



Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel Sepuluh Lantai Di Kota Manado

Reiven W. G. Rory^{#a}, Banu D. Handono^{#b}, Ronny E. Pandaleke^{#c}, Marthin D. J. Sumajouw^{#d}[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia^areivenrory01@gmail.com, ^bbanu2h@unsrat.ac.id, ^cronny_pandaleke@yahoo.com, ^ddody_sumajouw@yahoo.com**Abstrak**

Kota Manado memiliki tingkat kegempaan yang tinggi sehingga perencanaan struktur bangunan tahan gempa menjadi hal yang sangat penting. Pada umumnya perencana menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), namun pada bangunan bertingkat menengah hingga tinggi, penerapan SRPMK dinilai kurang ekonomis dan efisien karena menghasilkan dimensi elemen struktur yang relatif besar. Oleh karena itu, penerapan Sistem Ganda (*Dual System*) yaitu kombinasi antara SRPMK dan Dinding Geser menjadi solusi yang lebih efektif. Studi ini merencanakan struktur beton bertulang gedung hotel sepuluh lantai dengan panjang bangunan 45,0 m, lebar 17,0 m, tinggi 40 m, dan terletak di Kota Manado dengan kelas situs SD (tanah sedang) dengan nilai S_{DS} dan S_{D1} sebesar 0,7484 dan 0,5635. Struktur termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) "D" dan menggunakan Sistem Ganda. Elemen struktur yang direncanakan yaitu balok, kolom, pelat, dan dinding geser dengan mutu beton (f_c') sebesar 30 MPa, mutu tulangan longitudinal (f_y) sebesar 420 MPa, dan mutu tulangan transversal (f_{yt}) sebesar 280 MPa. Struktur dimodelkan secara tiga dimensi dan dianalisis melalui program analisa struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain struktur telah memenuhi seluruh persyaratan, dengan kapasitas elemen struktur dan detail penulangannya yang memadai terhadap gaya dalam yang bekerja. Selain itu, prinsip "*Strong Column Weak Beam*" serta ketentuan pada Sistem Ganda telah terpenuhi sesuai kriteria perencanaan struktur tahan gempa.

Kata kunci: sistem ganda, beton bertulang, Strong Column Weak Beam, gempa

1. Pendahuluan*1.1. Latar Belakang*

Perkembangan pembangunan yang pesat di Kota Manado memunculkan dampak positif untuk perkembangan ekonomi dan pariwisata. Banyaknya objek wisata serta kegiatan-kegiatan pesta rakyat menjadi daya tarik bagi wisatawan untuk datang berkunjung. Kota Manado sebagai ibu kota provinsi Sulawesi Utara, menjadi akomodasi utama bagi wisatawan serta pelaku bisnis. Untuk mengantisipasi kedatangan wisatawan maupun pelaku bisnis, maka diperlukan fasilitas akomodasi untuk tempat menginap, salah satunya adalah bangunan gedung bertingkat hotel.

Secara geografis, Kota Manado berada di wilayah pantai dengan beban angin yang besar serta termasuk dalam daerah rawan gempa. Kondisi ini menuntut perencanaan struktur hotel sepuluh lantai yang mampu menahan beban lateral. Semakin tinggi bangunan, semakin besar risiko akibat beban gempa dan angin sehingga desain struktur harus dilakukan secara cermat. Sistem struktur gedung yang biasa digunakan dalam bangunan tahan gempa adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Namun, untuk bangunan tingkat tinggi dinilai kurang ekonomis dan efisien karena menghasilkan dimensi elemen struktur yang besar. Untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral tanpa mengorbankan nilai ekonomis dan efisiensi, digunakan kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) yang disebut Sistem Ganda (*Dual System*).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, akan dibahas bagaimana merencanakan elemen struktur gedung hotel sepuluh lantai yang terletak di Kota Manado dengan menggunakan Sistem Ganda (kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser), agar dapat memikul beban-beban yang bekerja sesuai dengan standar-standar yang berlaku di Indonesia.

1.3 Batasan Perencanaan

Dalam perencanaan ini ditetapkan beberapa batasan masalah, yaitu sebagai berikut.

1. Struktur yang direncanakan adalah gedung hotel sepuluh lantai dengan konstruksi beton bertulang.
2. Aspek yang ditinjau yaitu perencanaan elemen struktur atas.
3. Daya dukung tanah dan pondasi diasumsikan mampu memikul bangunan di atasnya.
4. Struktur dianggap terjepit pada tanah dengan kelas situs tanah sedang.
5. Atap direncanakan menggunakan pelat beton.
6. Perencanaan elemen struktur bangunan dianalisis berdasarkan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
7. Peraturan pembebanan yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
8. Analisa perhitungan gaya gempa akan menggunakan metode analisis Respon Spektrum berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
9. Penggunaan baja tulangan sesuai dengan SNI 2052:2024 tentang Baja Tulangan Beton.
10. Beban yang akan ditinjau adalah beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin.

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan ini adalah untuk menghasilkan desain struktur atas bangunan gedung hotel sepuluh lantai yang tahan terhadap gempa tanpa mengurangi nilai efisiensi dengan berdasar pada Standar Nasional Indonesia yang terbaru.

2. Metode Perencanaan

Metode perencanaan ini diawali dengan proses pengumpulan data yang diperlukan sebagai dasar analisis dan perancangan. Berikut merupakan data awal dalam perencanaan ini.

2.1. Data Bangunan

Berikut merupakan data bangunan pada perencanaan ini.

- Fungsi bangunan = Hotel
- Dimensi bangunan = 45 meter × 17 meter
- Tinggi bangunan = 40 meter
- Jumlah lantai = 10
- Jarak antar lantai = 4 meter
- Struktur bangunan = Beton bertulang

2.2. Data Material

Berikut merupakan data material pada perencanaan ini.

- Spesifikasi material beton
 - Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
 - Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m³
 - Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700\sqrt{f'_c} = 25742,9602$ MPa
- Spesifikasi material baja
 - Tulangan Lentur

Mutu baja	= BjTS 420
Tegangan leleh (f_y)	= 420 MPa
Modulus elastisitas (E_s)	= 200000 MPa
Tulangan Geser	
Mutu baja	= BjTP 280
Tegangan leleh (f_y)	= 280 MPa
Modulus elastisitas (E_s)	= 200000 MPa

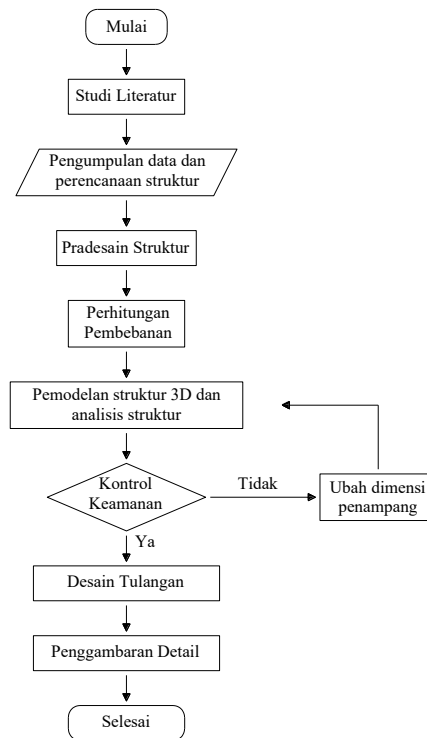
2.3. Data Beban

Berikut merupakan data beban pada perencanaan ini.

- Beban mati, beban hidup, dan beban angin akan mengacu pada SNI 1727:2020
- Beban gempa, dianalisis berdasarkan lokasi bangunan dan mengacu pada SNI 1726:2019.
Lokasi gempa : Kota Manado
Analisis gempa : Metode Respon Spektrum

2.4. Bagan Alir Perencanaan

Metode analisis struktur secara garis besar digambarkan dalam bagan berikut.



Gambar 1. Bagan Alir Perencanaan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pradesain Elemen Struktur

A. Dimensi Awal Balok

- Balok B1 = 300 × 600 mm
- Balok B2 = 400 × 600 mm
- Balok BA1 = 300 × 500 mm
- Balok BA2 = 250 × 400 mm

B. Dimensi Awal Kolom

- Kolom Tepi = 800 × 800 mm
- Kolom tengah = 900 × 900 mm

C. *Dimensi Awal Pelat*

- Tebal pelat Lantai 1 – Lantai 9 = 130 mm
- Tebal pelat Lantai 10 (*Rooftop*) = 150 mm
- Tebal pelat tangga dan bordes = 150 mm

D. *Dimensi Awal Dinding Geser*

- Tebal dinding = 300 mm
- Dimensi kolom *boundary* = 700 × 700 mm
- Panjang dinding as ke as = 3500 mm

3.2 Pembebanan

A. *Beban Mati*

Beban mati pada perencanaan ini ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. Data Beban Mati

Beban Mati		
Elemen	Beban	Satuan
Beton Bertulang (Kolom, Balok, Pelat)	24,00	kN/m ³
Finishing Lantai	1,70	kN/m ²
Plafond	0,14	kN/m ²
Plumbing & Elektrikal	0,30	kN/m ²
Dinding	2,35	kN/m ²
Railing Tangga	0,10	kN/m ²
Tegel (untuk tangga)	0,24	kN/m ²
Spesi tebal 2 cm (untuk tangga)	0,42	kN/m ²
Mortar Spesi	0,63	kN/m ²
Waterproof	0,42	kN/m ²
Plumbing & Elektrikal	0,30	kN/m ²
Plafond	0,14	kN/m ²

B. *Beban Hidup*

Beban hidup dihitung berdasarkan SNI 1727:2020 dengan fungsi ruangan pada bangunan sebagai berikut.

Tabel 2. Data Beban Hidup

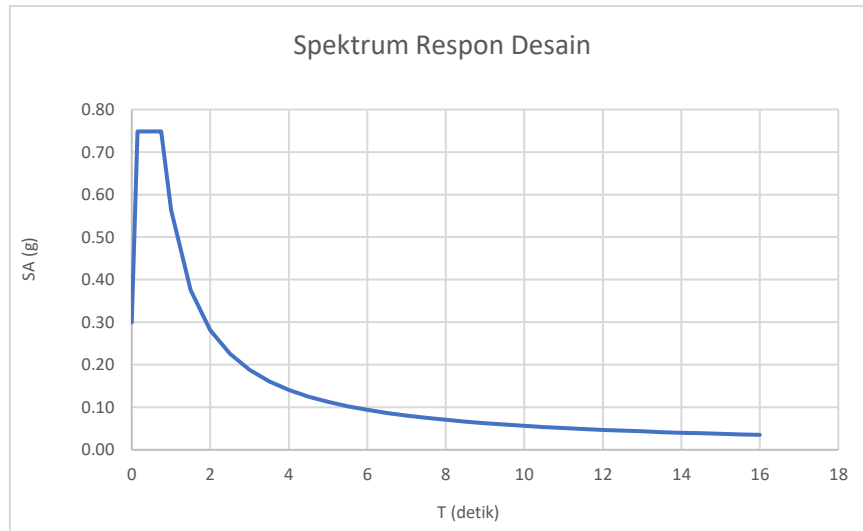
Beban Hidup		
Fungsi Ruangan	Beban	Satuan
Lobby Hotel	4,79	kN/m ²
Ruang Karyawan	1,92	kN/m ²
Ruang Panel	4,79	kN/m ²
Ruang Genset	6	kN/m ²
Gudang	6	kN/m ²
Restaurant	4,79	kN/m ²
Toilet	1,92	kN/m ²
Kamar	1,92	kN/m ²
Ruang Pertemuan	4,79	kN/m ²
Kamar Ganti	1,92	kN/m ²
Gimnasium	4,79	kN/m ²
Koridor Ruang Publik	4,79	kN/m ²
Atap yang digunakan penghuni	1,92	kN/m ²

C. *Beban Gempa*

Analisis beban gempa dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019, dengan parameter yang digunakan pada perencanaan ini adalah sebagai berikut.

- Parameter percepatan gempa
 - S_s = 1,0329 g
 - S_1 = 0,4592 g
- Kelas Situs = SD (tanah sedang)

- Kategori risiko = II
- Faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$
- Parameter percepatan respon spektral
 $S_{DS} = 0,7484 \text{ g}$
 $S_{D1} = 0,5635 \text{ g}$
- Kategori desain seismik (KDS)
 Berdasarkan nilai S_{DS} dan S_{D1} , struktur termasuk dalam kategori desain seismik D.



Gambar 2. Kurva Respon Spektrum Desain

D. Beban Angin

Analisa beban angin dihitung sesuai SNI 1727:2020. Dalam perencanaan ini, beban angin dihitung langsung program analisa struktur dengan memasukkan parameter-parameter berikut.

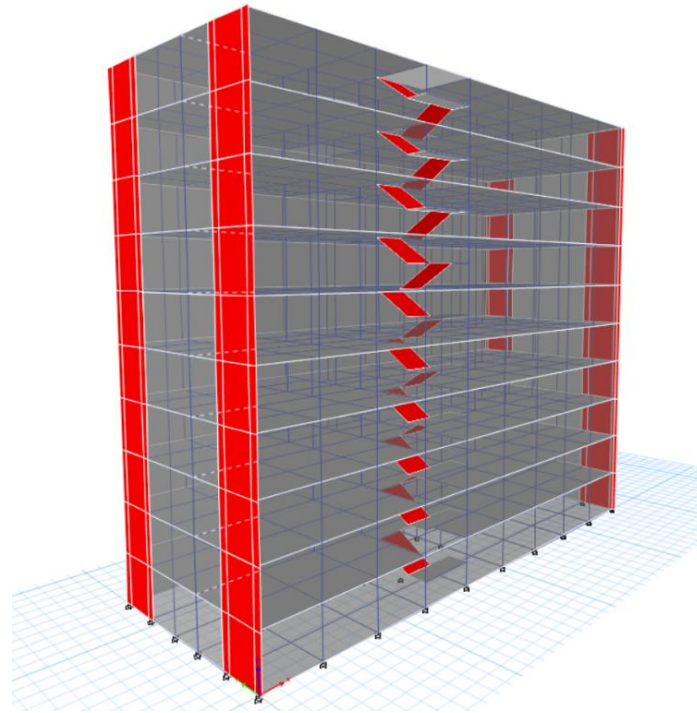
- Klasifikasi level kecepatan angin = Kategori I
- Kecepatan angin = 40 m/s atau 89,478 mil/jam
- Kategori eksposur = Eksposur C
- Faktor elevasi permukaan tanah (K_e) = 1
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1
- Faktor efek hembusan angin (G) = 0,85
- Faktor arah angin (K_d) = 0,85

E. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang digunakan adalah kombinasi beban metode *ultimate* atau disebut juga *Load And Resistance Factor Design (LRFD)*, sesuai dengan SNI 1727:2020 Pasal 2.3.

3.3 Pemodelan Struktur 3 Dimensi

Struktur dimodelkan berdasarkan data bangunan, data material, serta data beban yang telah ditetapkan. Berikut ditampilkan hasil pemodelan struktur pada perencanaan ini.



Gambar 3. Pemodelan Struktur 3 Dimensi

3.4 Kontrol Ketidakberaturan Struktur

A. Ketidakberaturan Horizontal

Hasil pemeriksaan terhadap struktur bangunan menunjukkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal sebagaimana dipersyaratkan pada Tabel 13 SNI 1726:2019, sehingga struktur bangunan dinyatakan aman terhadap ketidakberaturan horizontal.

B. Ketidakberaturan Vertikal

Hasil pemeriksaan terhadap struktur bangunan menunjukkan bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal sebagaimana dipersyaratkan pada Tabel 14 SNI 1726:2019, sehingga struktur bangunan dinyatakan aman terhadap ketidakberaturan vertikal.

3.5 Kontrol Hasil Pemodelan Struktur Bangunan

A. Kontrol Pola Ragam Gerak Struktur

Evaluasi kontrol mode ragam dilakukan dengan memastikan bahwa kriteria untuk mode translasi (mode 1 dan mode 2) serta mode rotasi (mode 3) terpenuhi, yaitu Mode 1: $UX > RZ$, Mode 2: $UY > RZ$, dan Mode 3: $UX + UY < RZ$. Terlihat bahwa Mode 1 didominasi oleh translasi arah X, Mode 2 oleh translasi arah Y, dan Mode 3 oleh rotasi terhadap sumbu Z. Dengan demikian, pemodelan struktur dinyatakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Tabel 3. Kontrol Pola Ragam Gerak Struktur

Mode	Period sec	UX	UY	RZ	Kontrol	
1	2,006	0,7741	0	0,0003	Translasi	OK
2	1,557	0,000001	0,7266	0,0007	Translasi	OK
3	1,212	0,0004	0,0009	0,7116	Rotasi	OK

B. Kontrol Partisipasi Massa Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. **Pengecualian:** analisis diizinkan menggunakan jumlah ragam minimum, selama massa

ragamnya mewakili minimal 90% dari massa aktual. Dalam perencanaan ini, analisis ragam getar dilakukan hingga Mode ke-50 dan diperoleh partisipasi massa sebesar 98,97% pada arah X dan 98,11% pada arah Y.

Tabel 4. Partisipasi Massa

Case	Mode	Period sec	SumUX	SumUY
Modal	1	2,006	0,7741	0
Modal	2	1,557	0,7741	0,7266
Modal	3	1,212	0,7745	0,7275
Modal	4	0,618	0,878	0,7275
Modal	5	0,437	0,878	0,8679
Modal	6	0,327	0,922	0,868
Modal	7	0,317	0,9221	0,8692
Modal	8	0,234	0,9221	0,913
Modal	9	0,204	0,9477	0,9131
Modal	10	0,167	0,9477	0,9328
Modal	11	0,152	0,9477	0,9344
Modal	12	0,148	0,9477	0,9344
Modal	13	0,139	0,9645	0,9345
Modal	14	0,133	0,9645	0,9345
Modal	15	0,122	0,9645	0,9496
Modal	16	0,109	0,9645	0,9497
Modal	17	0,107	0,9645	0,9499
Modal	18	0,104	0,9645	0,951
Modal	19	0,101	0,9761	0,951
Modal	20	0,098	0,9762	0,9516
Modal	21	0,094	0,9762	0,9607
Modal	22	0,093	0,9762	0,9636
Modal	23	0,087	0,9762	0,9636
Modal	24	0,083	0,9762	0,9636
Modal	25	0,082	0,9762	0,964
Modal	26	0,081	0,9762	0,964
Modal	27	0,078	0,9765	0,964
Modal	28	0,078	0,9843	0,964
Modal	29	0,076	0,9843	0,966
Modal	30	0,075	0,9843	0,9701
Modal	31	0,074	0,9843	0,9721
Modal	32	0,073	0,9843	0,9723
Modal	33	0,071	0,9843	0,9734
Modal	34	0,068	0,9843	0,9734
Modal	35	0,067	0,9843	0,9734
Modal	36	0,066	0,9843	0,9734
Modal	37	0,065	0,9843	0,9738
Modal	38	0,065	0,9843	0,975
Modal	39	0,064	0,9843	0,9751
Modal	40	0,064	0,9843	0,9751
Modal	41	0,063	0,9896	0,9751
Modal	42	0,062	0,9897	0,979
Modal	43	0,061	0,9897	0,979
Modal	44	0,061	0,9897	0,979
Modal	45	0,061	0,9897	0,9791
Modal	46	0,059	0,9897	0,9807
Modal	47	0,058	0,9897	0,9808
Modal	48	0,056	0,9897	0,9808
Modal	49	0,056	0,9897	0,981
Modal	50	0,055	0,9897	0,9811

C. Kontrol Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi batas atas periode yang ditentukan oleh koefisien C_u dan periode fundamental pendekatan (T_a). Sebagai alternatif, penentuan T dapat menggunakan periode pendekatan langsung yang ditentukan dari persamaan berikut.

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_{maks} = C_u T_a$$

Tabel 5. Hasil Kontrol Periode Fundamental Struktur

Arah	Periode Fundamental			T
	T_a	T_c	T_{maks}	
X	0,7762	2,006	1,0867	1,0867
Y	0,7762	1,557	1,0867	1,0867

Karena $T_{c,X}$ dan $T_{c,Y}$ lebih dari T_{maks} , maka periode fundamental struktur arah X dan arah Y digunakan nilai T_{maks} .

D. Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t . Dalam perencanaan ini, V_t sudah dikoreksi sehingga nilainya melebihi 100% V .

Tabel 6. Dynamic Story Shear Corrected

Arah Gaya	V (kN)	100% V (kN)	V_t (koreksi) (kN)	Kontrol $V_t \geq 100\% V$
X	12288,599	12288,599	12288,635	OK
Y	12288,599	12288,599	12288,606	OK

E. Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) harus kurang dari simpangan antar tingkat izin yang diambil sebesar, $\Delta_{izin} = (0,02/\rho) \times h$ dengan faktor reduksi, $\rho = 1,0$ dari hasil penentuan berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2, serta menggunakan faktor pembesaran simpangan lateral, $C_d = 5,5$ dan faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,0$. Dari hasil pemeriksaan, struktur berada dalam kondisi aman terhadap simpangan antar tingkat.

Tabel 7. Kontrol Simpangan Antar Tingkat Struktur

Lantai	h (mm)	Displacement		Elastic Drift		Inelastic Drift		Drift Limit	Cek ($\Delta_i \leq \Delta_{izin}$)
		δe_x (mm)	δe_y (mm)	Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	Δ_{ix} (mm)	Δ_{iy} (mm)	Δ_{izin} (mm)	
Lantai Atap	4000	53,11	44,04	2,02	2,98	11,09	16,38	80,00	AMAN
Lantai 9	4000	51,1	41,06	3,01	3,86	16,55	21,22	80,00	AMAN
Lantai 8	4000	48,09	37,2	4,14	4,54	22,78	24,99	80,00	AMAN
Lantai 7	4000	43,95	32,66	5,23	5,04	28,79	27,7	80,00	AMAN
Lantai 6	4000	38,71	27,62	6,22	5,37	34,21	29,52	80,00	AMAN
Lantai 5	4000	32,49	22,25	7,06	5,54	38,84	30,46	80,00	AMAN
Lantai 4	4000	25,43	16,71	7,66	5,49	42,11	30,18	80,00	AMAN
Lantai 3	4000	17,77	11,23	7,75	5,1	42,63	28,07	80,00	AMAN
Lantai 2	4000	10,02	6,12	6,74	4,16	37,08	22,87	80,00	AMAN
Lantai 1	4000	3,28	1,97	3,28	1,97	18,05	10,81	80,00	AMAN

F. Kontrol Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta tidak boleh melebihi batas maksimum stabilitas struktur dan tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) tidak lebih dari 0,10. Dari hasil pemeriksaan, nilai koefisien stabilitas (θ) pada setiap tingkat tidak melebihi 0,10. Sehingga pengaruh P-Delta dapat diabaikan.

Tabel 8. Kontrol Pengaruh P-Delta

Story	h (mm)	Inelastic Drift		Story Forces			Koef. Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek $\theta_x, \theta_y < \theta_{max}$
		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	θ_x	θ_y			
Lt. Atap	4000	11,09	16,38	6837,3	2180,2	2056,5	0,002	0,002	0,1	0,091	STABIL
Lt. 9	4000	16,55	21,22	20778,8	4469	4419,7	0,003	0,005	0,1	0,091	STABIL
Lt. 8	4000	22,78	24,99	34137,9	6198,9	6206,6	0,006	0,006	0,1	0,091	STABIL
Lt. 7	4000	28,79	27,7	47497,1	7495,8	7539,9	0,008	0,008	0,1	0,091	STABIL
Lt. 6	4000	34,21	29,52	60856,3	8534,9	8627,7	0,011	0,009	0,1	0,091	STABIL
Lt. 5	4000	38,84	30,46	74215,5	9469,6	9622,1	0,014	0,011	0,1	0,091	STABIL
Lt. 4	4000	42,11	30,18	87574,7	10382,2	10567,7	0,016	0,011	0,1	0,091	STABIL
Lt. 3	4000	42,63	28,07	100933,9	11247,9	11411	0,017	0,011	0,1	0,091	STABIL
Lt. 2	4000	37,08	22,87	114293,1	11944,1	12026,6	0,016	0,01	0,1	0,091	STABIL
Lt. 1	4000	18,05	10,81	127652,2	12287,3	12287,4	0,009	0,005	0,1	0,091	STABIL

3.6 Kontrol Syarat Sistem Ganda

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1, rangka pemikul momen harus memikul paling sedikit 25% gaya seismik desain. Dalam perencanaan ini, Sistem Ganda berlaku pada arah Y dan rangka pemikul momen arah Y memikul 39,96% gaya seismik desain.

Tabel 9. Kontrol Syarat Sistem Ganda

Arah	Vt kN	V Dinding Geser kN	V Rangka kN	Persentase
	(a)	(b)	(c) = (a) - (b)	(d)
X	12288,63485	1105,146	11183,489	91,01%
Y	12288,60639	7377,818	4910,789	39,96%

3.7 Perencanaan Tulangan Elemen Struktur

Berdasarkan gaya-gaya dalam hasil analisis struktur, dilakukan perencanaan penulangan pada elemen-elemen struktur meliputi balok, kolom, pelat, dan dinding geser.

A. Perencanaan Tulangan Balok dan Sloof

Perencanaan tulangan balok meliputi penulangan longitudinal akibat lentur dan torsi, serta penulangan transversal akibat geser dan torsi. Hasil perencanaan tulangan balok disajikan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 10. Rekapitulasi Tulangan Longitudinal Balok dan Sloof

Portal	Balok	Lantai	Tulangan Longitudinal					
			Lokasi	Tump	Lap			
1 & 4	B1	Atap	Atas	3 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	2 S19	3 S19			
		9	Atas	4 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	3 S19	4 S19			
		8, 7, 6, 1	Atas	4 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	2 S19	4 S19			
		5, 4, 3, 2	Atas	5 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	3 S19	4 S19			
2 & 3	B1	Atap	Atas	3 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	2 S19	3 S19			
		9, 8, 1	Atas	4 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	2 S19	4 S19			
		7, 6, 5, 4, 3, 2	Atas	5 S19	2 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	2 S19	4 S19			
		A & J	B2	Atap	Atas	5 S19	2 S19	
					Tengah	2 S19	2 S19	
					Bawah	2 S19	4 S19	
9, 8, 2, 1	Atas			5 S19	3 S19			
	Tengah			2 S16	2 S16			
	Bawah			3 S19	4 S19			
7, 6, 3	Atas			6 S19	3 S19			
	Tengah			2 S16	2 S16			
	Bawah			3 S19	4 S19			
5, 4	Atas			7 S19	3 S19			
	Tengah			2 S16	2 S16			
	Bawah			3 S19	4 S19			
B, C, F, G, H, I	B2	Atap	Atas	5 S19	2 S19			
			Tengah	2 S19	2 S19			
			Bawah	2 S19	5 S19			
B, C, F, G, H, I	B2	9 s/d 1	Atas	6 S19	3 S19			
			Tengah	2 S16	2 S16			
			Bawah	3 S19	5 S19			
		D & E	B2	Atap	Atas	5 S19	3 S19	
					Tengah	2 S19	2 S19	
					Bawah	3 S19	5 S19	
				9 s/d 7	Atas	7 S19	3 S19	
					Tengah	2 S16	2 S16	
					Bawah	3 S19	4 S19	
					6, 1	Atas	7 S19	3 S19
						Tengah	2 S16	2 S16
						Bawah	3 S19	5 S19
5 s/d 2	Atas			7 S19	3 S19			
	Tengah			2 S16	2 S16			
	Bawah			4 S19	5 S19			
BA1	Atap	Atas	3 S19	2 S19				
		Tengah	2 S10	2 S13				
		Bawah	2 S19	3 S19				
	9 s/d 7	Atas	3 S19	2 S19				
		Tengah	2 S13	2 S13				
		Bawah	2 S19	3 S19				
		6 s/d 1	Atas	4 S19	2 S19			
			Tengah	2 S13	2 S13			
			Bawah	2 S19	3 S19			
	BA2	Atap s/d 7	Atas	2 S16	2 S16			
			Tengah	2 S10	2 S10			
			Bawah	2 S16	2 S16			
6 s/d 1		Atas	3 S16	2 S16				
		Tengah	2 S10	2 S10				
		Bawah	2 S16	2 S16				
Balok Bordes	Atap s/d 1	Atas	4 S19	3 S19				
		Tengah	2 S16	2 S16				
		Bawah	3 S19	4 S19				
Sloof	Dasar	Atas	5 S25	5 S25				
		Bawah	5 S25	5 S25				

Tabel 11. Rekapitulasi Tulangan Transversal Balok dan Sloof

Portal	Balok	Lantai	Tulangan Transversal	
			Tump.	Lap.
1 & 4	B1	Atap	2P12-100	2P12-140
		9	3P12-100	2P12-150
		8, 7, 6, 1	2P12-100	2P12-150
		5, 4, 3, 2	2P12-100	2P12-140
2 & 3	B1	Atap	2P12-100	2P12-140
		9, 8, 1	2P12-100	2P12-170
		7, 6, 5, 4, 3, 2	2P12-100	2P12-170
A & J	B2	Atap	2P12-100	2P12-100
		9, 8, 2, 1	3P12-100	3P12-100
		7, 6, 3	3P12-100	3P12-100
		5, 4	3P12-100	3P12-100
B, C, F, G, H, I	B2	Atap	2P12-100	2P12-175
		9 s/d 1	3P12-100	3P12-175
D & E	B2	Atap	3P12-100	3P12-175
		9 s/d 7	3P12-100	3P12-175
		6, 1	3P12-100	3P12-175
		5 s/d 2	4P12-100	3P12-175
BA1	BA1	Atap	2P12-100	2P12-150
		9 s/d 7	2P12-90	2P12-150
		6 s/d 1	2P12-90	2P12-150
BA2	BA2	Atap s/d 7	2P12-100	2P12-110
		6 s/d 1	2P12-100	2P12-110
Balok Bordes	Balok Bordes	Atap s/d 1	3P12-100	3P12-150
Sloof	Sloof	Dasar	2P12-100	2P12-150

B. Perencanaan Tulangan Kolom

- Kolom Jalur Tepi Arah X dan Kolom Jalur Tepi Arah Y (Kolom K1)
 Tulangan longitudinal = 20 S22
 Tulangan geser
 - Tumpuan (sepanjang l_0) = 6 S13-100
 - Lapangan (selain l_0) = 6 S13-130
 - Panjang daerah sendi plastis (l_0) = 850 mm
- Kolom Jalur Tengah (Kolom K2)
 Tulangan longitudinal = 24 S22
 Tulangan geser
 - Tumpuan (sepanjang l_0) = 6 S13-100
 - Lapangan (selain l_0) = 6 S13-130
 - Panjang daerah sendi plastis (l_0) = 900 mm

C. Perencanaan Tulangan Pelat

Dalam perencanaan ini, terdapat beberapa pelat yaitu pelat lantai dua arah, pelat lantai satu arah, pelat tangga, dan pelat bordes.

Tabel 12. Rekapitulasi Tulangan Pelat Lantai

Lantai	Tebal Pelat (mm)	Tebal Selimut Beton (mm)	Pelat Dua Arah						Pelat Satu Arah		
			Lajur	Arah X		Arah Y		Tul. Pokok	Tul. Bagi		
				Desain Tul.	Jarak Pasang Tul. (mm)		Desain Tul.			Jarak Pasang Tul. (mm)	
				Jenis 1	Jenis 2			Jenis 1	Jenis 2		
Atap	150	20	Kolom	S13-175	350	350	S13-130	260	260	S13-300	S8-200
			Tengah	S13-175	350	350	S13-130	260	260		
9	130	20	Kolom	S13-175	350	350	S13-100	200	200	S13-300	S8-200
			Tengah	S13-175	350	350	S13-100	200	200		
			Tengah	S13-175	350	350	S13-130	260	260		
8 s/d 1	130	20	Kolom	S13-175	350	350	S13-130	260	260	S13-300	S8-200
			Tengah	S13-175	350	350	S13-130	260	260		

Tabel 13. Rekapitulasi Tulangan Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Jenis Pelat	Tebal Pelat (mm)	Tebal Selimut Beton (mm)	Desain Tulangan Pokok	Desain Tulangan Bagi
Pelat Tangga	150	20	S13-150	S10-250
Pelat Bordes	150	20	S13-200	S10-250

D. Perencanaan Tulangan Dinding Geser

Tabel 14. Rekapitulasi Tulangan Dinding Geser

Lantai	Tulangan Daerah Kolom			Kebutuhan (EBK)		Tulangan Daerah Badan Dinding		
	Tul. Long.	Tul. Trans. (Sejajar Lebar)	Tul. Trans. (Tegak Lurus Lebar)	Perlu?	$L_{BE, Badan}$ (mm)	Tul. Long.	Tul. Trans.	Confinement EBK
Dinding Geser Pier 1								
Atap s/d 2	16 S22	4 S13-100	4 S13-100	Tidak	-	2 S19-200	2 S19-350	-
1	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	YA	300	2 S19-200	2 S19-350	2 S13-50
Dinding Geser Pier 2								
Atap s/d 2	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	Tidak	-	2 S19-200	2 S19-350	-
1	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	YA	300	2 S19-200	2 S19-350	2 S13-50
Dinding Geser Pier 3								
Atap s/d 2	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	Tidak	-	2 S19-200	2 S19-350	-
1	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	YA	300	2 S19-200	2 S19-350	2 S13-50
Dinding Geser Pier 4								
Atap s/d 2	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	Tidak	-	2 S19-200	2 S19-350	-
1	16 D22	4 S13-100	4 S13-100	YA	300	2 S19-200	2 S19-350	2 S13-50

E. *Perencanaan Panjang Penyaluran Tulangan*
Panjang penyaluran tulangan balok:

Tabel 15. Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Portal	Balok	l_d (mm)	Tipe Kait Standar	l_{dh} (mm)	l_{ext} (mm)	l_c (mm)
1, 4	B1	770,0	90°	550	250	350
2, 3	B1	700,0	90°	550	250	350
A s/d J	B2	700,0	90°	550	250	350
	BA1	700,0	90°	550	250	350
	BA2	600,0	90°	350	250	300
	Balok Bordes	700,0	90°	550	250	350
	Sloof	1730,0	90°	330	300	470

Panjang penyaluran tulangan kolom (l_d) = 810 mm

Panjang penyaluran kait tulangan *joint* balok kolom (l_{dh}) = 550 mm

Panjang penyaluran tulangan dinding geser.

Tabel 16. Panjang Penyaluran Tulangan Dinding Geser

Dinding Geser	l_d (mm)	Tipe Kait Standar	l_{dh} (mm)	l_{ext} (mm)
Daerah Kolom <i>Boundary</i>				
Pier 1 s/d 4	1000	90°	410	270
Daerah Badan Dinding				
Pier 1 s/d 4	700	90°	400	230

F. *Perencanaan Sambungan Lewatan Tulangan*

Lewatan tulangan balok:

- Lewatan kondisi tarik balok Portal 1 dan 4 = 1010 mm
- Lewatan kondisi tarik balok Portal 2, 3, A s/d J = 910 mm
- Lewatan kondisi tarik balok BA1 dan balok bordes = 910 mm
- Lewatan kondisi tarik balok BA2 = 760 mm
- Lewatan kondisi tarik sloof = 2250 mm
- Lewatan kondisi tekan balok Portal 1 s/d 4 dan Portal A s/d J = 570 mm
- Lewatan kondisi tekan balok BA1 dan balok bordes = 570 mm
- Lewatan kondisi tekan balok BA2 = 480 mm
- Lewatan kondisi tekan sloof = 750 mm
- Lewatan tulangan kolom = 1060 mm
- Lewatan tulangan dinding geser daerah kolom *boundary* = 1300 mm
- Lewatan tulangan dinding geser daerah badan dinding = 910 mm

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perencanaan struktur bangunan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Dimensi Balok dan Sloof

- Lantai dasar
 - Sloof dengan dimensi penampang 400 mm × 600 mm.
- Lantai 1 s/d Lantai Atap
 - Balok B1 sebagai balok utama memiliki dimensi penampang 300 × 600 mm.
 - Balok B2 sebagai balok utama memiliki dimensi penampang 400 × 600 mm.
 - Balok BA1 sebagai balok anak tipe 1 memiliki dimensi penampang 300 × 500 mm.
 - Balok BA2 sebagai balok anak tipe 2 memiliki dimensi penampang 250 × 400 mm.
- Balok Bordes sebagai balok yang berada pada lantai bordes memiliki dimensi penampang 400 × 600 mm.

2. Dimensi Kolom

- Kolom K1 dengan dimensi penampang 800×800 mm tipikal dari elevasi ± 0.00 m s/d $+40.00$ m, sebagai Kolom Jalur Tepi Arah X dan Jalur Tepi Arah Y
 - Kolom K2 dengan dimensi penampang 900×900 mm tipikal dari elevasi ± 0.00 m s/d $+40.00$ m, sebagai Kolom Jalur Tengah
3. Tebal Pelat
 - Ketebalan pelat Lantai 1 sampai Lantai 9 direncanakan sebesar 130 mm.
 - Ketebalan pelat Lantai 10 atau *Rooftop* direncanakan sebesar 150 mm.
 - Ketebalan pelat bordes dan pelat tangga direncanakan sebesar 150 mm.
 4. Dimensi Dinding Geser

Pada struktur ini terdapat empat buah dinding geser yang dipasang pada arah Y dengan dimensi yang sama dan tipikal dari elevasi ± 0.00 m s/d $+40.00$ m.

 - Tebal dinding direncanakan sebesar 300 mm.
 - Dimensi *boundary element* yaitu 700×700 mm.
 - Panjang total sebesar 4200 mm.
 5. Struktur bangunan tidak memiliki ketidakberaturan horizontal dan vertikal.
 6. Elemen balok dan kolom telah memenuhi persyaratan "*Strong Column Weak Beam*" dalam Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yaitu kondisi dimana kuat lentur nominal kolom lebih besar dari 120% kuat lentur nominal balok ($\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$).
 7. Komponen struktur beserta penulangannya telah direncanakan mampu memikul momen lentur yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas momen nominal (M_n) lebih besar daripada momen yang bekerja akibat beban (M_u).
 8. Komponen struktur beserta penulangannya telah direncanakan mampu menahan gaya geser yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas geser nominal (V_n) lebih besar daripada gaya geser yang bekerja akibat beban (V_u).
 9. Komponen struktur beserta penulangannya telah direncanakan mampu menahan momen torsi yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kekuatan momen torsi nominal (T_n) lebih besar daripada momen torsi yang bekerja (T_u).
 10. Struktur yang direncanakan sudah memenuhi persyaratan Sistem Ganda. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa gaya seismik dalam arah Y yang dipikul oleh rangka balok-kolom sebesar 39,96% sudah melebihi 25%.

5. Saran

1. Disarankan agar seluruh tahapan perencanaan dan perhitungan struktur dilakukan dengan mengacu pada standar nasional yang berlaku. Perencanaan ketahanan gempa harus mengikuti ketentuan dalam SNI 1726:2019, perhitungan beban desain harus sesuai dengan SNI 1727:2020, serta perencanaan dan pendetailan elemen beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2019. Dengan menerapkan standar tersebut, diharapkan struktur bangunan ini dapat memenuhi kriteria kekuatan, efisiensi, dan keselamatan.
2. Disarankan agar perencanaan detail tulangan pada setiap elemen struktur dilakukan dengan cermat untuk memastikan daktilitas yang memadai. Pada elemen rangka pemikul momen, perlu diperhatikan ketentuan mengenai penempatan tulangan, jarak antar tulangan, serta panjang penyaluran tulangan untuk memastikan elemen rangka mampu berdeformasi secara plastis tanpa kehilangan kekuatan secara tiba-tiba.
3. Pada elemen dinding geser, penulangan vertikal dan horizontal harus memenuhi syarat minimum yang ditetapkan agar mampu menahan gaya geser dan momen akibat gempa. Ketebalan dinding, jarak antar tulangan, serta daerah elemen batas khusus (*boundary element*) juga perlu direncanakan dengan tepat agar dinding geser berperan efektif sebagai penahan gaya lateral sekaligus menjaga perilaku daktilitas struktur secara keseluruhan.
4. Pada proses pelaksanaan konstruksi, mutu material seperti mutu beton (f'_c), mutu baja tulangan (f_y), serta kualitas bekisting harus dipastikan sesuai dengan spesifikasi perencanaan. Pengujian beton seperti *Slump Test*, uji kuat tekan silinder, dan pemeriksaan kadar air dalam campuran perlu dilakukan secara berkala.

5. Pelaksanaan pekerjaan penulangan harus memperhatikan posisi, tebal selimut beton, panjang penyaluran tulangan, serta pembengkokan dan pengikatan tulangan sesuai detail gambar kerja. Kesalahan penempatan atau pengikatan tulangan dapat menurunkan kualitas elemen struktur dan berpotensi menyebabkan kegagalan lokal pada elemen beton bertulang.
6. Perencanaan struktur ini memiliki keterbatasan yang dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya. Analisis yang dilakukan masih terbatas pada pemodelan elastis linier dengan menggunakan data gempa rencana berdasarkan spektrum respons SNI 1726:2019. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan melakukan analisis nonlinier (misalnya analisis *Pushover*) untuk memperoleh gambaran yang lebih realistis terhadap perilaku inelastik struktur, khususnya dalam menilai kapasitas daktilitas sistem ganda.

Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasannya*, SNI 2847:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, SNI 1726:2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2020. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2024. *Baja Tulangan Beton*, SNI 2052:2024. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2024. *Aplikasi Perencanaan Bangunan Gedung Bertingkat Tinggi Tahan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019*, Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Lamia, N. W. M. T., Pandaleke, R. E., Handono, B. D. 2020. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Denah Bangunan Berbentuk "L"*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Resubun, J. H. R., Handono, B. D., Sumajouw, M. D. J. 2021. *Perencanaan Gedung Pertemuan dan Kantor yang Menggunakan Transfer Beam Beton Bertulang*. Skripsi Program S1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Ente, A. A. G., Sumajouw, M. D. J., Wallah, S. E. 2023. *Studi Komparasi Kinerja Gedung Bertingkat Sistem Ganda Rangka Pemikul Momen Khusus dan Menengah di Kota Manado*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 53-65.
- Dalo, Y. D., Handono, B. D., Wallah, S. E. 2019. *Studi Assessment Kerentanan Gedung Fakultas Hukum Universitas Samratulangi Manado Menggunakan Metode Pushover Analysis*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1117-1126.
- Boyoh, E. R., Windah, R. S., Dapas, S. O. 2019. *Perencanaan Hotel Konstruksi Beton Bertulang 12 Lantai di Jln. Ahmad Yani Kota Manado*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 913-922.
- Karisoh, P. H., Dapas, S. O., Pandaleke, R. 2018. *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus*. *Jurnal Sipil Statik*, 6(6), 361-372.
- Missi, R. S. P. J., Handono, B. D., Sumajouw, M. D. J. 2020. *Perencanaan Konstruksi Beton Bertulang Untuk Gedung Parkir*. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 383-394.
- Laily, R., Sumajouw, M. D. J., Wallah, S. E. 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai Di Kota Manado*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1095-1106.