

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
MENGUNAKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS
(Studi Kasus : Hotel Fox Harris Lite di Jln. S.Parman, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur)**

Imelda Budiarty¹⁾, Ery Budiman²⁾, Budi Haryanto³⁾

¹Program Studi S1Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail:imeldabudiarty10@gmail.com

²Program Studi S1Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

e-mail:ery_budi@yahoo.com

³Program Studi S1Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

e-mail: haryb7951@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap kejadian gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia diapit oleh tiga buah lempeng tektonik utama dunia yang ketiganya saling bertemu untuk membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Dengan kondisi yang ada menyebabkan pulau-pulau di Indonesia masing-masing memiliki potensi kejadian gempa, salah satunya Pulau Kalimantan khususnya Kalimantan Timur. Dengan potensi yang ada, maka perlunya perencanaan struktur yang sesuai dengan tingkat kerawanan gempa di wilayah Kalimantan Timur agar dapat mengurangi dampak buruk akibat dari gempa bumi. Pemilihan sistem struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam merencanakan struktur tahan gempa.

Perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan struktur gedung yang tahan terhadap beban gempa yang akan diterima oleh struktur dengan menggunakan sistem struktur rangka pemikul momen khusus dan mengacu pada persyaratan yang berlaku sesuai dengan SNI 03-2847 Tahun 2019. Konsep dari sistem rangka pemikul momen khusus ini adalah Strong Column-Weak Beam yaitu kolom dirancang memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan balok, dengan harapan pada saat terkena beban gempa sendi plastis terbentuk diujung-ujung balok.

Hasil dari perencanaan struktur menggunakan SRPMK yaitu jumlah tulangan yang dibutuhkan pada perencanaan balok dengan dimensi 500 x 700 mm sebanyak 4D22 pada daerah tumpuan balok, 3D22 pada daerah lapangan balok, dengan jumlah sengkang 3D10 dan jarak 80 mm pada daerah tumpuan, 3D10 jarak 100 mm pada daerah lapangan. Sedangkan pada kolom dengan dimensi 700 x 700 mm diperoleh tulangan longitudinal sebanyak 16D22 dan sengkang sebanyak 6D10 dengan jarak 100 mm pada daerah tumpuan dan 6D10 dengan jarak 125 mm pada daerah lapangan. Dan pada joint atau hubungan balok kolom diperoleh tulangan sebanyak 6D22.

Kata Kunci : SRPMK, Struktur Tahan Gempa, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, *Strong Column-Weak Beam*

ABSTRACT

Indonesia is a country that is prone to earthquakes. This is because Indonesia is flanked by three of the world's main tectonic plates, all of which meet each other to form complex plate encounter paths. With the existing conditions, each of the islands in Indonesia has the potential for earthquakes, one of which is

Kalimantan Island, especially East Kalimantan. With the existing potential, it is necessary to design structures that are in accordance with the level of earthquake vulnerability in the East Kalimantan region in order to reduce the adverse effects of earthquakes. The selection of a special moment resisting frame structure system (SRPMK) is one method that can be used in planning earthquake-resistant structures.

This plan aims to plan a building structure that is resistant to earthquake loads that will be received by the structure by using a special moment resisting frame structure system and referring to the applicable requirements in accordance with SNI 03-2847:2019. The concept of this special moment resisting frame system is Strong Column-Weak Beam, namely the column is designed to have greater strength than the beam, with the hope that when exposed to earthquake loads, plastic hinges are formed at the ends of the beam.

The results of structural planning using SRPMK are the amount of reinforcement needed in the planning of beams with dimensions of 500 x 700 mm as much as 4D22 in the beam support area, 3D22 in the beam field area, with the number of 3D10 stirrups and a distance of 80 mm in the support area, 3D10 with a distance of 100 mm at the field area. While the column with dimensions of 700 x 700 mm obtained 16D22 longitudinal reinforcement and 6D10 stirrups with a distance of 100 mm at the support area and 6D10 with a distance of 125 mm in the field area. And at the joint or beam-column relationship, reinforcement is obtained as much as 6D22.

Keywords: SRPMK, Earthquake Resistant Structure, Special Momen Bearing Frame System, Strong Column-WeakBeam.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Seiring dengan banyaknya kejadian gempa bumi, Standar Nasional Indonesia 1726 tahun 2019 membagi kategori desain seismik di wilayah Indonesia menjadi tiga kategori yaitu kategori rendah untuk wilayah dengan kategori desain seismik A dan B, kategori sedang untuk wilayah dengan kategori desain seismik C, dan kategori tinggi untuk wilayah dengan kategori desain seismik D,E dan F. Namun meskipun wilayah Indonesia tergolong rawan terhadap kejadian gempa bumi, ada beberapa pulau di Indonesia yang berpotensi kecil mengalami gempa bumi, yaitu Pulau Kalimantan yang berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 berada pada kategori desain seismik rendah karena terletak pada zona 2 gempa yang memiliki resiko gempa rendah dimana percepatan gravitasinya hanya sekitar 0,1 gravitasi (0,1 g).

Meskipun pulau Kalimantan memiliki potensi yang kecil terhadap kejadian gempa bumi, menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2019, khususnya

Kalimantan Timur tidak sepenuhnya aman dari risiko gempa. Hal ini dikarenakan Kalimantan Timur diapit oleh tiga buah sesar yang hingga saat ini masih memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi dan membentuk klaster sebaran pusat gempa yang berarah barat sampai timur sehingga dapat menjadi sumber gempa. Ketiga sesar tersebut yaitu: Sesar Maratua di Kabupaten Berau, Sesar Mangkalihat di Kabupaten Kutai Timur, dan Sesar Paternostes di Kabupaten Paser.

Mengingat adanya potensi kejadian gempa, maka perlunya perencanaan struktur tahan gempa yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia dengan memperhatikan prinsip dari perencanaan struktur agar menghasilkan suatu bangunan yang aman dan kuat dalam menahan beban dan gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi itu sendiri, sistem rangka pemikul momen merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam perencanaan maupun analisis gedung bertingkat tahan gempa. Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019, sistem rangka pemikul momen merupakan suatu sistem struktur yang pada dasarnya

memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari perencanaan ini yaitu:

1. Bagaimana hasil analisis perhitungan struktur Hotel *Fox Lite* menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan bagaimana gambar detail dari hasil perhitungan struktur tersebut?
2. Bagaimana kekuatan struktur yang direncanakan ulang apakah sudah memenuhi persyaratan kolom kuat balok lemah?

Tujuan Penelitian

1. Untuk memperoleh hasil analisis perhitungan struktur gedung Hotel *Fox Lite* dengan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan menghasilkan gambar detail tulangan dari hasil perhitungan struktur tersebut
2. Untuk mengetahui apakah struktur yang direncanakan kembali sudah memenuhi persyaratan kolom kuat balok lemah dan mampu menahan gaya geser akibat beban gempa yang terjadi.

LANDASAN TEORI

Prinsip Dasar Perencanaan Struktur Tahan Gempa

prinsip-prinsip dasar dalam perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa yaitu sebagai berikut :

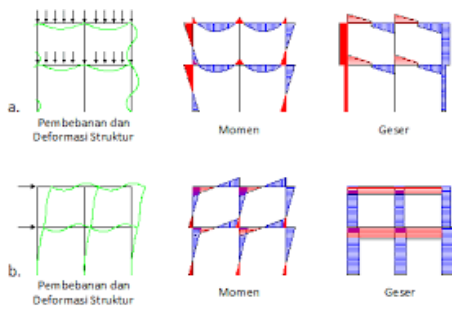
1. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan tingkat kerawanan (risiko) daerah tempat struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa.
2. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan.
3. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
4. Material beton dan baja tulangan yang digunakan harus memenuhi persyaratan

material konstruksi untuk struktur bangunan tahan gempa.

5. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki massa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
6. Metode pelaksanaan, sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku

Sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 03-2847-2019, salah satu sistem struktur dasar yang mampu menahan beban lateral secara umum yaitu sistem rangka pemikul momen. Sistem rangka pemikul momen merupakan sistem rangka ruang dalam di mana komponen-komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya dalam yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial. Selain itu, berdasarkan SNI 03-1726-2019 bahwa sistem rangka pemikul momen merupakan sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Pada saat gempa terjadi rangka pemikul momen harus berperilaku sebagai rangka daktail agar integritasnya tetap terjaga sehingga bangunan terhindar dari kemungkinan mengalami roboh dengan seketika. Perilaku daktail ini hanya dapat dicapai apabila pada saat terbentuknya sendi-sendi plastis pada balok mampu mentransfer efek beban lateral gempa tanpa kehilangan kekuatan dan kekakuannya. Perilaku sistem rangka pemikul momen dalam memikul beban lateral akibat gempa pada dasarnya berbeda dengan perilakunya dalam menahan beban gravitasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar berikut ini..



Gambar 1. Respon SRPM a) saat terkena beban gravitasi b) saat terkena beban lateral

Sistem rangka pemikul momen di dalam SNI 03-2847-2019 terbagi atas tiga macam yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

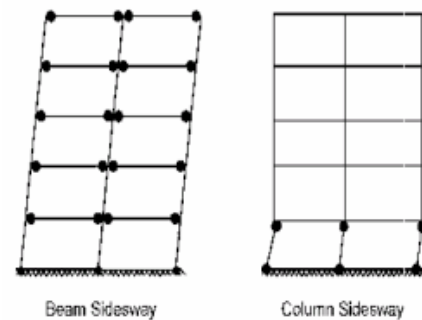
Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) merupakan sistem rangka yang memiliki tingkat daktilitas penuh, dan biasanya digunakan pada perencanaan gedung yang termasuk dalam kategori desain seismik D, E dan F dengan tingkat keempaan tinggi.

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dirancang dengan menggunakan konsep Strong Column Weak Beam atau Kolom Kuat Balok Lemah yang merupakan salah satu inovasi desain struktur dengan cara membuat sistem struktur yang fleksibel yang mampu berdeformasi saat terjadi gempa karena memiliki daktilitas yang tinggi.

Daktilitas adalah kemampuan gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelepasan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Struktur dengan daktilitas tertentu akan memungkinkan terjadinya sendi plastis secara bertahap pada elemen-elemen struktur yang telah ditentukan.

Dengan terbentuknya sendi plastik pada struktur, maka struktur akan mampu menahan beban

gempa yang besar tanpa memberikan kekuatan berlebihan pada elemen struktur karena energi kinetik akibat gerakan tanah yang diterima akan diserap oleh sendi plastis tersebut. Semakin banyak sendi plastis yang terjadi pada struktur maka semakin banyak pula energi yang diserap oleh struktur. Agar struktur gedung memiliki daktilitas yang tinggi, maka harus direncanakan sendi plastis yang terjadi berada pada balok-balok dan bukan terjadi pada kolom seperti pada **Gambar 2**, kecuali pada kaki kolom paling bawah dan bagian atas kolom penyangga atap.

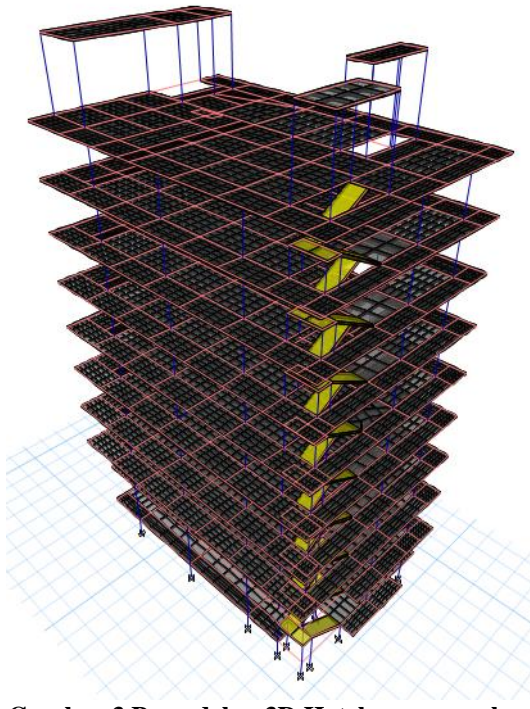


Gambar 2. Mekanisme Plastifikasi Rangka (a) sendi plastis terjadi pada ujung balok (b) sendi plastis terjadi pada kolom

METODOLOGI PENELITIAN

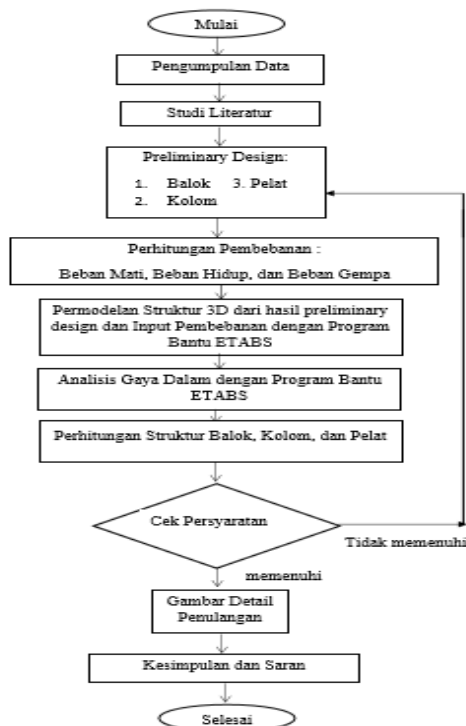
Penelitian ini dilakukan pada gedung baru yang sedang dalam proses pembangunan. Struktur gedung beton bertulang yang terdiri dari 10 Lantai. Lokasi gedung terletak di Kota Samarinda dengan wilayah gempa II yang berdiri pada kondisi tanah lunak (SE).

Adapun gambar pemodelan dari gedung yang akan direncanakan seperti pada **Gambar 3** berikut.



Gambar 3 Pemodelan 3D Hotel menggunakan ETABS V.18

Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam perencanaan ini yaitu seperti pada **Gambar 4** berikut.



Gambar 4 Diagram Alir Perencanaan

Adapun standar-standar yang digunakan dalam perencanaan ini adalah peraturan-peraturan yang berlaku Indonesia meliputi:

1. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)
2. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847: 2019)
3. Tata Cara Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SNI 1727- 2013)
4. Pedoman Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987)
5. Buku Peta Gempa Tahun 2017

HASIL DAN ANALISIS

Preliminary Design

Tahap pertama dalam perencanaan kembali struktur gedung Hotel *Fox Harris Lite* di Samarinda ini yaitu merencanakan dimensi elemen struktur (*preliminary design*). Adapun dimensi elemen struktur yang direncanakan yaitu balok, kolom, dan pelat berdasarkan SNI 03 - 2847 - 2019.

Dari hasil *Preliminary Design* diperoleh dimensi penampang balok yaitu 500 x 700 mm, dimensi penampang kolom 700 x 700 mm, dan pelat setebal 150 mm.

Kombinasi Beban

Adapun beban-beban bekerja yang diperhitungkan pada perencanaan ini yaitu beban hidup, beban mati, beban mati tambahan dan beban gempa yang dikombinasikan menjadi kombinasi beban seperti pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Kombinasi beban

Kombinasi Beban							
Nomor	Pasal 4.2.2.3	D	SIDL	L	R	Ex	Ey
1	1.1		1,4	1,4			
2	2.1		1,2	1,2	1,6	0,5	
5	5.1	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		0,39
	5.2	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		-1,3
	5.3	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		-0,39
	5.4	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		-0,39
	5.5	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		1,3
	5.6	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		-1,3
	5.7	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		1,3
	5.8	1.2+0.2 S _{Dns}	1,237	1,237	1		-1,3
7	7.1	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			0,39
	7.2	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			-1,3
	7.3	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			-0,39
	7.4	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			-1,3
	7.5	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			1,3
	7.6	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			-1,3
	7.7	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			1,3
	7.8	0.9-0.2 S _{Dns}	0,863	0,863			-1,3

Nilai 0,39 dan 1,3 pada tabel di atas diambil berdasarkan arah getaran gempa yang terjadi. Pada SNI 03-1726 Tahun 2019, jika arah getaran gempa pada arah x terjadi sebesar 100% maka pada arah y juga akan mengalami pergerakan walaupun sedikit, dan pergerakan itu dianggap sebesar 30%. 1,3 merupakan besarnya faktor redundansi, ρ yang ditentukan berdasarkan

3. Penentuan Kelas Situs

Dalam menentukan kelas situs atau klasifikasi situs diperlukan data tanah dari hasil pengukuran dengan *Standart Penetration Test Resistence* (Uji SPT), yang kemudian digunakan untuk mencari nilai tahanan penetrasi rata-rata hingga di kedalaman 30 meter. **Tabel 2** merupakan perhitungan nilai tahanan penetrasi rata-rata tanah untuk menentuka kelas situs

Tabel 2 Nilai tahanan penetrasi rata-rata tanah

No	Kedalaman (m)	Nilai N SPT	Tebal (m)	N = tebal/NSPT	N = 30/ΣN
1	2	1	2	2	2,34375
2	4	1	2	2	
3	6	2	2	1	
4	8	2	2	1	
5	10	2	2	1	
6	12	2	2	1	
7	14	3	2	0,667	
8	16	3	2	0,667	
9	18	3	2	0,667	
10	20	4	2	0,5	
11	22	4	2	0,5	
12	24	4	2	0,5	
13	6	4	2	0,5	
14	28	5	2	0,4	
15	30	5	2	0,4	
Jumlah				12,8	

Dari tabel di atas diperoleh nilai tahanan rata-rata, $\bar{N} = 2,34375$ yang menunjukkan bahwa kelas situs berada pada tanah lunak (SE)

4. Penentuan Parameter Pergerakan Tanah

a. Nilai Fa dan Fv

kategori desain seismik wilayah yang direncanakan.

Analisis Beban Gempa

Adapun langkah-langkah perhitungan beban gempa adalah sebagai berikut:

1. Nilai Faktor Keutamaan Gempa

Pemanfaatannya sebagai bangunan hotel berdasarkan tabel SNI 1726:2019 struktur gedung dapat dikategorikan ke dalam struktur dengan kategori risiko gempa II dengan faktor keutamaan gempa Ie struktur = 1,0

2. Tentukan Parameter Ss dan S1

Berdasarkan aplikasi desain spektra Indonesia didapatkan nilai :

Percepatan batuan dasar periode 1 detik (S1) = 0,0949 g

Percepatan batuan dasar periode 0,2 detik, (Ss) = 0,1152 g

Faktor amplifikasi terdiri dari faktor amplifikasi percepatan pada periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan periode 1 detik (Fv). Berdasarkan Tabel 6 dan 7 SNI 1726:2019 diperoleh nilai koefisien situs masing-masing berdasarkan nilai S_S dan S₁ adalah :

$$F_a = 2,4$$

$$F_v = 4,2$$

b. Nilai SMS dan SM1

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 2,4 \times 0,1152 = 0,2765 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

$$S_{M1} = 4,2 \times 0,0949 = 0,399 \text{ g}$$

c. Nilai SDS dan SD1

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

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,2765 = 0,18432 \text{ g}$$

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,399 = 0,26572 \text{ g}$$

d. Nilai T₀, T₁ dan T_l

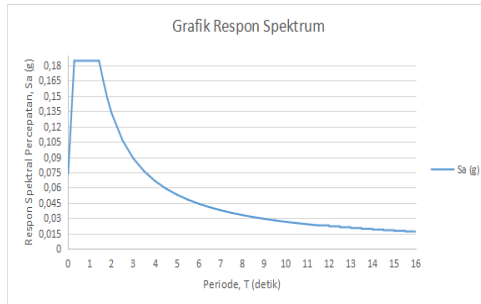
$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,26572}{0,18432} =$$

$$0,28 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,26572}{0,18432} = 1,42 \text{ detik}$$

$$T_l = 16 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan di atas digunakan untuk membuat grafik respon spektrum seperti pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Grafik respon spektrum

- e. Berdasarkan SNI 1726:2019 dengan nilai $S_{DS} = 0,18432$ maka kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan pada periode pendek adalah KDS B. Sedangkan nilai $S_{D1} = 0,26572$ maka kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan pada periode 1 detik adalah KDS D.

5. Analisis Beban Gempa Statik Ekuivalen

a. Sistem dan Parameter Struktur

Besarnya nilai parameter struktur penahan gaya gempa berbeda-beda bergantung dari sistem penahan yang digunakan oleh struktur. Parameter-parameter tersebut meliputi R (*Response Modification Coefficient*), C_d (*Deflection Amplification Factor*) dan Ω_0 (*System Overstrength Factor*). Dalam analisis ini sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sehingga berdasarkan SNI 03-1726 Tahun 2019 nilai parameter struktur yang sesuai dengan sistem struktur yang digunakan yaitu:

$$\begin{aligned} R &= 8 \\ C_d &= 3 \\ \Omega_0 &= 5,5 \end{aligned}$$

b. Berat Struktur Per Lantai

Berat struktur per lantai diperoleh melalui analisis program bantu ETABS seperti pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3 Berat Struktur per lantai

Story	Mass X kg
Atap	70102,41
lantai RF	335671,01
lantai 10	362867,8
lantai 9	354058,85
lantai 8	354058,85
lantai 7	353833,63
lantai 6	356318,45
lantai 5	354659,78
lantai 3	356812,93
lantai 2	289030,64
lantai 1	414803,64
Total	3602217,99

c. Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 7.9.1.1 perhitungan respon dinamik struktur harus dibuat hingga menghasilkan partisipasi massa lebih besar dari 90% massa total struktur. **Tabel 4** merupakan tabel partisipasi massa melalui hasil analisis ETABS

Tabel 4. Rasio partisipasi massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
Case	Mode	Period sec	UX	UY	RZ
Modal	1	1,999	0,0771	0,6694	0,0305
Modal	2	1,984	0,4865	0,1118	0,1604
Modal	3	1,457	0,1952	0	0,5917
Modal	4	0,64	0,0063	0,0829	0,0016
Modal	5	0,63	0,0726	0,006	0,0231
Modal	6	0,469	0,0234	0,00001773	0,0659
Modal	7	0,36	0,0009	0,0259	0,00002925
Modal	8	0,351	0,022	0,0006	0,0082
Modal	9	0,265	0,0055	0,0002	0,0198
Modal	10	0,257	0,0005	0,0118	0,001
Modal	11	0,246	0,0136	0,000002314	0,003
Modal	12	0,204	0,0002	0,0049	0,0001
Modal	13	0,2	0,00002677	0,0041	0,0001
Modal	14	0,191	0,0034	0,000004644	0,0081
Modal	15	0,184	0,0087	0,0003	0,0036
Modal	16	0,178	0	0,0001	0,0005
Modal	17	0,172	0,00002558	0,0026	0,000003626
Modal	18	0,171	0,00001079	0,00001586	0,00001709
Total			92%	92%	92%

d. Waktu Getar AlamI Struktur, T

periode fundamental struktur harus ditentukan menggunakan persamaan seperti berikut ini:

$$T_a = C_T \times h_n^x$$

$$T_a = 0,0466 \times 38,65^{0,9} = 1,24974 \text{ s}$$

Sedangkan untuk batas atas dari periode struktur tersebut dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = C_u \times T_a$$

$$T = 1,5 \times 1,24974 = 1,87461 \text{ s}$$

Nilai C_u diperoleh dari hasil interpolasi dengan bergantung pada besarnya nilai S_{DS} . Berdasarkan SNI 1726 Tahun 2019 Pasal 7.9.4.1, periode fundamental struktur (T) yang digunakan harus ditinjau melalui syarat:

- Jika $T_c > C_u \times T_a$, maka digunakan $T = C_u \times T_a$
- Jika $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$, maka digunakan $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$, maka digunakan $T = T_a$

Dari hasil analisis program ETABS diperoleh nilai $T_c = 1,984$ s untuk arah x dan $T_c = 1,999$ s untuk arah y, $T_a = 1,24974$ s dan $C_u \cdot T_a = 1,87461$ s. Karena $T_c > C_u \times T_a$ maka periode fundamental struktur yang digunakan adalah $T = C_u \times T_a = 1,87461$ s.

e. Koefisien Respon Seismik

Koefisien respon seismik, C_s dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,18432}{8/1} = 0,02304$$

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi nilai yang diperoleh dari persamaan:

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,25675}{1,87461\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,01772$$

Dan C_s tidak boleh kurang dari nilai yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$C_{s2} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,044 \times 0,18432 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_{s2} = 0,00811 \geq 0,01$$

Kontrol Syarat:

$C_s = 0,02304$ tidak perlu melebihi $C_{s1} = 0,01772$, maka digunakan C_{s1}

$C_s = 0,02304$ tidak boleh kurang dari $C_{s2} = 0,00811 \geq 0,01$, maka digunakan C_{s1}

Maka nilai C_s yang digunakan pada perhitungan selanjutnya adalah $C_s = 0,01772$ s

f. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,01772 \times 3602217,99$$

$$V = 63825,24983 \text{ kg}$$

$$V = 625,91189 \text{ kN}$$

g. Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya lateral di tiap-tiap lantai dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5 Gaya Lateral ekuivalen dan gaya geser ekuivalen

Lantai ke -	hi (m)	wi (kg)	k	Wi x hi ^k (kg.m)	Cvx	Fx (kN)	Vx (kN)
Atap	38.65	70102,41		33399576	0,0598	37,415	37,41
lantai RF	33.9	335671,01		128182891	0,2294	143,592	181,01
lantai 10	30.2	362867,8		114018175	0,2041	127,725	308,73
lantai 9	26.5	354058,85		89233469	0,1597	99,960	408,69
lantai 8	22.8	354058,85		69235374	0,1239	77,558	486,25
lantai 7	19.1	353833,63	1,69	51321024	0,0919	57,490	543,74
lantai 6	15.4	356318,45		35937677	0,0643	40,258	584,00
lantai 5	11.7	354659,78		22499306	0,0403	25,204	609,20
lantai 3	8	356812,93		11918741	0,0213	13,352	622,55
lantai 2	4	289030,64		2997808	0,0054	3,358	625,91
lantai 1	0	414803,64		0	0	0	625,91
		3602217,99		558744039	1	625,91	

h. Kontrol Akhir Base Shear

Nilai base shear diperoleh dari analisis menggunakan program bantu ETABS V.18 seperti pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Nilai base shear

TABLE: Base Reactions		
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Statik Arah X	-625,91	0
Statik Arah Y	0	-625,91
Respon Spektrum X	575,78	24,831
Respon Spektrum Y	22,842	690,34

Selanjutnya dilakukan kontrol arah X dan Y :

- Gempa arah X

$$V_{dinamik} \geq 100\% V_{statik}$$

$$575,78 \geq 100\% \times 625,91$$

$$575,78 < 625,91 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

- Gempa arah Y

$$V_{dinamik} \geq 100\% V_{statik}$$

$$690,34 \geq 100\% \times 625,91$$

$$690,349697 > 625,91 \text{ (Memenuhi)}$$

jika gaya geser dasar hasil analisis < 100% gaya geser dasar statik, maka harus diperbesar dengan faktor skala arah X sebagai berikut.

$$Scale = \frac{V_{100\%Statik}}{V_{dinamik}} = \frac{625,912}{575,78} = 1,08$$

$$Scale \text{ factor koreksi} = 1,08 \times \left(\frac{g}{R}\right)_{I_e}$$

$$Scale \text{ factor koreksi} = 1,08 \times \left(\frac{9,80665}{8/1}\right)$$

Sf koreksi = 1,08 x 1225,83 = 1332,5
Setelah memperoleh faktor skala koreksi, melalui analisis program ETABS diperoleh nilai gaya geser dasar seperti pada **Tabel 7** Di bawah ini.

Tabel 7 Nilai akhir base shear

TABLE: Base Reactions		
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Statik Arah X	-625,91	0
Statik Arah Y	0	-625,91
Respon Spektrum X	625,91	24,831
Respon Spektrum Y	22,842	690,34

6. Kontrol Simpangan Antar Lantai
Pada **Tabel 8 dan 9** menunjukkan besarnya simpangan antar lantai yang terjadi pada struktur.

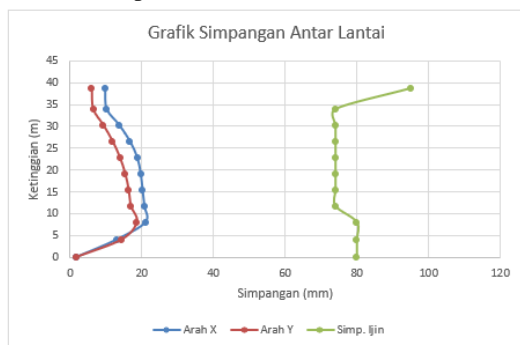
Tabel 8 Simpangan antar lantai arah x

Lantai	Elevasi	Delta Total	Delta xe	Cd	Delta x	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
		mm	mm		mm	mm	mm	
Atap	38,65	30,478	1,79	5,5	9,845	4750	95	OK
RF	33,9	28,688	1,872	5,5	10,296	3700	74	OK
10	30,2	26,816	2,518	5,5	13,849	3700	74	OK
9	26,5	24,298	3,06	5,5	16,83	3700	74	OK
8	22,8	21,238	3,442	5,5	18,931	3700	74	OK
7	19,1	17,796	3,689	5,5	20,2895	3700	74	OK
6	15,4	14,107	3,806	5,5	20,933	3700	74	OK
5	11,7	10,301	3,803	5,5	20,9165	3700	74	OK
3	8	6,498	3,834	5,5	21,087	4000	80	OK
2	4	2,664	2,355	5,5	12,9525	4000	80	OK
1	0	0,309	0,309	5,5	1,6995	4000	80	OK

Tabel 9 Simpangan antar lantai arah y

Lantai	Elevasi	Delta Total	Delta ye	Cd	Delta y	Tinggi Tingkat	Delta Izin	Cek
		mm	mm		mm	mm	mm	
Atap	38,65	23,803	1,107	5,5	6,0885	4750	95	OK
RF	33,9	22,696	1,18	5,5	6,49	3700	74	OK
10	30,2	21,516	1,696	5,5	9,328	3700	74	OK
9	26,5	19,82	2,163	5,5	11,8965	3700	74	OK
8	22,8	17,657	2,528	5,5	13,904	3700	74	OK
7	19,1	15,129	2,795	5,5	15,3725	3700	74	OK
6	15,4	12,334	2,974	5,5	16,357	3700	74	OK
5	11,7	9,36	3,081	5,5	16,9455	3700	74	OK
3	8	6,279	3,378	5,5	18,579	4000	80	OK
2	4	2,901	2,588	5,5	14,234	4000	80	OK
1	0	0,313	0,313	5,5	1,7215	4000	80	OK

Adapun grafik simpangan antar lantai yang diperoleh dari plot data-data di atas dapat dilihat pada **Gambar 6** di bawah ini.

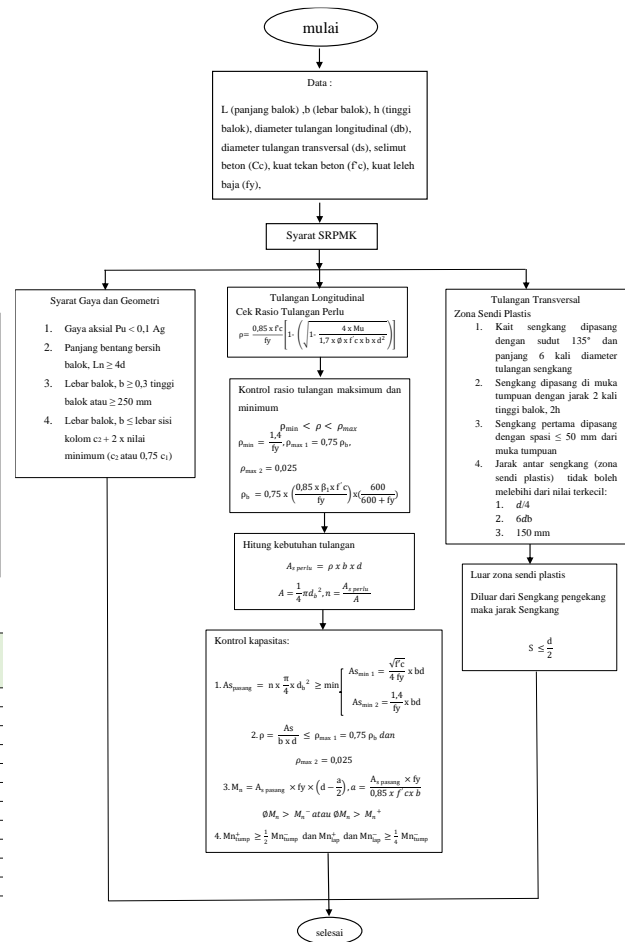


Gambar 6 Grafik Simpangan antar lantai

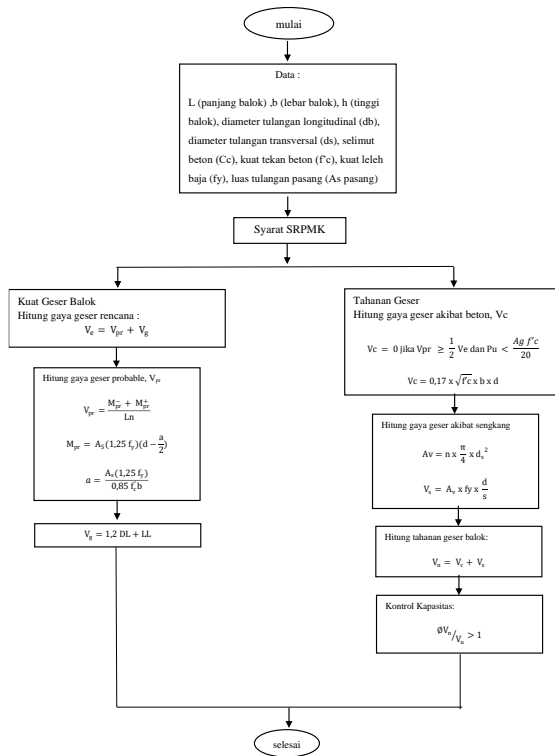
Perhitungan Elemen Struktur

Balok SRPMK

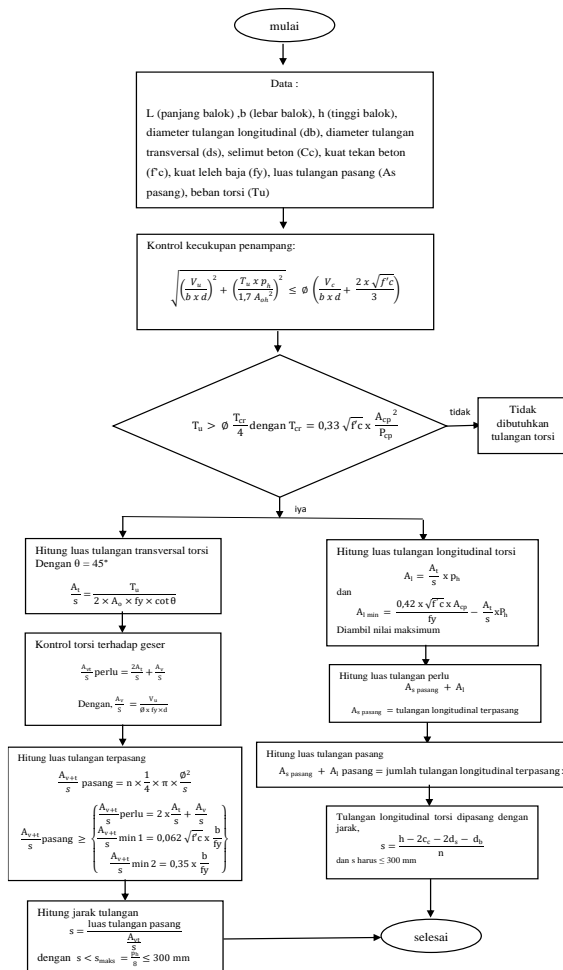
Pada perencanaan balok SRPMK diambil balok dengan bentang terpanjang dan yang memiliki nilai momen dan geser maksimum. Adapun alur perhitungan balok SRPMK dapat dilihat pada **Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9** berikut.



Gambar 7 Alur perencanaan tulangan balok



Gambar 8 Alur perencanaan kekuatan geser



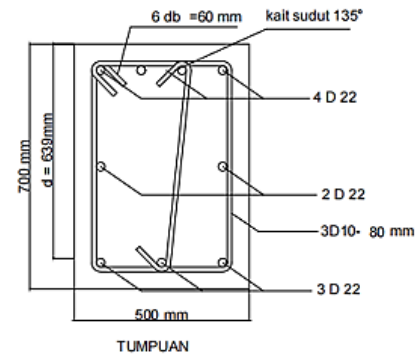
Gambar 9 Alur perencanaan tulangan torsi

Dari hasil perhiungan menggunakan alur perencanaan di atas diperoleh kebutuhan tulangan seperti pada Tabel 10 berikut.

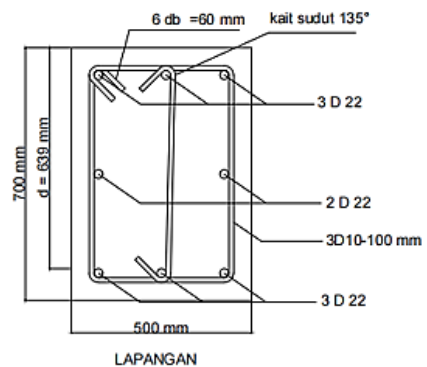
Tabel 10. Rekapitulasi tulangan balok

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	4 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D22
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D22
Longitudinal Lapangan Atas	3 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D22
Longitudinal Lapangan Bawah	3 D22
Tulangan Transversal/Sengkan	
Sengkan Tumpuan	3D10-80
Sengkan Lapangan	3D10-100

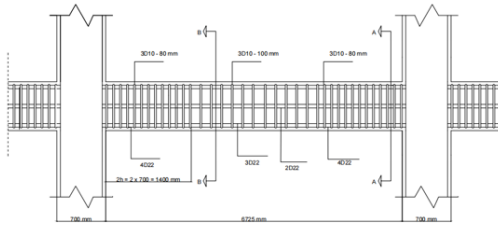
Adapun dari hasil perencanaan di atas diperoleh gambar detail perencanaan balok seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11 berikut.



Gambar 10 Detail tulangan balok daerah tumpuan

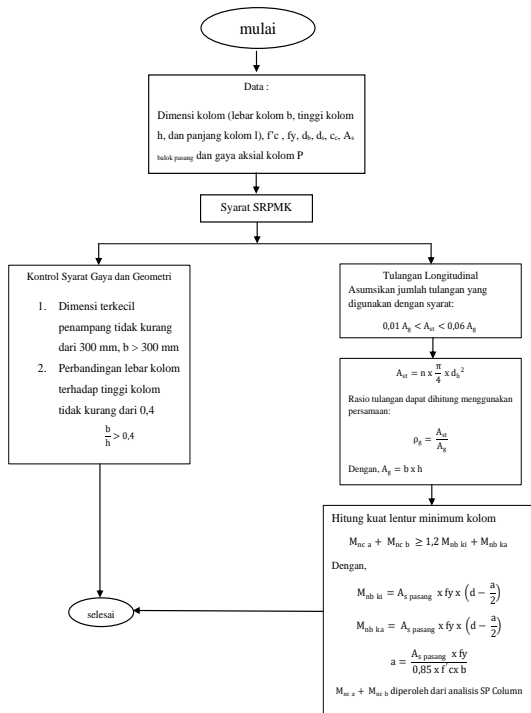


Gambar 11 Detail tulangan balok daerah lapangan

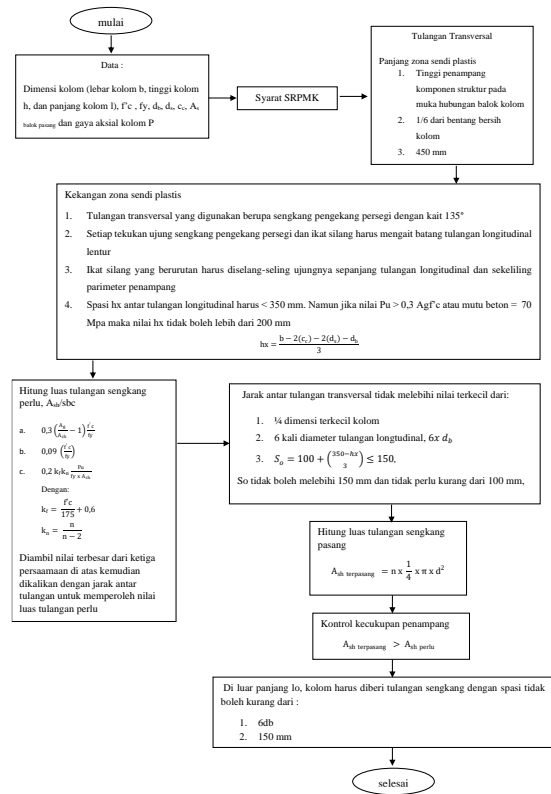


Kolom SRPMK

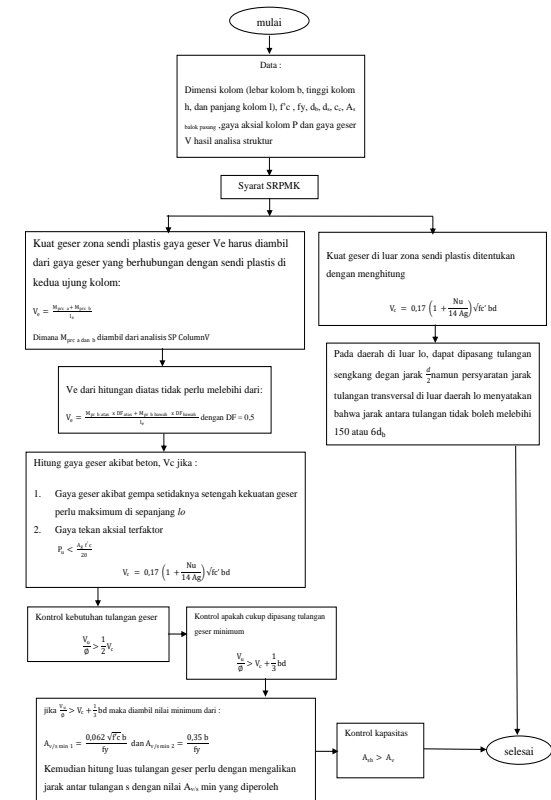
Kolom yang direncanakan pada perencanaan ini merupakan kolom yang berada di lantai 2 dan merupakan kolom yang memiliki nilai beban aksial, P terbesar. Adapun alur perencanaan perhitungan kolom dapat dilihat pada **Gambar 13**, **Gambar 14**, dan **Gambar 15** berikut.



Gambar 13 Alur perencanaan tulangan longitudinal kolom



Gambar 14 Alur perencanaan sengkang kolom



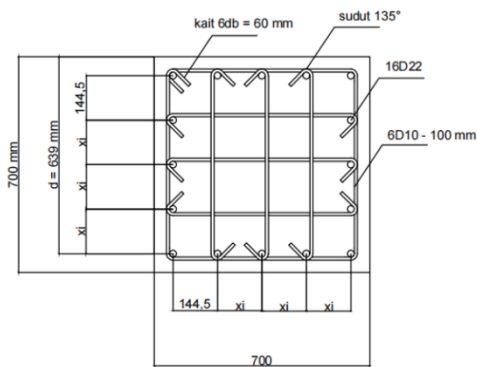
Gambar 15 Alur perencanaan kuat geser kolom

Dari hasil perhitungan menggunakan alur perencanaan di atas diperoleh kebutuhan tulangan seperti pada **Tabel 11** berikut.

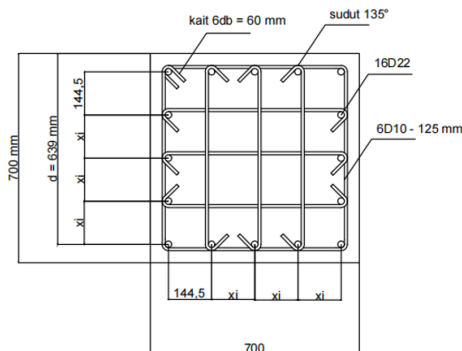
Tabel 11 Rekapitulasi tulangan kolom

Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Daerah Tumpuan (Zona Sendi Plastis)	6D10 - 100
Daerah Lapangan (Luar Zona Sendi Plastis)	6D10 - 125

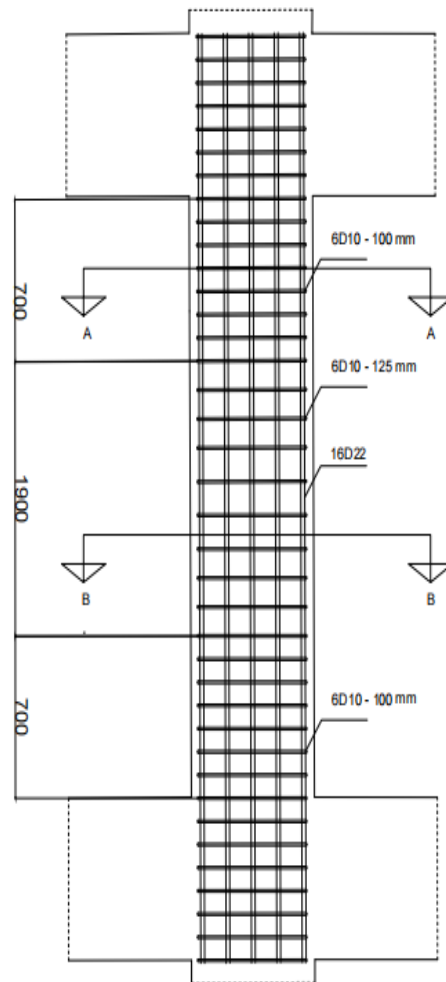
Adapun dari hasil perencanaan di atas diperoleh gambar detail perencanaan kolom seperti pada **Gambar 16** dan **Gambar 17** berikut.



Gambar 16 Detail tulangan daerah tumpuan



Gambar 17 Detail tulangan kolom daerah lapangan



Gambar 18 Detail tulangan memanjang kolom

Hubungan Balok-Kolom (*Joint*)

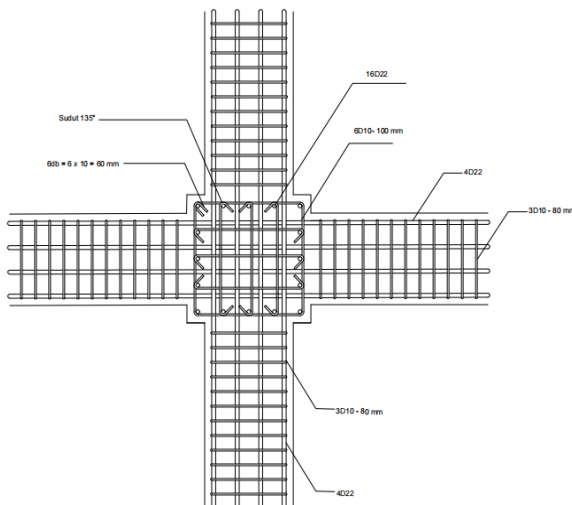
Joint yang direncanakan adalah *joint* yang berada di lantai 2 yang merangka pada kolom yang direncanakan di atas. Adapun alur perencanaan hubungan balok kolom dapat dilihat pada **Gambar 19** berikut.



Gambar 19 Alur perencanaan *Joint*

Dari hasil perhitungan menggunakan alur perencanaan di atas diperoleh kebutuhan tulangan pada daerah hubungan balok kolom sebanyak 6D22 dengan jarak antar tulangan 100 mm.

Adapun dari hasil perencanaan di atas diperoleh gambar detail perencanaan hubungan balok kolom seperti pada **Gambar 18** berikut.



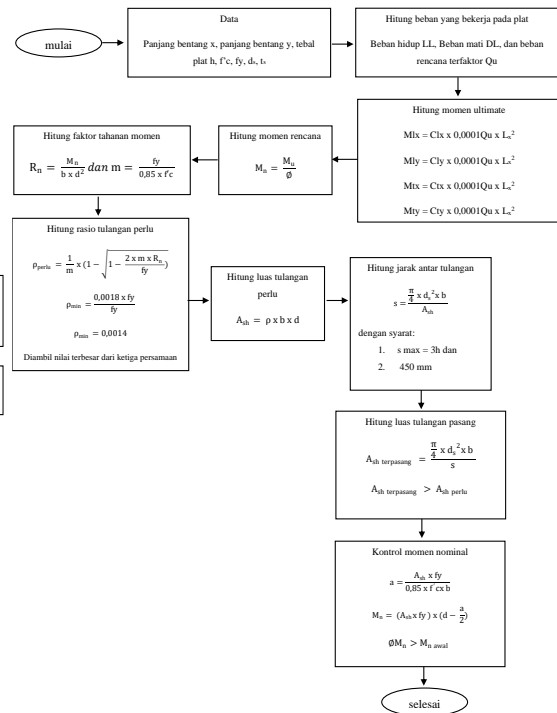
Gambar 18 Detail hubungan balok kolom

Pelat

Pelat yang direncanakan merupakan pelat yang memiliki bentang terbesar dengan panjang

bentang arah $x = 4575$ mm dan panjang bentang arah $y = 6671$ mm.

Adapun alur perencanaan pelat lantai dapat dilihat pada **Gambar 19** berikut.



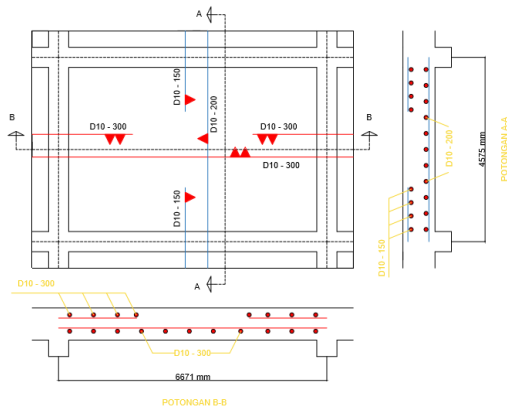
Gambar 19 Alur perencanaan pelat lantai

Dari hasil perhitungan menggunakan alur perencanaan di atas diperoleh kebutuhan tulangan pada pelat lantai seperti pada **Tabel 13** berikut.

Tabel 13 Rekapitulasi tulangan pelat lantai

Penulangan Pelat	
Tumpuan Arah X	10D - 150
Tumpuan Arah Y	10D - 200
Lapangan Arah X	10D - 300
Lapangan Arah Y	10D - 300

Adapun dari hasil perencanaan di atas diperoleh gambar detail perencanaan pelat lantai seperti pada **Gambar 20**



Gambar 20 Detail penulangan pelat lantai

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Kebutuhan tulangan balok, kolom, joint dan pelat adalah sebagai berikut:

a. Balok

TYPE BALOK	B1		
	TUMP	LAP	TUMP
LANTAI 2			
UKURAN BALOK	500 X 700		
TULANGAN ATAS	4D22	3D22	4D22
TULANGAN BAWAH	3D22	3D22	3D22
SENGKANG	D10-80	D10-100	D10-80

b. Kolom

TYPE KOLOM	K1	
	POTONGAN A	POTONGAN B
LANTAI 2 ~ LANTAI 3		
UKURAN KOLOM	700 X 700	700 X 700
JUMLAH TULANGAN	16D22	16D22
SENGKANG	D10-100	D10-125
Lo	700	-

c. Joint

LANTAI	DETAIL JOINT
LANTAI 2 ~ LANTAI 3	
LUAS JOINT	700 X 700
JUMLAH TULANGAN	16D22
SENGKANG	D10-100

2. Hasil analisis beban gempa berdasarkan nilai percepatan batuan diperoleh kategori desain seismiknya adalah D, sehingga penggunaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dapat dijadikan sebagai pilihan untuk merencanakan struktur tahan gempa di wilayah tersebut, karena telah memenuhi :
 - a. Persyaratan “*Strong Coulmn – Weak Beam*” atau kolom kuat balok lemah telah terpenuhi karena kekuatan lentur kolom telah memenuhi syarat $\sum M_{nc} > 1,2 \sum M_{nb}$ sehingga mengurangi kemungkinan leleh pada kolom yang dianggap sebagai bagian dari sistem pemikul gaya seismik. Dimana kolom yang merangka pada *joint* atau HBK lebih kuat dibandingkan balok yang merangka pada *joint* atau HBK
 - b. Komponen balok dan kolom dengan mekanisme penulangan yang telah direncanakan, mampu menahan gaya geser yang terjadi akibat gempa atau dapat dikatakan bahwa balok dan kolom sudah memenuhi syarat-syarat untuk desain kapasitas geser dimana kapasitas geser nominal, V_n masih lebih besar dari gaya yang bekerja pada balok dan kolom itu sendiri, V_u .

DAFTAR PUSTAKA

[1] Agus Setiawan. 2020. *Contoh Perhitungan Desain Balok SRPMK*.
https://www.youtube.com/watch?v=ydYe6EHOX_k&t=701s
 (Diakses pada Mei 2021)

[2] Agus Setiawan. 2020. *Contoh Perhitungan Desain Kolom SRPMK*.

- https://www.youtube.com/watch?v=Uyu_sS2Ixpw
(Diakses pada Mei 2021)
- [3] Agus Setiawan. 2020. *Persyaratan Desain Balok SRPMK*.
<https://www.youtube.com/watch?v=PmjtzUuzlZs>
(Diakses pada Mei 2021)
- [4] Agus Setiawan. 2020. *Persyaratan Desain Hubungan Balok Kolom SRPMK*.
<https://www.youtube.com/watch?v=J9z66PpxY3w>
(Diakses pada Mei 2020)
- [5] Agus Setiawan. 2020. *Persyaratan Desain Kolom SRPMK*.
<https://www.youtube.com/watch?v=GEF6-xvf3Ks>
(Diakses pada Mei 2020)
- [6] Azzuri, dkk. 2017. *Perbandingan Tiga Sistem Rangka Pemikul Momen di Kawasan Dengan Kategori Desain Seismik B*. Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Bung Hatta. Padang
- [7] BMKG, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
<https://www.bmkg.go.id/berita/?p=aktivitas-gempa-di-pulau-kalimantan-paling-rndah&tag=press-release&lang=ID>
(Diakses pada Januari 2021)
- [8] Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2019)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [9] Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [10] Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktur Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [11] Chu Kia Wang and Charles G. Salmon. 1993. *Desain Balok Bertulang*. Erlangga: Jakarta.
- [12] Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah Dan Gedung (PPPIURG 1987)*. Yayasan Badan Pekerjaan Umum, Jakarta.