP2000 v.19 seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Layout Bangunan



Gambar 2. Permodelan Struktur

Tabel 1 menunjukkan data-data umum tentang material beton dan baja tulangan serta hasil *preliminary design* pada balok dan kolom. Mutu beton yang digunakan untuk balok, kolom, dan pelat diasumsikan memiliki kuat tekan ( $f_c'$ ) sebesar 25 MPa. Mutu baja yang digunakan untuk desain tulangan longitudinal adalah 400 MPa dan untuk tulangan transversal (senggang) adalah 240 MPa.

Tabel 1. Data-Data Umum Struktur

Data	SPRMM	SPRMK
Fungsi Gedung	Perkantoran	Perkantoran
Material Beton	Balok : $f_c' = 25$ MPa	Balok : $f_c' = 25$ MPa
	Kolom : $f_c' = 25$ MPa	Kolom : $f_c' = 25$ MPa
	Pelat : $f_c' = 25$ MPa	Pelat : $f_c' = 25$ MPa

Mutu Tulangan	BJTD-40 (fy=400 MPa) BJTD 24 (fy = 240 MPa)	BJTD-40 (fy=400 MPa) BJTD 24 (fy = 240 MPa)
Preliminary Design	Balok : 300 mm x 500 mm  Kolom : 500 mm x 500 mm  Pelat : 12 cm	Balok : 300 mm x 500 mm  Kolom : 500 mm x 500 mm  Pelat : 12 cm

## 2. Perhitungan Kombinasi Pembebanan

Beban-beban seperti beban mati, hidup, dan gempa diperhitungkan dalam bentuk kombinasi pembebanan yang disyaratkan dalam SNI Gempa 03-1726-2012 dan SNI Beton 03-2847-2013 yaitu :

- 1.4 DL
- 1.2 DL + 1.6 LL
- $(1.2 + 0.2 SD_S)DL + LL \pm \rho (1.0 Q_{EX}) \pm \rho (0.3 Q_{EY})$
- $(1.2 + 0.2 SD_S)DL + LL \pm \rho (0.3 Q_{EX}) \pm \rho (1.0 Q_{EY})$
- $(0.9 - 0.2 SD_S)DL \pm \rho (1.0 Q_{EX}) \pm \rho (0.3 Q_{EY})$
- $(0.9 - 0.2 SD_S)DL \pm \rho (0.3 Q_{EX}) \pm \rho (1.0 Q_{EY})$

Dimana :

DL= Beban mati

LL = Beban hidup

$Q_{EX}$ = Beban gempa arah X

$Q_{EY}$ = Beban gempa arah Y

$\rho$ = Faktor redundansi

$SD_S$ = Percepatan Tanah Maksimum

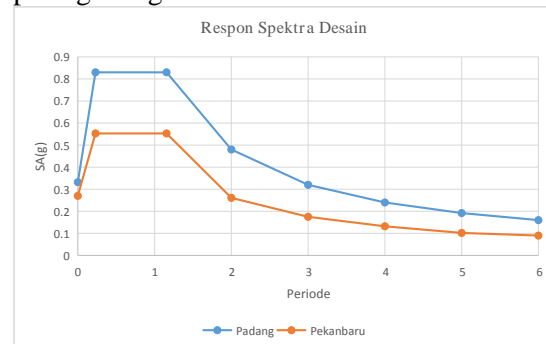
## 3. Perhitungan Pembebanan Gempa

Pengaruh beban gempa pada penelitian ini dianalisis dengan metode respon spektra. Lokasi bangunan dibedakan menjadi dua yaitu di Kota Padang dan Kota Pekanbaru dengan kondisi tanah lunak. Percepatan tanah pada masing-masing kota didesain berdasarkan beberapa parameter seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Percepatan Desain

Parameter	SPRMM	SPRMK
Kategori Risiko Bangunan	III	III
Lokasi	Pekanbaru	Padang
Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )	1,25	1,25
Parameter Percepatan Tanah	$S_S = 0,44g$ $S_1 = 0,27g$	$S_S = 1,38g$ $S_1 = 0,6g$
Klasifikasi Situs	SE	SE
Faktor Koefisien Situs	$F_a = 1,91$ $F_v = 2,91$	$F_a = 0,9$ $F_v = 2,4$
Parameter Percepatan Desain	$S_{DS} = 0,55g$ $S_{D1} = 0,53g$	$S_{DS} = 0,83g$ $S_{D1} = 0,96g$
Kategori Desain Seismik	D	D

Gambar 3 menunjukkan perbandingan respon spektra desain Kota Padang dan Kota Pekanbaru. Hasil perhitungan ini akan diinputkan ke program SAP2000 untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja pada gedung.



Gambar 3. Respon Spektra Kota Padang dan Kota Pekanbaru

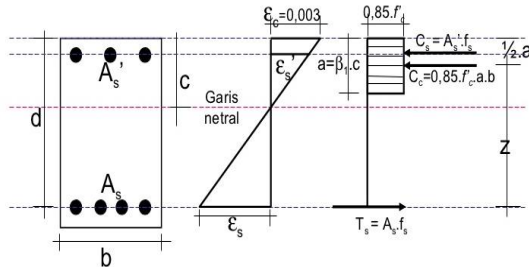
## 4. Kaidah Perencanaan Komponen Lentur

Semua asumsi yang digunakan dalam perencanaan lentur (desain balok) mengacu pada SNI Beton Pasal 10, yang mencakup desain komponen struktur lentur dan aksial. Secara umum, desain elemen struktur lentur harus memenuhi persyaratan :

$$\phi Mn \geq Mu \quad (1)$$

Dimana :

- Mn = Kuat lentur nominal balok
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan
- Mu = Momen ultimate



Gambar 4. Perhitungan Momen Nominal Balok Beton Bertulang

Momen nominal pada persamaan (1) dihitung dengan persamaan :

$$Mn = As f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (2)$$

Dimana :

- As = Luas tulangan tarik atau tekan
- fy = Kuat leleh baja tulangan
- d = Tinggi efektif penampang balok
- a = Tinggi blok tegangan tekan

Perencanaan kuat geser balok secara umum mengacu pada SNI Beton Pasal 11 yang mensyaratkan bahwa desain geser balok harus memenuhi syarat :

$$\phi Vn \geq Vu \quad (3)$$

Dimana :

- Vn = Kuat geser nominal balok
- $\phi$  = Faktor reduksi kekuatan geser
- Vu = Gaya geser ultimate

Nilai Vn pada persamaan (3) merupakan total dari kuat geser beton Vc dan kuat geser yang berasal dari baja tulangan Vs. Nilai Vc dan Vs ditentukan berdasarkan persamaan (11-3) dan persamaan (11-15) SNI Beton, yaitu :

$$Vc = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} . bw . d \quad (4)$$

$$Vs = \frac{As f_y . d}{s} \quad (5)$$

Dimana :

- fc' = Kuat tekan beton
- bw = Lebar balok
- d = Tinggi efektif balok
- Av = Luas penampang tulangan geser

- fy = Kuat leleh baja
- s = Spasi antar tulangan geser

Kaidah standar perencanaan elemen balok terdiri dari persyaratan geometri, persyaratan tulangan lentur dan tulangan transversal (tulangan geser). Kaidah standar perencanaan elemen struktur lentur sistem struktur SRPMM mengacu ke SNI Beton pasal 21.3.1-21.3.4. Sedangkan untuk SPRMK mengacu ke pasal 21.5.1-21.6.1.2. Secara garis besar untuk persyaratan geometri yaitu :

- a. Bentang bersih komponen struktur lentur tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- b. Perbandingan lebar terhadap tinggi komponen struktur lentur tidak boleh kurang dari 0.3
- c. Lebar penampang haruslah :
  - i.  $\geq 25$  mm
  - ii.  $\leq$  lebar kolom ditambah jarak pada setiap sisi kolom yang tidak melebihi tiga per empat tinggi komponen struktur lentur.

Persyaratan tulangan lentur yang perlu diperhatikan pada perencanaan komponen struktur lentur SRPMK, di antaranya adalah :

- a. Masing-masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang disyaratkan yaitu  $(0.25 b_w d \sqrt{f_c'}) / f_y$  atau  $(1.4 b_w d) / f_y$ . 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 batang tulangan bawah.
- b. Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negative dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.

Tulangan transversal pada komponen lentur dibutuhkan terutama untuk menahan geser, mengekang daerah inti penampang beton dan menyediakan tahanan lateral bagi setiap batang tulangan lentur dimana tegangan leleh terbentuk. Hal yang terjadi pada saat gempa kuat terjadi adalah terkelupasnya selimut beton (*spalling*) pada

daerah sekitarnya., maka semua tulangan transversal pada elemen SRPMK harus berbentuk sengkang tertutup. Beberapa persyaratan harus dipenuhi untuk pemasangan tulangan sengkang tertutup di antaranya,

Sengkang tertutup harus dipasang :

- Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan.
- Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang yang berpotensi terbentuk sendi plastis.

Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- enam kali diameter terkecil tulangan memanjang
- 150 mm

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Desain Tulangan Lentur

Hasil dari analisis gaya dalam SAP2000 berupa momen ultimate ( $M_u$ ) digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan lentur di sepanjang bentang balok. Karena pada bangunan satu luasan lantai mempunyai bentang balok yang sama maka balok yang diambil adalah balok interior yang berada di tengah pusat massa gedung pada portal arah-x.

Untuk menghitung kebutuhan tulangan secara detail, ada 5 buah kondisi yang dipertimbangkan akibat adanya goyangan portal arah kiri dan kanan sebagai berikut (Imran dan Hendrik,2014) :

- Kondisi 1, kolom interior kanan, momen negatif tumpuan, goyangan ke kanan.
- Kondisi 2, kolom interior kiri (SPRMK) atau kolom eksterior (SRPMM), momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri. Kebutuhan tulangan lentur untuk kondisi 1 dan 2 relatif sama.
- Kondisi 3, kolom interior kiri (SPRMK) atau kolom eksterior (SRPMM) momen negatif tumpuan, goyangan ke kiri.
- Kondisi 4, kolom interior kanan, momen positif tumpuan, goyangan ke

kiri. Kebutuhan tulangan lentur untuk kondisi 3 dan 4 relatif sama.

- Kondisi 5, tengah bentang momen positif, goyangan ke kanan dan kiri.

### A. SPRMK

Diameter tulangan lentur balok harus dibatasi sehingga dimensi tumpuan (kolom) paralel terhadap tulangan sekurang-kurangnya  $20 d_b$ . Jadi dalam hal ini, diameter maksimum baja tulangan =  $500 \text{ mm} / 20 = 25 \text{ mm}$ . Asumsi awal yang digunakan adalah 5D19 + 2D19 untuk kondisi 1 dan 2, 4D19 untuk kondisi 3 dan 4, serta 4D16 untuk kondisi 5.

Tabel 3. Tulangan Lentur Kondisi 1,2

Diameter (mm)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Jumlah	Luas ( $\text{mm}^2$ )
19	283.53	5	1417.64
19	283.53	2	567.06
TOTAL			1984.70

Tabel 4. Tulangan Lentur Kondisi 3,4

Diameter (mm)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Jumlah	Luas ( $\text{mm}^2$ )
19	283.53	4	1134,12
TOTAL			1134,12

Tabel 5. Tulangan Lentur Kondisi 5

Diameter (mm)	Luas ( $\text{mm}^2$ )	Jumlah	Luas ( $\text{mm}^2$ )
16	201.06	4	804.25
TOTAL			804.25

Tabel 6. Rekapitulasi Momen Nominal Terfaktor dan Momen Ultimate SPRMK



Kon disisi	Lokasi	Mu (kN.m)	$\phi M_n$ (kN.m)
1	Ujung Interior Kanan	227,522 (-)	254,5
2	Ujung Interior Kiri	227,522 (-)	254,5
3	Ujung Interior Kiri (Tengah)	127,3 (+)	156,3
4	Ujung Interior Kanan (Tengah)	127,3 (+)	156,3
5	Tengah Bentang	111,903 (+)	113,9

Pada Tabel 6 telah dijabarkan hasil perhitungan kapasitas nominal berdasarkan asumsi kebutuhan tulangan pada masing-masing kondisi. Perhitungan momen nominal dihitung berdasarkan persamaan (2) dengan asumsi jumlah tulangan pada Tabel 3-5. Faktor reduksi kuat lentur yang digunakan adalah sebesar ( $\phi=0,90$ ). Berdasarkan perbandingannya dengan nilai momen ultimate yang terjadi, maka tulangan lentur dapat digunakan pada penampang balok.

SNI Beton Pasal 21.5.2.1 dan 21.5.2.2 mengharuskan sekurang-kurangnya ada dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah yang dipasang secara menerus, dan kapasitas momen positif dan momen negatif minimum pada sebarang penampang di sepanjang bentang balok SPRMK tidak boleh kurang dari 1/4 kali kapasitas momen maksimum yang disediakan pada kedua muka kolom balok tersebut.

Tabel 7. Tulangan Lentur untuk Momen Negatif-Positif

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
19	283.53	2	567.06
TOTAL			567.06

Kuat momen negatif-positif terbesar pada bentang adalah 254,5 kN.m. Lalu 1/4 kuat momen negatif-positif terbesar 63.625 kN.m. Nilai kapasitas momen nominal  $\phi M_n$  dengan kondisi tulangan pada tabel 7 adalah 81,81

kN.m. Sehingga, mampu untuk menahan momen yang terjadi.

## B. SPRMM

Sama halnya dengan struktur SPRMK, untuk menghitung kebutuhan tulangan juga harus ditinjau berdasarkan 5 kondisi yang sudah dipertimbangkan sebelumnya. Tetapi, pada struktur ini beberapa balok yang berada pada posisi eksterior harus dipertimbangkan pada kondisi 2 dan 3.

Tabel 8. Tulangan Lentur Kondisi 1

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
19	283.53	4	1134,12
TOTAL			1417.64

Tabel 9. Tulangan Lentur Kondisi 2

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
19	283.53	4	1134,12
TOTAL			1134,12

Tabel 10. Tulangan Lentur Kondisi 3

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
16	201.06	3	604,8
TOTAL			604,8

Tabel 11. Tulangan Lentur Kondisi 4

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
16	201.06	3	604,8
TOTAL			604,8

Tabel 12. Tulangan Lentur Kondisi 5

Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
16	201.06	3	604,8
TOTAL			604,8

Tabel 13. Rekapitulasi Momen Nominal Terfaktor dan Momen Ultimate SPRMM

Kon disi	Lokasi	Mu (kN.m)	$\phi M_n$ (kN.m)
1	Ujung Interior Kanan	124,41	156,3
2	Ujung Eksterior Kiri	107,13	156,3
3	Ujung Eksterior Kanan	88,45	96,02
4	Ujung Interior Kiri	83,45	96,02
5	Tengah Bentang	53,75	96,02

Tabel 13 memperlihatkan hasil perhitungan momen ultimate terfaktor yang diambil dari hasil gaya dalam terbesar di kombinasi pembebanan SPRM. Perhitungan momen nominal dihitung berdasarkan persamaan (2) dengan asumsi jumlah tulangan pada Tabel 8-12. Faktor reduksi kuat lentur sebesar ( $\phi=0,90$ ).

Tabel 14. Perbandingan Tulangan SPRMK dan SPRMM

Tipe	Tulangan Longitudinal		
	Interior Kiri	Interior Kanan	Tengah Bentang
SPRM K	5D19 2D19	5D19 2D19	2D19
	4D19	4D19	4D16
	Eksterior	Interior	Tengah Bentang
SPRM M	4D19	4D19	2D19
	3D16	3D16	3D16

Tabel 14 telah memperlihatkan hasil perbandingan kebutuhan tulangan longitudinal untuk struktur SPRMK dan SPRMM. Secara umum, gaya dalam lentur yang terjadi pada bangunan tipe SPRMM hanya membutuhkan satu lapis tulangan. Sedangkan untuk bangunan tipe SPRMK membutuhkan dua lapis tulangan.

## 2. Desain Tulangan Geser

SNI Beton pasal 21.5.4.1 mensyaratkan bahwa geser rencana akibat gempa pada balok dihitung dengan mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok

dengan tegangan lentur balok mencapai 1,25 tegangan lelehnya, dan faktor reduksi kuat lentur  $\phi=1$ . Namun, untuk struktur SPRMM perhitungan tegangan lelehnya tidak perlu dianggap mencapai 1,25 kalinya tetapi faktor reduksi kuat lentur  $\phi=1$ . Sehingga untuk struktur SPRMK perlu dihitung *probable moment capacities* ( $M_{pr}$ ) dan momen nominal struktur SPRMM seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Perbandingan Momen Nominal SPRMK dan SPRMM

SPRMK	<i>Probable Moment Capacities</i> ( $M_{pr}$ )	
	$M_{pr-1,2}$ (kN.m)	$M_{pr-3,4}$ (kN.m)
	338,1	115,23
SPRMM	Momen Nominal	
	$M_{n-1,3}$ (kN.m)	$M_{n-2,4}$ (kN.m)
	(1) 164,526 (3) 106,68	(2) 164,526 (4) 106,68

Nilai momen yang dihitung pada masing-masing struktur akan menjadi total reaksi geser yang terjadi pada balok sesuai dengan kondisi arah goyangan ke kiri ( $V_{sway-l}$ ) dan goyangan ke kanan ( $V_{sway-r}$ ). Perhitungan reaksi geser pada balok dijelaskan pada Tabel 16.

Tabel 16. Perbandingan Gaya Geser SPRMK dan SPRMM

Tipe	Gaya Geser		
	$V_u$ (kN)	$V_{sway-r}$ (kN)	$V_{sway-l}$ (kN)
<u>SPRMK</u>	<u>168,19</u>	<u>90,66</u>	<u>90,66</u>
<u>SPRMM</u>	<u>126,83</u>	<u>59,82</u>	<u>59,82</u>

Tabel 17-19 menjelaskan tentang perhitungan kapasitas geser dengan asumsi tulangan transversal dua kaki diameter 10 dengan jarak yang ditentukan di tumpuan dan lapangan.

Tabel 17. Tulangan Transversal yang Digunakan

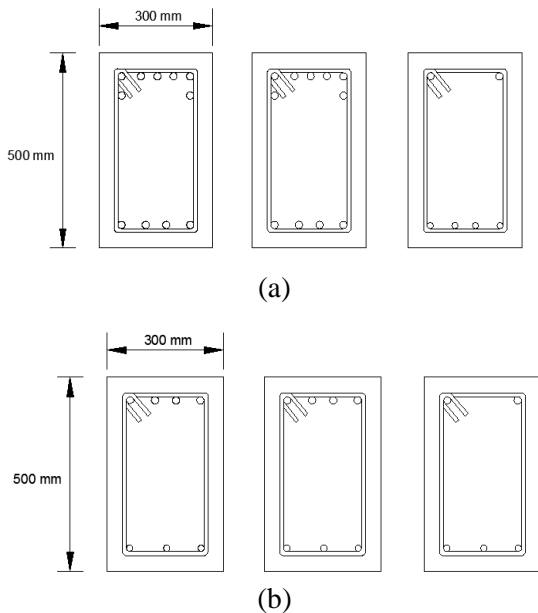
Diameter (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Jumlah	Luas (mm <sup>2</sup> )
10	78.54	2	157.08
TOTAL			157.08

Tabel 18. Jarak Sengkang

Tipe	Jarak Sengkang (s)			
	Tumpuan		Lapangan	
	$\frac{s}{(mm)}$	$\frac{V_s}{(kN)}$	$\frac{s}{(mm)}$	$\frac{V_s}{(kN)}$
SPRMK	100	262,91	150	175,3
SPRMM	150	175,21	200	131,4

Tabel 19. Detail Tulangan Transversal yang Digunakan pada SPRMK dan SPRMM

Tipe	Sengkang	
	Tumpuan	Lapangan
SPRMK	2D10-100	2D10-150
SPRMM	2D10-170	2D10-200



Gambar 5. Detailing Penulangan Lentur dan Geser untuk Balok (a) SPRMK (b) SPRMM

3. Lap Splicing untuk Bentang Menerus

Berdasarkan SNI Pasal 21.5.2.1, untuk SPRMK, sedikitnya harus ada 2 buah baja tulangan yang dibuat kontinu di bagian atas dan bagian bawah penampang. Untuk kasus desain ini sudah terpenuhi, karena tulangan lentur terpasang minimum adalah 2D19, yang dipasang di sisi atas penampang.

Momen di tengah bentang dapat berupa momen positif (tekan) atau momen negatif (tarik) yang relative kecil. Karena baja tulangan yang disediakan di tengah bentang pada dasarnya ditentukan oleh syarat detailing, maka SNI Beton Pasal 7.10.4.5

mengizinkan sambungan lewatan kelas A untuk penyambungannya, dengan panjang penyaluran  $l_d$ , dimana  $l_d=48db$  (Tabel pada pasal 12.2.2 SNI Beton).

Berdasarkan SNI Beton Pasal 21.7.5.2, nilai panjang penyaluran ini tidak boleh kurang dari 3,25 kali panjang tulangan berkait yang dihitung berdasarkan persamaan 21-6, yaitu  $=43,8 db$

Untuk kasus ini, baja tulangan terbesar yang harus disalurkan adalah baja tulangan D19. Jadi  $l_d= 48db= 48 \times 19 = 912 mm$ .

SNI Pasal 21.5.2.3 menyatakan baja tulangan yang disalurkan harus diikat dengan hoops yang dipasang dengan spasi maksimum, yaitu yang terkecil di antara  $d/4$  dan  $100 mm$ .  $d/4= 418,5 mm/4=104,625 mm$ . Jadi, spasi hoops di daerah penyambungan lewatan tulangan =  $100 mm$ .

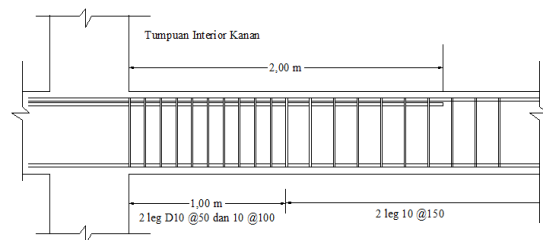
4. Cut Off Points

SNI Beton Pasal 12.12.3 mengharuskan setidaknya 1/3 tulangan tarik momen negatif pada tumpuan harus ditanam melewati titik belok tidak kurang dari  $d$ ,  $13db$ , atau  $l_n/16$ .

Untuk struktur SPRMK, bagian yang ditinjau adalah tumpuan interior kanan. Tulangan 5D19+2D19 harus ditanam sepanjang yang terbesar di antara :

1.  $1570 mm + 418,5 mm$  ( $d$  untuk penampang di luar zona sendi plastis)  $=1988,5 mm = 2000 mm$ .
2.  $1570 mm+(12 \times 19mm) = 1798 mm = 1800 mm$ .
3.  $l_d = 950 mm$  dari muka kolom interior, atau
4.  $1570 mm + l_n/16 = 1570 + 950/16=1630 mm$ .

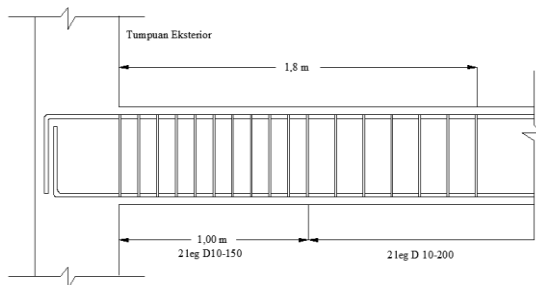
Dengan demikian, tulangan 5D19+ 2D19 ditanamkan sejauh 2 m dari muka kolom interior kanan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa Penulangan Lentur dan Geser untuk Balok Interior Kanan SPRMK



Untuk struktur SPRMM, bagian yang ditinjau adalah eksterior kanan. Tulangan 4D19 dipasang sejauh 850 mm + 418,5 mm = 1268,5 mm atau 1300 mm dari muka kolom eksterior. Dengan mempertimbangkan titik belok di sisi tumpuan eksterior yang berada pada posisi 1350 mm maka tulangan 4D19 harus ditanam sejauh 1350 mm + 418,5 mm = 1768,5 mm atau 1800 mm seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Sketsa Penulangan Lentur dan Geser untuk Balok Eksterior SPRMM)

### SIMPULAN

Hasil komparasi desain dan detailing komponen lentur antara struktur SPRMK dan SPRMM dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada struktur SPRMK, untuk memikul momen negatif di muka kolom interior kanan, dipasang tulangan 5D19+2D19, dua lapis, dengan spasi bersih antarlapis 2,5 cm. Sedangkan untuk struktur SPRMM dipasang tulangan 4D19, satu lapis.
2. Pada struktur SPRMK, untuk memikul momen positif di muka kolom interior kanan, dipasang tulangan 4D19, satu lapis. Sedangkan untuk struktur SPRMM pada muka kolom eksterior kanan dipasang tulangan 3D16.
3. Pada struktur SPRMK, untuk memikul momen positif di tengah bentang dipasang 4D16 satu lapis. Sedangkan untuk struktur SPRMM dipasang 3D16 satu lapis.
4. Pada struktur SPRMK, untuk memenuhi persyaratan kuat momen minimum penampang di sepanjang balok, khususnya momen negatif, tulangan atas 2D19 diteruskan disepanjang balok untuk memenuhi kebutuhan momen negatif di tengah

bentang. Hal yang sama juga dilakukan untuk struktur SPRMM.

5. Untuk memikul geser di masing-masing zona sendi plastis, dipasang sengkang tertutup 2 kaki D10 dengan spasi 50 mm untuk sengkang pertama, dan 2 kaki D10 dengan spasi 100 mm untuk sengkang berikutnya. Sedangkan untuk struktur SPRMM sengkang tertutup 2 kaki D10 dipasang dengan spasi 170 mm.
6. Untuk memikul geser di luar zona sendi plastis, dipasang tulangan sengkang 2 kaki D10 dengan spasi 150 mm. Untuk daerah sambungan lewatan, dipasang sengkang tertutup 2 kaki D10 dengan spasi 100 mm. Sedangkan untuk struktur SPRMM sengkang tertutup 2 kaki D10 dipasang dengan spasi 200 mm.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh dosen di program studi Teknik Sipil Universitas Dharma Andalas yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan makalah ini. Serta ucapan terima kasih kepada Annisa Prita Melinda S.T,M.T yang telah membantu beberapa bagian penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2013.SNI 2847:2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. BSN, Jakarta : Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2012.SNI 1726:2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. BSN, Jakarta : Indonesia.
- Imran, I., dan Hendrik, F .2014. *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. ITB, Bandung : Indonesia.
- Nadeak, L . Suyadi. Widyawati, R. 2016. *Analisis Desain Gedung Whiz Hotel Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*. JRSDD. Vol.1, No. 1. Hal 481-490.
- Tajunnisa, Y. Chadafi, M. Rahmadhaniawan, V. 2014. *Perbandingan Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Tahan Gempa antara*

Metode SPRMM dan SPRMK. Jurnal  
Aplikasi. Vol 12. No. 1. Hal 1-16.