

ANALISIS STRUKTUR GEDUNG TAHAN GEMPA DENGAN METODE SISTEM GANDA (DUAL SYSTEM)

Hendra¹, Lio Varan Zulkarnaen², Indah Rosanti³, Rona Ariyansyah⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Pontianak, Jalan Jenderal Ahmad Yani, Pontianak, 78124

e-mail: hendra97add@gmail.com; liovaran10@gmail.com; indah_rosanti@polnep.ac.id; ronaariyansyah@polnep.ac.id

ABSTRACT

Most parts of Indonesia are earthquake prone areas with medium and high intensity. In the process of constructing the building, it needs to pay attention to several aspects. One of it is the effect of the earthquake. Earthquakes always attack the joint structure so that the structure needs to be designed using the moment-bearing frame system method with the concept of strong columns and weak beams combined with shear walls, so that the building can muffle earthquake vibrations. The building of Lidra Hotel, located on Raya Sedau Street, Samudera Indah beach, Sungai Raya Kepulauan sub-District, Bengkayang Regency, West Kalimantan Province. The building consists of 17 floors with a height of 67 meters from the ground, reinforced concrete structure. Based on the results of the Standard Penetration Test, this building will be builded on medium ground (SD site class) and included in the Seismic Design Category (KDS) D, then the calculation of this building uses the Special Moment Resistant Frame System (SRPMK) combined with a shear wall, so it is called the Dual System Method. Earthquake load planning uses the 2017 Indonesia Earthquake Map using the spectrum response method according to SNI 1726-2019. Calculation of loading according to SNI 1727-2020 and PPPURG 1987, structural concrete requirements for buildings according to SNI 2847-2019, calculation of structural steel roof according to SNI 1729-2020. Based on the calculation of the roof some results were obtained the size of the column and the truss size IWF 148.100.6.9mm, CNP gording 150.50.20.3,2mm, 1 type of plate 130mm; 2 types of beams 350mm/700mm and 300mm/600mm; 4 types of columns, K1 1200mm x 600mm, K2 800mm x 800mm K3 1000mm x 500mm, and K4 700mm x 700mm; 1 type of shear wall 300mm; ladder plate and balustrade 130mm; 4 types of foundation 3600mm x 3600mm x 700mm – spun pile 9 D 600mm; 1500mm x 1500mm x 400mm – spun pile 4 D 350mm; 3000mm x 3000mm x 500mm – spun pile 9 D 500mm; 7600mm x 5600mm x 1000mm – spun pile 12 – 800mm.

Keywords: Building structure, Earthquake resistance, Dual system, Spectrum response.

ABSTRAK

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan wilayah rawan gempa dengan intensitas sedang maupun tinggi. Pembangunan yang dilakukan tentunya perlu memperhatikan beberapa aspek salah satunya adalah pengaruh gempa. Gempa selalu menyerang struktur bagian joint sehingga dirancang struktur dengan metode sistem rangka pemikul momen dengan konsep kolom kuat balok lemah dan dikombinasikan dengan dinding geser, sehingga bangunan dapat meredam getaran gempa. Bangunan gedung Hotel Lidra terletak di jalan Raya Sedau, pantai Samudera Indah, Kecamatan Sungai Raya Kepulauan, Kabupaten Bengkayang, Provinsi Kalimantan Barat. Bangunan terdiri atas 17 lantai dengan ketinggian 67meter dari muka tanah, struktur beton bertulang. Berdasarkan hasil Standart Penetration Test gedung ini akan didirikan di atas tanah kondisi sedang (kelas situs SD) dan termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, maka perhitungan gedung ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang dikombinasikan dengan dinding geser sehingga disebut dengan Metode Sistem Ganda. Perencanaan beban gempa menggunakan Peta Gempa Indonesia 2017 menggunakan metode respon spektrum sesuai SNI 1726-2019. Perhitungan pembebanan sesuai SNI 1727-2020 dan PPPURG 1987, persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung sesuai SNI 2847-2019, perhitungan atap baja struktural sesuai SNI 1729-2020. Hasil perhitungan atap didapat ukuran kolom dan kuda-kuda ukuran IWF 148.100.6.9mm, gording CNP 150.50.20.3,2mm, 1 jenis pelat 130mm; 2 jenis balok 350mm / 700mm, 300mm / 600mm; 4 jenis kolom, K1 1200mm x 600mm, K2 800mm x 800mm, K3 1000mm x 500mm, K4 700mm x 700mm; 1 jenis dinding geser 300mm; pelat tangga dan bordes 130mm; 4 jenis pondasi 3600mm x 3600mm x 700mm – spun pile 9 D 600mm; 1500mm x 1500mm x 400mm – spun pile 4 D 350mm; 3000mm x 3000mm x 500mm – spun pile 9 D 500mm; 7600mm x 5600mm x 1000mm – spun pile 12 – D 800mm.

Kata kunci: Struktur gedung, Tahan gempa, Sistem ganda, Respon spektrum.

PENDAHULUAN

Menurut Undang - Undang Nomor 28 Tahun 2002 mengenai bangunan gedung, bangunan gedung merupakan hal yang penting dalam menunjang kebutuhan dasar manusia dengan mewujudkan tertib penyelenggaraan bangunan gedung yang menjamin keandalan teknis bangunan gedung dari segi kesehatan, keselamatan, kenyamanan, dan kemudahan [1].

Indonesia adalah salah satu negara yang sering terkena bencana alam yaitu gempa bumi. Secara teknologi dan sains hal ini diakibatkan karena Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan lempeng Pasifik Indonesia [2].

Setelah dikeluarkannya SNI 03-1726-2019 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, wilayah Kalbar sudah masuk bagian wilayah gempa walaupun termasuk kecil. Bangunan gedung harus direncanakan untuk dapat bekerja secara daktilitas di mana bangunan hanya diperbolehkan mengalami kerusakan seperti keretakan saja tetapi tidak sampai runtuh sehingga meminimalisir korban jiwa, baik untuk daerah rawan gempa maupun tidak rawan gempa seperti Kalimantan Barat. Bangunan bertingkat tinggi rawan terhadap gaya-gaya lateral, terutama terhadap gaya lateral yang timbul oleh gempa. Gempa bumi merupakan suatu kejadian bergetarnya bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi di dalam perut bumi secara tiba-tiba dikarenakan adanya peningkatan aktivitas geologi yang terjadi dalam bumi, seperti terjadinya pergeseran lempeng bumi sehingga terjadinya gempa bumi [3].

Struktur beton bertulang bangunan gedung bertingkat tinggi, sangat berisiko tinggi terjadinya kegagalan pada struktur bangunannya jika tidak direncanakan dengan matang. Sangat diperlukan

perencanaan yang matang dan tepat, agar struktur bangunan gedung memenuhi kriteria seperti, keselamatan (*Safety*), kenyamanan (*Serviceability*), kekuatan (*Strenght*), dan umur rencana gedung (*Durability*) [4].

Struktur beton bertulang tahan gempa didesain secara khusus dengan menerapkan metode sistem pemikul momen dengan konsep kolom kuat balok lemah dan dikombinasikan dengan dinding geser sehingga diharapkan bangunan bersifat fleksibel dalam meredam getaran gempa serta merespon gempa dengan sikap bertahan dari keruntuhan. Tujuannya dapat merancang struktur beton bertulang tahan gempa dengan metode sistem ganda dan analisa gempa dengan respon spektrum yang merujuk pada SNI 1726-2019 (Tentang Ketahanan Gempa), SNI 2847-2019 (Tentang Beton Struktural), SNI 1227-2020 (Tentang Beban Minimum). Struktur gedung direncanakan oleh ahli teknik sipil maupun arsitek, agar efisien dan ekonomis. Seorang perancang harus mendesain elemen struktur bangunan gedung dengan benar dan tepat agar berfungsi dengan baik. Struktur Bangunan gedung memiliki beberapa elemen yang sering digunakan yaitu atap, balok, kolom, pelat lantai, dinding geser, tangga dan pondasi. Konstruksi atap terdiri dari rangka baja canai panas IWF yang terdiri rangka batang secara diagonal guna menyangga dari gording dan pelapis atap. Pelat lantai dan tangga merupakan elemen lentur miring atau horizontal utama yang menerima beban secara tegak lurus terhadap penampang yang kemudian menyalurkan beban hidup dan mati ke elemen pemikul beban vertikal yaitu balok [5].

Balok merupakan elemen struktur horizontal yang memikul beban tegak lurus dengan sumbu batang, baik beban terpusat ataupun beban merata yang kemudian diteruskan ke kolom secara gravitasi, balok tahan gempa tidak hanya memikul beban gravitasi namun juga

menahan beban lateral gempa yang masuk pada struktur dengan arah gerak bolak balik ke kiri dan ke kanan secara cepat. Kolom merupakan elemen struktur vertikal yang menyalurkan beban secara vertikal ke pondasi, kolom bekerja memikul beban dari pelat lantai dan balok. Kolom hanya dapat memikul beban aksial, namun biasanya kolom direncanakan memikul beban kombinasi lentur dan aksial. Selain beban gravitasi, kolom juga direncanakan memikul beban lateral gempa dan angin [6].

Dinding geser merupakan suatu elemen struktur vertikal yang bekerja memikul beban geser yang disebabkan oleh beban lateral gempa maupun angin agar efek simpangan atau getaran yang terjadi pada bangunan semakin kecil bahkan dapat diredam dengan baik [7].

Pondasi merupakan elemen pemikul beban suatu bangunan yang ditransferkan dari berat suatu bangunan dan kemudian disalurkan ke tanah keras. Pondasi beton bertulang bisa berbentuk pondasi lajur maupun pelat setempat, untuk daerah dengan kualitas daya dukung tanah rendah biasanya digunakan sistem pondasi rakit (*raft foundation*) beton bertulang sedangkan untuk gedung tinggi biasanya digunakan pondasi tiang pancang dan kepala poer [8].

Perpaduan sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser adalah suatu perpaduan dalam keadaan khusus, yang mana ada dua jenis struktur yang berbeda perilaku dan sifatnya kemudian dikombinasikan sehingga menjadikan struktur yang kuat dan efisien karena adanya perpaduan tersebut. Berdasarkan SNI 1726 – 2019 pasal 3.51.3, sistem ganda merupakan suatu sistem struktur kombinasi antara rangka pemikul momen dan dinding geser dengan sekurang-kurangnya mampu menahan 25% dari gaya gempa lateral pada rangka pemikul momen dan selebihnya ditahan oleh struktur dinding geser. Nilai

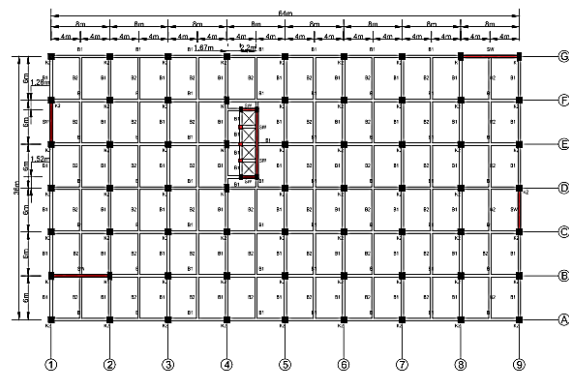
koefisien modifikasi respons (R^d) pada dinding geser beton bertulang khusus yang direkomendasikan dari tabel 12 SNI 1726 – 2019 untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan sistem ganda yakni 7. Sistem ganda biasanya dipakai pada desain gedung bertingkat tinggi di wilayah gempa menengah dan kuat, namun apabila untuk perencanaan jangka panjang di wilayah gempa kecil juga disarankan menggunakan sistem ganda agar meminimalisir apabila tiba-tiba terjadi gempa menengah atau pun kuat [9].

METODE PENELITIAN

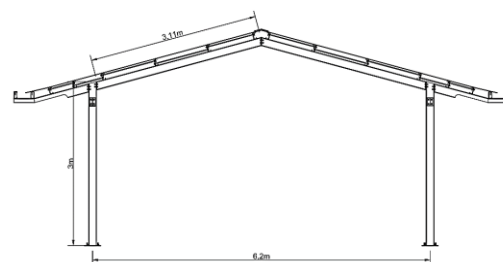
Analisis struktur pada bangunan Hotel Lidra memiliki beberapa metode agar mendapatkan hasil yang sesuai dan optimal. Data-data penunjang dapat untuk menentukan metode dikelompokkan menjadi 2 yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer diperoleh dari rancangan sendiri.

1. Gambar rencana



Gambar 1. Denah Struktur Balok, Kolom, dan Dinding Geser



Gambar 2. Struktur Kuda-Kuda Atap

2. Data mutu bahan

- Mutu Beton = 40 MPa
- Mutu baja = 420 MPa
- Rangka struktural = BJ37
- Plat sambung = BJ41
- Baut = A325
- Mutu Elektroda = Fe60xx

Data sekunder diperoleh dari lembaga instansi/perusahaan seperti, data tanah, data gempa, standar nasional indonesia, dan referensi.

1. Data tanah

Kedalaman Uji penetrasi standar atau SPT (*Standard Penetration Test*) dengan kedalaman 24m; sehingga didapat kelas situs SD (tanah sedang).

2. Data gempa

Zona gempa daerah Banda Aceh dengan $S_S = 1,4970$; $S_1 = 0,5971$; $S_{DS} = 1,00$; $S_{D1} = 0,68$; KDS D; faktor skala gempa dengan persamaan $(g \times I) / R_a = 1401,43 \text{ mm/s}^2$.

Melakukan *preliminary design* pada struktur sesuai dengan peraturan yang ada; menentukan kategori desain seismik dengan mencari nilai kelas situs berdasarkan nilai rata-rata SPT lalu menentukan spektrum respon desain pada web sitera.ciptakarya.pu.go.id/2021/dengan-penentuan-berdasarkan-koordinat-tempat-perencanaan.

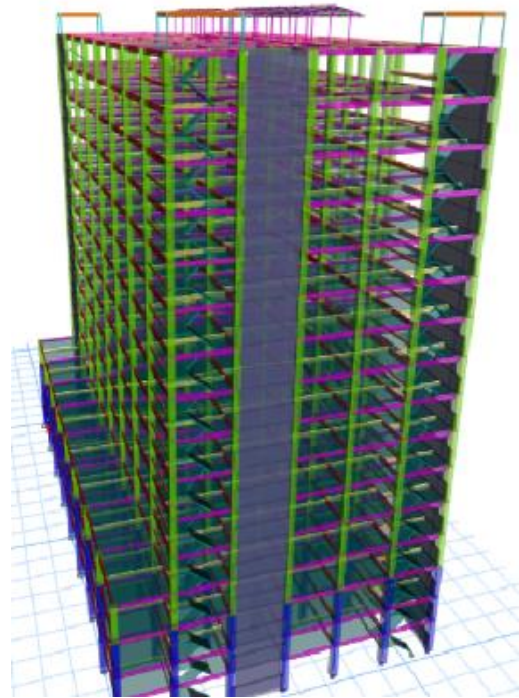


Gambar 3. Respon Spektrum

Sumber: Cipta Karya (2021)

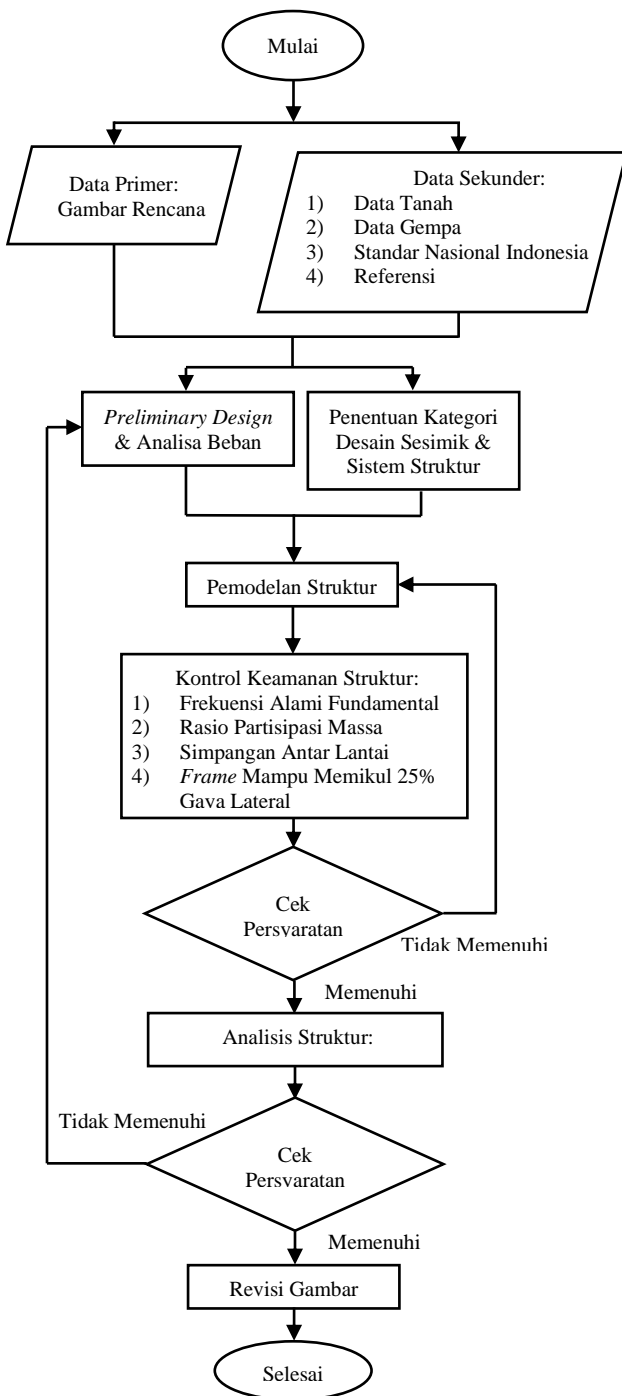
didapatlah kategori desain seismik sesuai tempat yang ditinjau; analisa beban yang bekerja di struktur harus bersumber pada aturan yang berlaku dan pemodelan geometri dengan bantuan aplikasi ETABS setelah pemodelan analisa gaya-gaya dalam pada struktur

dan setelah itu kontrol keamanan struktur berupa cek frekuensi alami fundamental, rasio partisipasi massa, simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726-2019 dari struktur yang telah dimodelkan apakah struktur aman atau tidak apabila aman maka lanjut ke analisis struktur jika tidak aman maka kembali ke pemodelan geometri.



Gambar 4. Pemodelan Geometri

Analisis struktur bangunan gedung mengacu kepada SNI terbaru yaitu SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton; SNI 1726-2019 tentang ketahanan gempa; SNI 1727-2020 dan PPPURG 1987 tentang beban minimum; SNI 1729-2020 tentang persyaratan baja struktural. Setelah analisis cek apakah sudah memenuhi persyaratan jika tidak memenuhi maka harus *preliminary design* kembali namun jika telah memenuhi langsung revisi gambar detail setelah itu beri saran dan kesimpulan. Garis besar langkah-langka dalam perhitungan struktur dapat dilihat pada *flowchart* **Gambar 4**.



Gambar 4. Diagram Alir.

HASIL dan PEMBAHASAN

Kontrol Perilaku Struktur

1. Frekuensi alami fundamental

$$T = T_a \cdot C_u$$

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$T = 3,964s$$

Tabel 1. Frekuensi Alami Fundamental

Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq
Modal	1	2.046	0.489	3.0712

2. Rasio partisipasi massa

Bersumber pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.1 hal 77 tentang analisis jumlah ragam getar alami.

Tabel 2. Rasio Partisipasi Massa

Case	Mode	UX	UY	RZ
Modal	1	0.650	0.000	0.001
Modal	20	0.956	0.957	0.931

3. Simpangan antar lantai

Tabel 3. Simpangan Arah X

Story	Delta _{xe}	Cd	Ie	Delta _x	Tinggi Tingkat	Delta Izin
Atap	3.81	5.5	1	20.96	3000	60
16	5.16	5.5	1	28.40	4000	80
15	4.89	5.5	1	26.90	4000	80
14	5.27	5.5	1	29.00	4000	80
13	5.50	5.5	1	30.22	4000	80
12	5.65	5.5	1	31.06	4000	80
11	5.75	5.5	1	31.63	4000	80
10	5.81	5.5	1	31.93	4000	80
9	5.81	5.5	1	31.94	4000	80
8	5.74	5.5	1	31.59	4000	80
7	5.59	5.5	1	30.73	4000	80
6	5.32	5.5	1	29.23	4000	80
5	4.91	5.5	1	27.01	4000	80
4	4.34	5.5	1	23.86	4000	80
3	3.53	5.5	1	19.40	4000	80
2	2.69	5.5	1	14.78	4000	80
1	1.24	5.5	1	6.83	4000	80
Dasar	0	5.5	1	0	4000	80

Tabel 4. Simpangan Arah Y

Story	Delta _{ye}	Cd	Ie	Delta _y	Tinggi Tingkat	Delta Izin
Atap	1.73	5.5	1	9.53	3000	60
16	4.42	5.5	1	24.30	4000	80
15	4.77	5.5	1	26.26	4000	80
14	4.98	5.5	1	27.40	4000	80
13	5.13	5.5	1	28.20	4000	80
12	5.27	5.5	1	28.99	4000	80

11	5.39	5.5	1	29.65	4000	80
10	5.47	5.5	1	30.09	4000	80
9	5.50	5.5	1	30.25	4000	80
8	5.46	5.5	1	30.03	4000	80
7	5.33	5.5	1	29.34	4000	80
6	5.09	5.5	1	28.00	4000	80
5	4.67	5.5	1	25.69	4000	80
4	4.06	5.5	1	22.34	4000	80
3	3.28	5.5	1	18.04	4000	80
2	2.49	5.5	1	13.70	4000	80
1	1.18	5.5	1	6.47	4000	80
Dasar	0	5.5	1	0	4000	80

Perhitungan Desain Struktur Atap

1. Perhitungan gording
Gording yang digunakan profil light lip channel 150 x 50 x 20 x 3,2mm dengan jarak antar gording 1m bentang gording 4m.
2. Perhitungan ikat angin
Ikat angin menggunakan besi beton diameter 8mm.
3. Perhitungan kuda-kuda, kolom dan ring balok
Kuda-kuda, kolom dan ring balok menggunakan profil IWF 148 x 100 x 6 x 9mm
4. Perhitungan sambungan
Sambungan baut menggunakan diameter 20mm berjumlah 4 baut.

Perhitungan desain struktur pelat lantai

Pelat lantai yang digunakan dengan tebal 130mm dengan ukuran tulangan pokok D13 dan tulangan susut Ø8 dengan jarak tulangan sebagai berikut:

Tabel 5. Struktur Pelat Lantai

Lantai	Jarak Tulangan Pokok				Tulangan Susut
	Arah X		Arah Y		
	M-	M+	M-	M+	
16	80	80	60	60	200
15	190	190	90	90	200
14	180	180	80	80	200
13	170	170	80	80	200
12	160	160	80	80	200
11	160	160	80	80	200
10	160	160	80	80	200

9	160	160	70	70	200
8	160	160	70	70	200
7	160	160	70	70	200
6	170	170	70	70	200
5	180	180	80	80	200
4	200	200	90	90	200
3	220	220	100	100	200
2	100	100	80	80	200
1	240	240	140	140	200

Perhitungan desain struktur balok SRPMK

Balok yang digunakan yaitu ada 2 yaitu balok anak dan balok induk. Balok anak ukuran 300/600 dengan panjang bentang 6000 mm sedangkan balok induk 350/700 dengan panjang bentang 8000 mm. Hasil perhitungan struktur balok dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Struktur Balok SRPMK

Tipe	Tul. Pokok	Tul. Pokok	Tul. Sengkang	Tul. Sengkang	Tul. Torsi
	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
Balok Induk	10D25	9D25	4D10-40	4D10-70	2D13
Balok Anak	10D22	5D22	4D10-90	4D10-100	2D13

Perhitungan desain struktur kolom SRPMK

Kolom yang digunakan ada 4 jenis dengan ketinggian kolom yaitu 4000 mm. Hasil dari perhitungan struktur kolom dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Struktur Kolom SRPMK

Jenis Kolom	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal Persegi		Panjang lo (mm)
		Tumpuan	Lapangan	
K1 600 x 1200	44D29	8D10 - 100	8D10 - 150	1200
K2 800 x 800	40D25	8D10 - 100	8D10 - 150	800
K3 500 x 1000	44D29	8D10 - 100	8D10 - 150	1000
K4 700 x 700	40D25	8D10 - 100	8D10 - 150	700

Perhitungan desain hubungan balok kolom

Hubungan balok kolom wajib diberi tulangan yaitu tulangan transversal, tulangan yang digunakan yaitu 4D13-70mm.

Perhitungan desain struktur dinding geser

Dinding geser yang digunakan dengan ketebalan 300mm dengan bentuk I dengan tulangan yang digunakan adalah 2D13-100mm.

Perhitungan desain struktur tangga dan bordes

Pelat tangga dan bordes yang digunakan dengan tebal 130mm dengan ukuran tulangan arah X D12 dan tulangan arah Y Ø8 dengan jarak tulangan sebagai berikut:

Tabel 8. Struktur Tangga dan Bordes

Lantai	Jarak Tulangan	
	Arah X	Arah Y
Pelat	200	100
Bordes	100	50

Perhitungan desain struktur pondasi

Pondasi yang digunakan terdapat 4 jenis pondasi dengan jarak tulangan *pilecap* 100mm dengan mutu kelas *spunpile* A1 untuk P1-P3 sedangkan P4 menggunakan mutu A2 kedalaman Pancang 20m. Bentuk pondasi yang digunakan yaitu persegi.

Tabel 9. Struktur Pondasi

Tipe	Jumlah tiang	Dimensi tiang	Ukuran <i>pile cap</i>	Diameter tulangan
P1	9	600	3600 x 3600 x 700	D25
P2	4	350	1500 x 1500 x 400	D22
P3	9	500	3000 X 3000 X 500	D22
P4	12	800	7600 x 5700 x 1000	D25

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung tahan gempa dengan metode sistem ganda (*dual system*) maka gedung yang dirancang telah masuk kategori tahan gempa berdasarkan hasil kontrol yang dilakukan. Kontrol frekuensi alami fundamental yang terjadi pada struktur 2,046s dan periode ijinnya 3,964s; rasio partisipasi massa juga telah tercapai dari peraturan SNI yaitu sebesar 90% sedangkan partisipasi massa yang terjadi pada gedung arah X 95,6%, arah Y 95,7% dan arah Z 93,1%; simpangan antar tingkat (*drift*) juga telah memenuhi dari simpangan tingkat yang diijinkan sebesar 80mm sedangkan yang terjadi dibawah 80mm untuk setiap lantainya baik arah X maupun arah Y. Hasil penulangan Hasil perhitungan atap didapat ukuran kolom dan kuda-kuda ukuran IWF 148.100.6.9mm, gording CNP 150.50.20.3,2mm, 1 jenis pelat 130mm; 2 jenis balok 350mm / 700mm, 300mm / 600mm; 4 jenis kolom, K1 1200mm x 600mm, K2 800mm x 800mm, K3 1000mm x 500mm, K4 700mm x 700mm; 1 jenis dinding geser 300mm; pelat tangga dan bordes 130mm; 4 jenis pondasi 3600mm x 3600mm x 700mm – spun pile 9 D 600mm; 1500mm x 1500mm x 400mm – spun pile 4 D 350mm; 3000mm x 3000mm x 500mm – spun pile 9 D 500mm; 7600mm x 5600mm x 1000mm – spun pile 12 – D 800mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.N.R. Indonesia, Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002, Jakarta: Direktorat Jenderal Perumahan dan Permukiman, Departement Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
- [2] R. P. Rahinda and Andaryati, "Perencanaan Struktur Gedung Hotel Leko Menggunakan Sistem

- Ganda Di Kota Belitong," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 6, no. 3, pp. 171-180, 2018.
- [3] Suryani, Fran Sinta, Dkk, "Analisa Perbandingan Berbagai Penampang Dinding Geser Komposit Akibat Beban Lateral," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2012.
- [4] Standar Nasional Indonesia, "Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan struktur Lain," *1727-2020*, 2020.
- [5] A. Setiawan, Perancangan Struktur Beton Bertulang, Jakarta: Erlangga, 2016.
- [6] Y. Lesmana, Konsep Dan Desain Sistem Rangka Momen Khusus (SRMK) Beton Bertulang Tahan Gempa, Surabaya: CV. Budi Utama, 2019.
- [7] Y. Lesmana, Handbook Analisa dan Desain Shear Wall Beton Bertulang Dual System, Makassar: C.V Nas Media Pustaka, 2020.
- [8] A. Pamungkas and E. Harianti, Desain Pondasi Tahan Gempa, Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET, 2013.
- [9] Standar Nasional Indonesia, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," *1726-2019*, 2019.
- [10] Standar Nasional Indonesia, "Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung," 1987.
- [11] Standar Nasional Indonesia, "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan," *2847-2019*, 2019.
- [12] Standar Nasional Indonesia, "Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural," *1729-2020*, 2020.
- [13] R. Purwono and P. Aji, Disain Kapasitas Struktur Daktail Tahan Gempa Kuat, Serabaya: ITS Press, 2013.
- [14] E. Arifi and D. Setyowulan, Perencanaan Struktur Baja (Berdasarkan SNI 1729:2020), Malang: UB Press, 2020.