E-ISSN: 3025-0994
Halaman 5601-5623
Volume 4 Nomor 4 Tahun 2026

Perencanaan Struktur Gedung 12 Lantai dengan Menggunakan Dual System (Sistem Ganda) di Kulon Progo

Yasmin Nabila Assyifa[1], Sulardi[2], Dyah Anggraini[3], Purwanto Joko Slameto[4], Didiek Pramono[5*]

[1,2,3,4,5] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Gunadarma, Indonesia
e-mail: didiekpramono09@gmail.com

Abstrak

Pembangunan Gedung Fakultas Kedokteran 12 Lantai dengan tinggi total 50,4 meter di Kulon Progo dirancang untuk mendukung kegiatan pendidikan, penelitian, dan pelayanan akademik bidang kesehatan. Bangunan berada pada tanah lunak (SE) dengan PI > 20%, w ≥ 40%, Su < 25 kPa, SDS 0,717, dan SD1 0,6943, sehingga termasuk Kategori Risiko IV dan Kategori Desain Seismik (KDS) D. Sistem struktur menggunakan sistem ganda (dual system) berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser (shear wall) beton bertulang sesuai SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan SNI 1727:2020. Analisis gempa dilakukan secara dinamik dengan metode respons spektrum dan menunjukkan struktur memenuhi persyaratan kekakuan, stabilitas lateral, serta simpangan antar lantai. Perancangan struktur gedung ini bertujuan untuk memperoleh demensi dan tulangan struktur atas dan bawah (pondasi) beserta anggaran biaya struktur. Dari perancangan diperoleh hasil sebagai berikut : Balok induk B1 berukuran 650 × 900 mm menggunakan tulangan lentur tumpuan atas 5D25, tumpuan bawah 4D25, lapangan atas 4D25, lapangan bawah 4D25, serta tulangan geser D13-100 pada tumpuan dan lapangan. Balok anak B2 berukuran 550 × 800 mm menggunakan tulangan 4D25, 3D25, 3D25, dan 4D25, serta geser D10-100. Kolom K1 1450 × 1450 mm menggunakan 36D29, K2 1200 × 1200 mm menggunakan 32D25, dan K3 1100 × 1100 mm menggunakan 28D25; sengkang tumpuan masing-masing D13-50, lapangan D13-300, dengan pengekang berturut-turut 8D13, 4D13, dan 3D13. Pelat lantai dan atap setebal 120 mm menggunakan D13-200 pada arah X dan Y. Dinding geser terdiri atas Pier 1 sepanjang 7000 mm, Pier 2 berukuran 3500 × 5000 mm, Pier 3 sepanjang 6600 mm, dan Pier 4 berukuran 3500 × 6600 mm, seluruhnya menggunakan boundary element 900 mm, tulangan longitudinal D29-150, dan sengkang dua lapis D19-150. Raft berukuran 50.000 × 47.000 mm menggunakan tulangan atas X 250D25-200, bawah X 478D25-100, atas Y 235D25-200, dan bawah Y 450D25-100. Bored pile berdiameter 1.000 mm menggunakan 21D22 dan tulangan transversal D16-54. Total Rencana Anggaran Biaya Struktur setelah PPN diperoleh sebesar Rp 102.499.162.168,16 dan Total Rencana Anggaran Biaya SMKK setelah PPN diperoleh sebesar Rp 358.887.200,00.

Kata Kunci: Sistem Ganda, Dinding Geser, SRPMK, Beton Bertulang

Abstract

The 12-story Faculty of Medicine Building in Kulon Progo, with a total height of 50.4 m, is designed to support educational, research, and academic healthcare activities. The building is located on soft soil (SE) with PI > 20%, w ≥ 40%, Su < 25 kPa, SDS 0,717, and SD1 0,6943, and is classified as Risk Category IV and Seismic Design Category (SDC) D. The structural system adopts a dual system consisting of a Special Moment-Resisting Frame (SMRF) and reinforced concrete shear walls in accordance with SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, and SNI 1727:2020. Dynamic seismic analysis using the response spectrum method confirms that the structure satisfies stiffness, lateral stability, and inter-story drift requirements. The structural design of this building aims to determine the dimensions and reinforcement for both the superstructure and substructure (foundation), as well as the structural cost estimate. The design process yielded the following results: The main beam B1 (650 × 900 mm) uses 5D25, 4D25, 4D25, and 4D25 longitudinal reinforcement at the top support, bottom support, top midspan, and bottom midspan regions, respectively, with D13-100 shear reinforcement. Beam B2 (550 × 800 mm) uses 4D25, 3D25, 3D25, and 4D25 reinforcement with D10-100 shear reinforcement. Columns K1 (1450 × 1450 mm), K2 (1200 × 1200 mm), and K3 (1100 × 1100 mm) use 36D29, 32D25, and 28D25 longitudinal reinforcement, respectively, with D13-50 reinforcement at support regions and D13-300 at mid-height regions. Floor and roof slabs are 120 mm thick with D13-200 reinforcement in both directions. The shear wall system consists of four pier types, all incorporating 900 mm boundary elements, D29-150 longitudinal reinforcement, and two layers of D19-150 transverse reinforcement. The raft foundation measures 50.000 × 47.000 mm and uses D25 reinforcement in both directions. The 1.000 mm diameter bored piles use 21D22 longitudinal reinforcement and D16-54 transverse reinforcement. The total structural construction cost estimate, including Value Added Tax (VAT), was IDR 102.499.162.168,16, while the total Occupational Safety and Health Management System (SMKK) cost estimate, including VAT, was IDR 358,887,200.00.

Keywords : Dual System, Shear Wall, Special Moment-Resisting Frame, Reinforced Concrete

LATAR BELAKANG

Perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi harus mempertimbangkan aspek fungsi, keamanan, kekuatan, kekakuan, kestabilan, estetika, dan ekonomis. Struktur harus mampu memberikan keamanan dan kenyamanan tanpa menimbulkan penggunaan material yang berlebihan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan dimensi elemen struktur yang optimal agar kapasitas bangunan dalam menahan beban tetap terpenuhi secara efisien (Diansyah & Khatulistiani, 2019).

Perencanaan Gedung Kampus 12 lantai berlokasi di Kulon Progo menggunakan material beton bertulang dengan kondisi tanah lunak. Berdasarkan Desain Spektra Indonesia, lokasi tersebut memiliki nilai SDS sebesar 0,717 dan SD1 sebesar 0,6943 yang

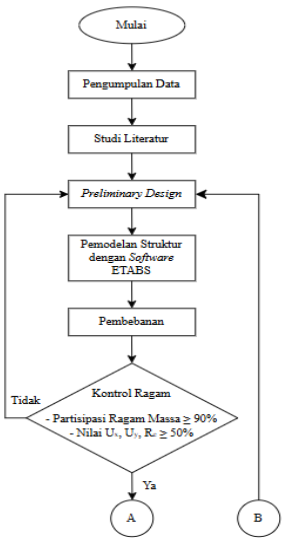
termasuk dalam kategori desain seismik D untuk risiko IV (SNI 1726:2019). Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem struktur yang mampu meningkatkan kekakuan dan kestabilan bangunan dalam menghadapi beban gempa.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, digunakan sistem struktur ganda (dual system), yaitu kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan dinding geser (shear wall). Sistem ini dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa, dengan dinding geser memikul sekurang-kurangnya 75% dari total gaya lateral yang bekerja sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Sistem ganda diterapkan pada gedung dengan ketinggian total 50,4 meter untuk meningkatkan kinerja struktur terhadap beban gempa.

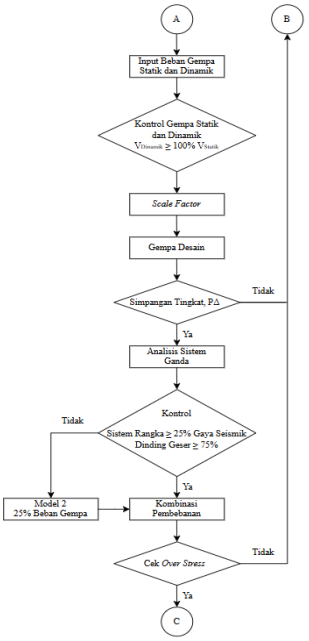
Analisis respons gempa dilakukan menggunakan metode analisis dinamik karena gedung memiliki ketinggian lebih dari 40 meter dan termasuk bangunan bertingkat tinggi. Metode ini digunakan untuk memperoleh respons struktur terhadap beban gempa secara lebih akurat serta memastikan perencanaan memenuhi persyaratan ketahanan gempa berdasarkan SNI 1726:2019.

METODE

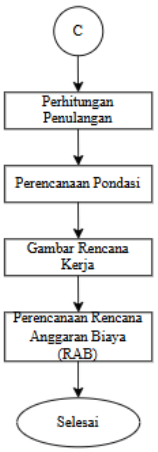
Perencanaan Struktur Gedung harus dilakukan dengan metode yang sesuai dengan standar yang berlaku. Adapun diagram alir yang digunakan pada perencanaan struktur gedung adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Perencanaan Struktur Gedung



Gambar 2. Perencanaan Struktur Gedung (Lanjutan)

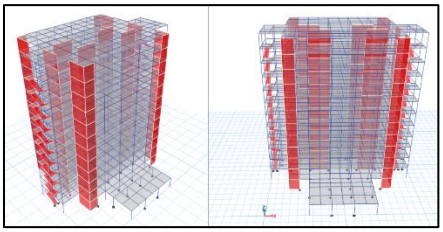


Gambar 3. Perencanaan Struktur Gedung (Lanjutan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Hasil dari pemodelan gedung 12 lantai yang terdiri dari pelat, balok, kolom dan *shearwall* pada Aplikasi Analisa Pemodelan Struktur.



Gambar 4. Pemodelan Gedung

Preliminary Design

Berikut merupakan tabel rekapitulasi *preliminary design* setiap bagian struktur lantai 1 – 12.

Tabel 1 Rekapitulasi Dimensi Balok

Tipe	Dimensi		Cek		Cek	
	b	h	b ≥ 0,3 h	Hasil	b ≥ 250 mm	Hasil
Balok Induk	300	400	120	Memenuhi	250	Memenuhi
Balok Anak	300	350	105	Memenuhi	250	Memenuhi

Tabel 2 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Tipe	brencana (mm)	Hrencana (mm)
K1 (LT 1 - 12)	400	400
K2 (LT 1)	350	350
K3 (LT 1 - 12)	350	350

Tabel 3 Rekapitulasi Dimensi Pelat

Pelat	Tebal (mm)
Pelat Atap dan Pelat Lantai	120

Tabel 4 Rekapitulasi Tebal *Shearwall*

Tipe	Ketinggian (mm)	Panjang (mm)	Tebal (mm)
SW1	4200	7000	350
SW2	4200	6600	350
SW3	4200	5400	350
SW4	4200	3500	350

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, simpangan antar lantai masih tidak memenuhi persyaratan. Maka perencanaan ulang dilakukan dengan memperbesar elemen-elemen struktur rencana, menganalisis kembali beban gempa yang bekerja serta melakukan kontrol desain.

a. Balok
    1. Balok Induk (B1) = 650 x 900 mm
    2. Balok Anak (B2) = 550 x 800 mm
b. Kolom
    1. Kolom K1 = 1.450 x 1.450 mm
    2. Kolom K2 = 1.200 x 1.200 mm
    3. Kolom K3 = 1.100 x 1.100 mm
c. Pelat
    1. Pelat Lantai = 120 mm
    2. Pelat Atap = 120 mm

d. Dinding Geser
   1. Pier 1 = 7.000 mm dengan tebal 650 mm
   2. Pier 2 = 3.500 mm (horizontal) dan 5.000 mm (vertikal) dengan tebal 650 mm
   3. Pier 3 = 6.600 mm dengan tebal 650 mm
   4. Pier 4 = 3.500 mm (horizontal) dan 6.000 mm (vertikal) dengan tebal 650 mm

Klasifikasi Situs

Berdasarkan hasil laboratorium tanah termasuk ke dalam klasifikasi situs SE (Tanah Lunak) karena memiliki mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik yaitu: Indeks Plastisitas (PI) > 20 %, Kadar Air (w) ≥ 40 % dan Kuat Geser Niralir (Su) < 25 kPa sesuai dengan syarat klasifikasi situs.

Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keamanan Gempa

Dalam perencanaan ini, gedung fakultas masuk di dalam kategori IV dengan mengacu pada pedoman SNI 1726:2019 dengan faktor keutamaan gempa I_e (1,5).

Kategori Desain Seismik

Parameter respons percepatan pada periode pendek dengan nilai S_{DS} 0,717 termasuk dalam kategori risiko D. Selain itu, berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik, dengan nilai S_{D1} 0,6943 termasuk dalam kategori risiko D.

Sistem Struktur

Menentukan sistem penahan gaya seismik perlu adanya penentuan nilai modifikasi respons yang sesuai (R^a), koefisien amplifikasi defleksi (C_d^c) dan nilai faktor kuat lebih sistem (Ω_0^b) berdasarkan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

1. R^a = 7
2. Ω_0^b = 2,5
3. C_d^c = 5,5

Analisis Mode Ragam

Untuk memenuhi persyaratan SNI 1726:2019, jumlah ragam yang dianalisis harus mampu mencapai partisipasi massa ragam terkombinasi sekurang-kurangnya 90% dan Nilai UX, UY, RZ sekurang-kurangnya 50%. Evaluasi terhadap partisipasi massa ragam tersebut memberikan hasil sebagai berikut.

Tabel 5 *Modal Load Participation Ratios*

Case	*ItemType*	*Item*	*Static*	*Dynamic*
			%	%
Modal	*Acceleration*	UX	100	98,98
Modal	*Acceleration*	UY	100	99,08
Modal	*Acceleration*	UZ	0	0

Tabel 6 *Modal Participating Mass Ratios*

Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
		sec					
Modal	1	1,033	0,654	0,050	0,654	0,050	0,000
Modal	2	0,960	0,051	0,650	0,705	0,700	0,000
Modal	3	0,737	0,000	0,000	0,705	0,700	0,693
Modal	4	0,270	0,144	0,003	0,849	0,703	0,000
Modal	5	0,249	0,002	0,150	0,851	0,853	0,000
Modal	6	0,190	0,000	0,000	0,851	0,853	0,156
Modal	7	0,122	0,061	0,000	0,912	0,853	0,000
Modal	8	0,112	0,000	0,063	0,913	0,916	0,000
Modal	9	0,086	0,000	0,000	0,913	0,916	0,066
Modal	10	0,071	0,034	0,000	0,947	0,916	0,000
Modal	11	0,066	0,000	0,034	0,947	0,950	0,000
Modal	12	0,052	0,000	0,000	0,947	0,950	0,037
Modal	13	0,048	0,021	0,000	0,968	0,950	0,000
Modal	14	0,046	0,000	0,020	0,968	0,971	0,000
Modal	15	0,036	0,004	0,000	0,972	0,971	0,019
Modal	16	0,036	0,010	0,000	0,982	0,971	0,003
Modal	17	0,035	0,000	0,013	0,982	0,983	0,000
Modal	18	0,028	0,008	0,000	0,989	0,983	0,002
Modal	19	0,028	0,000	0,008	0,989	0,991	0,000
Modal	20	0,028	0,001	0,000	0,990	0,991	0,010

Berdasarkan Tabel 5, modal pertama didominasi translasi arah X sebesar 65,4% dengan periode 1,033 detik, sedangkan modal kedua didominasi translasi arah Y sebesar 65% dengan periode 0,96 detik. Modal ketiga didominasi oleh rotasi sebesar 69,3% dengan periode 0,737 detik.

Sementara itu, Tabel 6 menunjukkan bahwa partisipasi massa ragam terkombinasi pada analisis statik mencapai 100% untuk kedua arah. Pada analisis dinamik, partisipasi massa mencapai 98,98% untuk arah X dan 99,08% untuk arah Y. Dengan demikian, partisipasi massa telah memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1, dengan kontribusi translasi dan rotasi yang dilaporkan telah melebihi 50%.

Penentuan Periode Desain

Maka perioda desain yang akan digunakan sesuai dengan persyaratan penggunaan perioda desain adalah sebagai berikut.

Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka $T = T_c$

$0{,}9231 < 1{,}033 < 1{,}292$, maka $T_x = 1{,}033$ detik.

Jika $T_a < T_c < C_u \times T_a$, maka $T = T_c$

$0{,}9231 < 0{,}960 < 1{,}292$, maka $T_y = 0{,}960$ detik.

Perhitungan koefisien respons seismik berdasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$

$= \frac{0,717}{\left(\frac{7}{1,5}\right)}$

= 0,1537

$C_{s(x,max)} = \frac{S_{D1}}{\left(T_x \frac{R}{I_e}\right)}$

$= \frac{0,6943}{\left(1,033\frac{7}{1,5}\right)}$

= 0,144

Persyaratan nilai C_s adalah sebagai berikut.

$C_{smin} = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01$

$= 0,44 \times 0,717 \times 1,5 \geq 0,01$

= 0,0473 ≥ 0,01

Maka nilai koefisien seismik yang digunakan adalah C_{sx} = 0,144 dan C_{sy} = 0,154.

Gaya Geser Dasar

Gaya Geser Dasar Seismik dapat dihitung berdasarkan pasal 7.8.1 SNI 1726:2019 sebagai berikut.

$V_x = C_{sx} \times W$

$= 0,144 \times 3.017.348,370$

= 44.886,638kN

$V_y = C_{sy} \times W$

$= 0,154 \times 3.017.348,370$

= 47.889,554 kN

Distribusi Gaya Seismik

Distribusi gaya gempa statik per-lantai dihitung berdasarkan pasal 7.8.3 SNI 1726:2019. Perhitungan distribusi gaya gempa statik adalah sebagai berikut.

1. Interpolasi nilai K untuk nilai periode desain pada rentang 0,5 < T < 2,5

$$K_x = K_1 + \left[\frac{(T_x - T_1)}{(T_2 - T_1)}(K_2 - K_1)\right]$$

2. Gaya gempa statik tiap lantai

$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i \times h_x^k}$$

$$F_x = C_{vx} \times V_x$$

Tabel 7 Rekapitulasi Distribusi Gaya Seismik Vertikal Arah X

Story	hi	Wi kN	k	Wihi^k kN.m	CV	Fx kN
*Story*12	50,4	17572,725	1,267	2517487,846	0,121	5452,306
*Story*11	46,2	26371,501	1,267	3383793,974	0,163	7328,528
*Story*10	42,0	26459,828	1,267	3009069,624	0,145	6516,960
*Story*9	37,8	26459,828	1,267	2633178,951	0,127	5702,866
*Story*8	33,6	26459,828	1,267	2268274,994	0,109	4912,567
*Story*7	29,4	26459,828	1,267	1915353,344	0,092	4148,219
*Story*6	25,2	26459,828	1,267	1575653,778	0,076	3412,508
*Story*5	21,0	26459,828	1,267	1250770,838	0,060	2708,885
*Story*4	16,8	26459,828	1,267	942846,983	0,045	2041,992
*Story*3	12,6	26459,828	1,267	654947,224	0,032	1418,467
*Story*2	8,4	26459,828	1,267	391910,344	0,019	848,789
*Story*1	4,2	29590,079	1,267	182176,082	0,009	394,552
Total		311672,754		20725463,980	1	44886,638

Tabel 8 Rekapitulasi Distribusi Gaya Seismik Vertikal Arah Y

Story	hi	Wi kN	k	Wihi^k kN.m	CV	Fy kN
*Story*12	50,4	17572,725	1,230	2181868,980	0,120	5726,476
*Story*11	46,2	26371,501	1,230	2942012,276	0,161	7721,529
*Story*10	42	26459,828	1,230	2625328,405	0,144	6890,368
*Story*9	37,8	26459,828	1,230	2306226,319	0,126	6052,861
*Story*8	33,6	26459,828	1,230	1995190,285	0,109	5236,524
*Story*7	29,4	26459,828	1,230	1692989,352	0,093	4443,376
*Story*6	25,2	26459,828	1,230	1400585,660	0,077	3675,941
*Story*5	21	26459,828	1,230	1119223,300	0,061	2937,484
*Story*4	16,8	26459,828	1,230	850584,426	0,047	2232,422
*Story*3	12,6	26459,828	1,230	597094,101	0,033	1567,118
*Story*2	8,4	26459,828	1,230	362618,980	0,020	951,720
*Story*1	4,2	29590,079	1,230	172879,205	0,009	453,734
Total	Total	311672,754		18246601,290	1	47889,554

Gaya Geser Statik Tiap Lantai

Gaya geser statik tiap lantai dihitung berdasarkan pasal 7.8.4 SNI 1726:2019. Perhitungan gaya statik tiap lantai adalah sebagai berikut.

$V_{12x} = F_{12x}$
$= 5.452,306$ kN

$V_{11x} = V_{12x} + F_{11x}$
$= 5.452,306 + 7.328,528$
$= 12.780,833$ kN

Tabel 9 Rekapitulasi Distribusi Gaya Seismik Horizontal

Story	Fx kN	Vx	Fy kN	Vy
*Story*12	5452,306	5452,306	5726,476	5726,476
*Story*11	7328,528	12780,833	7721,529	13448,005
*Story*10	6516,960	19297,793	6890,368	20338,374
*Story*9	5702,866	25000,660	6052,861	26391,235
*Story*8	4912,567	29913,227	5236,524	31627,759
*Story*7	4148,219	34061,447	4443,376	36071,135
*Story*6	3412,508	37473,954	3675,941	39747,076
*Story*5	2708,885	40182,839	2937,484	42684,560
*Story*4	2041,992	42224,831	2232,422	44916,982
*Story*3	1418,467	43643,298	1567,118	46484,099
*Story*2	848,789	44492,087	951,720	47435,819
*Story*1	394,552	44886,638	453,734	47889,554

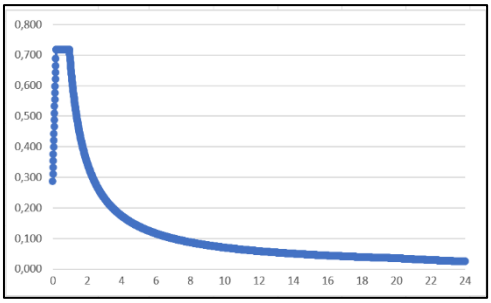
Gaya Dinamik Respon Spektra

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.4 apabila spektrum respons desain dipersyaratkan oleh peraturan ini dan prosedur analisis gerak tanah spesifik lokasi tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus disusun serta memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan sebagai berikut.

Tabel 10 Desain Respon Spektrum

Ketentuan		Ket.	T	Sa
$T < T_0$	$S_a = S_{DS}\left(0,4 + 0,6\frac{T}{T_0}\right)$		0	0,287
			0,05	0,398
		T_0	0,19	0,717
			0,2	0,717
$T_s < T < T_0$	$S_a = S_{DS}$		0,3	0,717
			0,4	0,717
			0,5	0,717
			0,6	0,717
			0,7	0,717
			0,8	0,717
			0,9	0,717
		T_s	0,97	0,717
$T_0 < T < T_L$	$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$		2	0,347
			4	0,174
			6	0,116
			8	0,087
			10	0,069
			12	0,058
			14	0,050
			16	0,043
			18	0,039
		T_L	20	0,035
$T > T_L$	$Sa = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2}$		22	0,029
			24	0,024

Kurva Spektrum Respons Desain harus mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 6.4 yang dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 4 Kurva Spektrum Respons Desain

Hasil Perhitungan Respon Spektra Manual dapat dilihat pada Tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 11 Hasil Respon Spektra Manual

Output Case	*Case Type*	*Step Type*	FX	FY
			kN	kN
EDx	LinRespSpec	Max	32843,979	7322,632
EDy	LinRespSpec	Max	7322,632	34538,574

Pembebanan gempa dinamik respons spektra juga dapat dilakukan dengan menggunakan kurva respons spektra secara otomatis ASCE 7-16 pada *Software* Aplikasi Analisa Struktur seperti pada Tabel 12 sebagai berikut.

Tabel 12 Hasil Respon Spektra Otomatis

Output Case	*Case Type*	*Step Type*	FX	FY
			kN	kN
EDx	LinRespSpec	Max	33233,546	7403,210
EDy	LinRespSpec	Max	7403,210	35197,3685

Maka hasil perbandingan nilai gaya geser dinamik dengan menggunakan kedua metode tersebut yaitu spektra manual dan spektra otomatis *Software* Aplikasi Analisa Struktur struktur dapat dilihat pada Tabel 13 sebagai berikut.

Tabel 13 Perbandingan Hasil Respon Spektra Manual dan Otomatis

No	Gaya Geser Seismik	Vx	Vy
		kN	kN
1	Respon Seismik Manual	32843,979	34538,574
2	Respon Seismik Otomatis	33233,546	35197,3685

Dari Tabel 13 dapat disimpulkan bahwa perhitungan menggunakan program *Software* Aplikasi Analisa Struktur berdasarkan ASCE 7-16 sudah sesuai dengan SNI 1726:2019 karena nilai yang didapat hampir mendekati maka untuk perhitungan selanjutnya menggunakan hasil respon spektra otomatis.

Relasi Beban Gempa Statik dan Dinamik

Berdasarkan SNI 1726:2019, apabila nilai gaya geser dasar dari analisis dinamik lebih kecil dari gaya geser dasar statik ($V_{DINAMIK}$ = 100%V_{STATIK}), maka hasil analisis dinamik harus diskalakan sehingga memenuhi persyaratan minimum.

Tabel 14 Gaya Geser Statik Tiap Lantai

Story	STATIK		DINAMIK	
	V_x	V_y	V_x	V_y
	kN	kN	kN	kN
Story12	5452,306	5726,476	4306,886	4535,719
Story11	12780,833	13448,005	9802,191	10384,212
Story10	19297,793	20338,374	14425,453	15326,672
Story9	25000,660	26391,235	18358,218	19531,387
Story8	29913,227	31627,759	21745,808	23142,704
Story7	34061,447	36071,135	24674,917	26251,675
Story6	37473,954	39747,076	27187,596	28905,136
Story5	40182,839	42684,560	29293,365	31114,999
Story4	42224,831	44916,982	30974,856	32865,836
Story3	43643,298	46484,099	32197,964	34128,810
Story2	44492,087	47435,819	32930,702	34882,212
Story1	44886,638	47889,554	33233,546	35197,369

Tabel 15 Hasil Perhitungan Relasi Gaya Gempa

Relasi Gaya Gempa		
Gaya Gempa	V_x	V_y
	kN	kN
Statik	46159,408	49659,211
Dinamik	33233,546	35197,3685

Berdasarkan Tabel 15 dan Tabel 5.22 karena ($V_{Dinamik}$ < 1,0V_{Statik}) maka beban gempa dinamik harus dikalikan dengan faktor skala, maka rumus skala faktor adalah sebagai berikut.

$$\text{Skala Faktor} = \frac{V_{STATIK}}{V_{DINAMIK}}$$

Penyesuaian terhadap skala faktor berdampak langsung pada hasil analisis di *Software* Aplikasi Analisa Struktur, hasil skala gaya yang sudah skala faktorkan adalah sebagai berikut.

Tabel 16 Hasil Skala Faktor

Story	DINAMIK		SKALA GAYA		DINAMIK TERKOREKSI	
	V_x	V_y	X_{dir}	Y_{dir}	V_x	V_y
	kN	kN			kN	kN
Story12	4306,886	4535,719	1,389	1,411	5982,007	6299,843
Story11	9802,191	10384,212			13614,657	14650,861
Story10	14425,453	15326,672			20036,092	21624,072
Story9	18358,218	19531,387			25498,468	27556,414
Story8	21745,808	23142,704			30203,627	32651,544
Story7	24674,917	26251,675			34271,984	37037,924
Story6	27187,596	28905,136			37761,946	40781,635
Story5	29293,365	31114,999			40686,733	43899,483
Story4	30974,856	32865,836			43022,222	46369,702
Story3	32197,964	34128,810			44721,046	48151,605
Story2	32930,702	34882,212			45738,777	49214,564
Story1	33233,546	35197,369			46159,408	49659,211

Beban Gempa Desain

Berdasarkan hasil perbandingan antara analisis gempa statik dan dinamik, ditentukan gaya gempa desain sebagai dasar perencanaan struktur. Gaya gempa desain ini ditentukan dengan mempertimbangkan gaya geser statik minimum sebesar 100%, sesuai ketentuan, serta gaya geser hasil analisis dinamik menggunakan metode respons spektrum. Nilai gaya geser desain yang digunakan adalah nilai maksimum antara gaya geser statik penuh (100%) dan gaya geser dinamik yang telah dikoreksi (diskalakan sesuai ketentuan dalam SNI 1726:2019). Rincian hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 17 Gaya Geser Desain Tiap Lantai

STATIK		100% VSTATIK		DINAMIK TERKOREKSI		GAYA GESER DESAIN	
V_x	V_y	V_x	V_y	V_x	V_y	V_x	V_y
kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
5452,31	5726,48	5452,31	5726,48	5982,01	6299,84	5982,01	6299,84
12780,83	13448,01	12780,83	13448,01	13614,66	14650,86	13614,66	14650,86
19297,79	20338,37	19297,79	20338,37	20036,09	21624,07	20036,09	21624,07
25000,66	26391,23	25000,66	26391,23	25498,47	27556,41	25498,47	27556,41
29913,23	31627,76	29913,23	31627,76	30203,63	32651,54	30203,63	32651,54
34061,45	36071,13	34061,45	36071,13	34271,98	37037,92	34271,98	37037,92
37473,95	39747,08	37473,95	39747,08	37761,95	40781,63	37761,95	40781,63
40182,84	42684,56	40182,84	42684,56	40686,73	43899,48	40686,73	43899,48
42224,83	44916,98	42224,83	44916,98	43022,22	46369,70	43022,22	46369,70
43643,30	46484,10	43643,30	46484,10	44721,05	48151,61	44721,05	48151,61
44492,09	47435,82	44492,09	47435,82	45738,78	49214,56	45738,78	49214,56
44886,64	47889,55	44886,64	47889,55	46159,41	49659,21	46159,41	49659,21

Gaya Gempa Lateral Desain

Gaya gempa lateral desain tiap lantai didapat dari gaya geser tiap lantai desain hasil analisis sebelumnya. Gaya gempa pada suatu lantai merupakan selisih dari gaya geser antar lantai tersebut, sehingga nilainya masing-masing dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 18 Gaya Gempa Desain

GAYA GESER DESAIN		GEMPA DESAIN	
V_x	V_y	F_X	F_Y
kN	kN	kN	kN
5982,007	6299,843	5982,007	6299,843
13614,657	14650,861	7632,650	8351,018
20036,092	21624,072	6421,435	6973,211
25498,468	27556,414	5462,376	5932,342
30203,627	32651,544	4705,159	5095,130
34271,984	37037,924	4068,357	4386,380
37761,946	40781,635	3489,961	3743,711
40686,733	43899,483	2924,788	3117,848
43022,222	46369,702	2335,489	2470,219
44721,046	48151,605	1698,824	1781,903
45738,777	49214,564	1017,730	1062,959
46159,408	49659,211	420,632	444,647

Kontrol Desain

Evaluasi terhadap desain struktur dilakukan dengan memeriksa simpangan antar tingkat dan efek P-Delta sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, 7.8.7, dan 7.12.1.

Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Berdasarkan SNI 1726:2019 batas simpangan antar lantai maksimum yang diperbolehkan adalah $\Delta \leq 0{,}01 \times h$. Contoh perhitungan penentuan simpangan antar lantai 12 untuk gempa arah X adalah sebagai berikut.

Tabel 19 Hasil Perhitutangan Simpangan Antar Tingkat

Story	*Displacement*		*Elastic Drift*		h	*Inelastic Drift*		*Drift Limit*	Cek
	δex	δey	δex	δey		Δx	Δy		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
12	80,19	82,545	5,953	6,319	4200	21,828	23,170	32,308	AMAN
11	74,237	76,226	6,452	6,822	4200	23,657	25,014	32,308	AMAN
10	67,785	69,404	7,010	7,380	4200	25,703	27,060	32,308	AMAN
9	60,775	62,024	7,560	7,886	4200	27,720	28,915	32,308	AMAN
8	53,215	54,138	8,016	8,292	4200	29,392	30,404	32,308	AMAN
7	45,199	45,846	8,306	8,527	4200	30,455	31,266	32,308	AMAN
6	36,893	37,319	8,362	8,524	4200	30,661	31,255	32,308	AMAN
5	28,531	28,795	8,112	8,213	4200	29,744	30,114	32,308	AMAN
4	20,419	20,582	7,473	7,520	4200	27,401	27,573	32,308	AMAN
3	12,946	13,062	6,343	6,357	4200	23,258	23,309	32,308	AMAN
2	6,603	6,705	4,601	4,650	4200	16,870	17,050	32,308	AMAN
1	2,002	2,055	2,002	2,055	4200	7,341	7,535	32,308	AMAN

Pengaruh Efek P-Delta

Efek P-Delta merupakan efek non-linear orde dua yang terjadi pada setiap struktur bangunan yang mengalami goyangan yang disebabkan oleh aksi beban-beban vertikal yang dipicu oleh perpindahan horizontal struktur. Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10.

Tabel 20 Hasil Perhitungan Efek P-Delta Arah X

Story	*Inelastic Drift*	*Story Forces*		h	*Koefisien Stabilitas*	*Batas Pengaruh P-Delta*	θ_{max}	Cek
	Δx	P	V_x					
	(mm)	(kg)	(kg)	(mm)	*θX*			
12	21,828	11573,7309	5982,007	4200	0,003	0,1	0,091	OKE
11	23,657	34865,0059	13614,657	4200	0,004	0,1	0,091	OKE
10	25,703	58287,6875	20036,092	4200	0,005	0,1	0,091	OKE
9	27,720	81710,369	25498,468	4200	0,006	0,1	0,091	OKE
8	29,392	105133,0506	30203,627	4200	0,007	0,1	0,091	OKE
7	30,455	128555,7321	34271,984	4200	0,007	0,1	0,091	OKE
6	30,661	151978,4136	37761,945	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
5	29,744	175401,0952	40686,733	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
4	27,401	198823,7767	43022,222	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
3	23,258	222246,4582	44721,046	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
2	16,870	245669,1398	45738,776	4200	0,006	0,1	0,091	OKE
1	7,341	271628,7978	46159,408	4200	0,003	0,1	0,091	OKE

Tabel 21 Hasil Perhitungan Efek P-Delta Arah Y

Story	Inelastic Drift	Story Forces		h	Koefisien Stabilitas	Batas Pengaruh P-Delta	θ_{max}	Cek
	Δ_y	P	V_y					
	(mm)	(kg)	(kg)	(mm)	θy			
12	23,170	11573,7309	6299,843	4200	0,003	0,1	0,091	OKE
11	25,014	34865,0059	14650,861	4200	0,004	0,1	0,091	OKE
10	27,060	58287,6875	21624,072	4200	0,005	0,1	0,091	OKE
9	28,915	81710,369	27556,414	4200	0,006	0,1	0,091	OKE
8	30,404	105133,0506	32651,544	4200	0,006	0,1	0,091	OKE
7	31,266	128555,7321	37037,924	4200	0,007	0,1	0,091	OKE
6	31,255	151978,4136	40781,635	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
5	30,114	175401,0952	43899,483	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
4	27,573	198823,7767	46369,702	4200	0,008	0,1	0,091	OKE
3	23,309	222246,4582	48151,605	4200	0,007	0,1	0,091	OKE
2	17,050	245669,1398	49214,564	4200	0,006	0,1	0,091	OKE
1	7,535	271628,7978	49659,211	4200	0,003	0,1	0,091	OKE

Analisis Sistem Ganda

Sistem ganda merupakan kombinasi antara Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dan dinding geser yang bekerja bersama dalam menahan beban lateral akibat gempa. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.6, sistem ini mensyaratkan rangka pemikul momen mampu menahan sekurang-kurangnya 25% dari beban gempa desain. Pemeriksaan dilakukan melalui analisis gaya dalam pada rangka dan dinding geser untuk memastikan distribusi beban serta kesesuaian perilaku struktur. Pemodelan menggunakan perangkat lunak analisis struktur harus memperhitungkan interaksi kedua sistem berdasarkan kekakuan dan kapasitasnya. Hasil perhitungan persyaratan sistem ganda disajikan sebagai berikut.

$$\%V_{shearwall}\ \text{Arah}_X = \frac{V_{shearwall}\,Arah\ X}{V_{total}\,Arah\ X}$$

$$= \frac{35.832,512}{44.774,708}$$

$$= 0,8003 \approx 80,03 \quad \%$$

$$\%V_{shearwall}\ \text{Arah}_Y = \frac{V_{shearwall}\,Arah\ Y}{V_{total}\,Arah\ Y}$$

$$= \frac{35.832,512}{46.575,772}$$

$$= 0,8067 \approx 80,67 \quad \%$$

$$\%V_{frame}\ \text{Arah}_X = \frac{V_{frame}\,Arah\ X}{V_{total}\,Arah\ X}$$

$$= \frac{8.942,195}{44.774,708}$$

$$= 0,1997 \approx 19,97 \quad \%$$

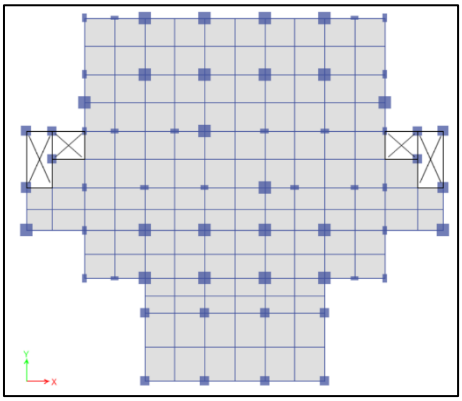
$$\%V_{frame}\ \text{Arah}_Y = \frac{V_{frame}\,Arah\ X}{V_{total}\,Arah\ X}$$

$$= \frac{9.002,022}{46.575,772}$$

= 0,1933 ≈ 19,33 %

Berdasarkan hasil pemeriksaan persyaratan sistem ganda, struktur belum memenuhi ketentuan bahwa *frame* harus mampu menahan sekurang-kurangnya 25% beban gempa desain. Oleh karena itu, dilakukan pemodelan ulang dengan memisahkan elemen dinding geser dan menggantinya menjadi Boundary Elements. Hasil pemodelan ulang tersebut disajikan sebagai berikut.

.



Gambar 5 Pemodelan Dengan *Boundary Elements*

Berdasarkan analisis terpisah untuk dinding geser maka didapatkan nilai untuk 25% beban gempa desain adalah sebagai berikut.

Tabel 22 Beban Gempa Desain 25%

Story	Vdesain		25% Vdesain		V' *Frame*	
	V_x	V_y	25% V_x	25% V_y	V'x	V'y
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
12	5982,007	6299,843	1495,502	1574,961	1495,502	1574,961
11	7632,650	8351,018	3403,664	3662,715	1908,162	2087,755
10	6421,435	6973,211	5009,023	5406,018	1605,359	1743,303
9	5462,376	5932,342	6374,617	6889,103	1365,594	1483,085
8	4705,159	5095,130	7550,907	8162,886	1176,290	1273,783
7	4068,357	4386,380	8567,996	9259,481	1017,089	1096,595
6	3743,711	9440,486	10195,409	872,490	935,928	3743,711
5	3117,848	10171,683	10974,871	731,197	779,462	3117,848
4	2470,219	10755,556	11592,426	583,872	617,555	2470,219
3	1781,903	11180,262	12037,901	424,706	445,476	1781,903
2	1062,959	11434,694	12303,641	254,433	265,740	1062,959
1	444,647	11539,852	12414,803	105,158	111,162	444,647

Berikut contoh perhitungan 25%V_{desain} dan F'*Frame* pada *Story* 11 Arah X adalah sebagai berikut.

25%V_{desain} = 5.982,007 × 0,25

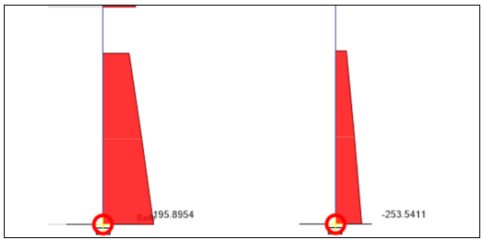
=1.495,502 kN

V'x *Frame* 11 = Vx11 – Vx12

= 3.403,664 – 1.495,502
=1.908,162 kN

Tabel 23 25% Gaya Geser untuk *Frame*

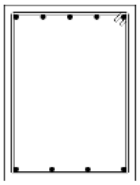
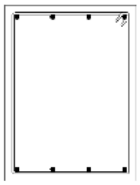
Output Case	FX	FY
	kN	kN
Esx	-11539,852	0
Esy	0	-12414,805



Gambar 6 Perbandingan Momen Sistem Ganda 100% Gempa Desain X dan Interaksi *Frame* Akibat 25% Gempa Desain X

Berdasarkan Gambar 24, momen pada kolom AS 9/E lantai Base arah Y menunjukkan bahwa akibat beban gempa sebesar 25%, rangka (*frame*) memikul momen sebesar 253,5411 kN·m. Sementara itu, pada interaksi sistem ganda dengan beban gempa 100%, momen yang dipikul sebesar 195,8954 kN·m. Nilai momen pada *frame* meningkat sebesar 29% dibandingkan dengan pemodelan sebelumnya yang menggunakan shear wall. Hasil ini menunjukkan bahwa analisis terpisah terhadap *frame* akibat 25% beban gempa desain diperlukan untuk memastikan pemenuhan persyaratan sistem ganda serta kapasitas rangka dalam menahan beban lateral.

Perhitungan Penulangan Balok

TIPE / DIMENSI	B1 - 65 x 90	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
BALOK B1		
TULANGAN LONGITUDINAL ATAS	5 D25	4 D25
TULANGAN LONGITUDINAL BAWAH	4 D25	4 D25
TULANGAN SENGKANG	D13-100	D13-100

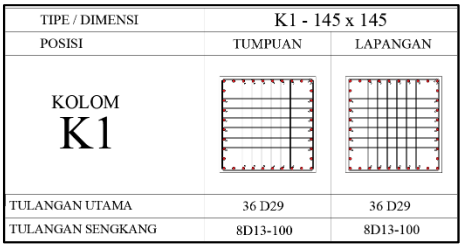
Gambar 7 Penulangan Balok Induk

Perhitungan Penulangan Pelat

Tabel 24 Tabel Rekapitulasi Penulangan Pelat

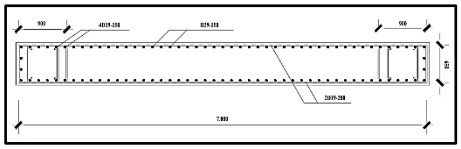
Daerah		Tulangan
Tulangan Arah X	Tumpuan	D13-200
	Lapangan	D13-200
Tulangan Arah Y	Tumpuan	D13-200
	Lapangan	D13-200

Perhitungan Penulangan Kolom



Gambar 8 Penulangan Kolom

Perhitungan Penulangan Dinding Geser (*Shearwall*)



Gambar 9 Penulangan Dinding Geser

Perencanaan Pondasi *Raft-pile*

Pondasi *raft-pile* digunakan apabila lapisan tanah dasar berkapasitas daya dukung rendah, sesuai dengan kondisi tanah dasar yaitu lempung lunak di mana tanah keras terdapat di kedalaman lebih dari 20 meter. Beban dari struktur atas cukup besar dan gedung didesain dengan kombinasi dinding geser pada tengah bangunan. Penggunaan *raft* yang dianggap pelat kaku akan meminimalisasi penurunan diferensial.

1. Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)
   Pada perhitungan daya dukung pondasi tiang ini menggunakan metode berdasarkan hasil uji laboratorium. Menggunakan nilai *undrain shear strength* tanah di ujung tiang (C_u) yang disarankan oleh Tomlinson (1975).
   Qp = Ap × Nc' × c
   = 0,785 × 9 × 29,42
   = 207,958 kN

2. Daya Dukung Selimut Tiang (Qs)
Daya dukung selimut tiang adalah kontribusi dari gesekan antara permukaan tiang dan tanah terhadap kapasitas beban aksial tiang. Perhitungan besarnya daya dukung selimut tiang tunggal dihitung tiap lapisan tanah berdasarkan metode α (*undrained*) dan metode β (*drained*). Contoh perhitungan *undrained* untuk 0 – 2 m dan *drained* 2 – 4 m adalah sebagai berikut.

$Qs_{0\text{-}2m} = fs \times As$

$= \beta \times \sigma' v_{avg} \times As$

= 0,170 × 15,02 × 6,283

= 16,043 kN

$Qs_{2\text{-}4m} = fs \times As$

$= \alpha \times c_u \times As$

= 1 × 11,768 × 6,283

= 73,940 kN

Tabel 25 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Selimut Tiang Lapisan

Lapisan	Tanah	fs	As	Qs
0-2 m	*Drained*	2,570		24,222
2-4 m	*Undrained*	11,767		73,940
4-6 m	*Undrained*	12,258		77,021
6-8 m	*Undrained*	13,238		83,183
8-10 m	*Undrained*	13,729		86,264
10-12 m	*Drained*	15,086		94,792
12-14 m	*Undrained*	11,767		73,940
14-16 m	*Undrained*	14,709	6,283	92,425
16-18 m	*Undrained*	17,651		110,911
18-20 m	*Undrained*	21,574		135,557
20-22 m	*Undrained*	14,219		89,345
22-24 m	*Undrained*	20,103		126,315
24-26 m	*Undrained*	17,161		107,830
26-28 m	*Undrained*	15,200		95,506
28-30 m	*Undrained*	15,690		98,587
Qs Total				**1250,825**

3. Daya Dukung Ultimit Tiang (Qu)
Kapasitas ultimit tiang akibat beban aksial diperoleh dari tahanan ujung tiang (Q_p) ditambah dengan tahanan gesek sepanjang selimut tiang (Q_s).

$Q_u = Q_p + Q_s$

= 110,940 + 1.205,825

= 2.444,556 kN

4. Daya Dukung Izin Tiang (Qizin)
Daya dukung izin tiang tunggal (*allowable raftacity*) merupakan kapasitas maksimum tiang yang diizinkan untuk memikul beban secara aman, dengan mempertimbangkan faktor keamanan terhadap daya dukung ultimit dan batas penurunan yang diperbolehkan.

FK = 2,5

$Qu_{izin} = \frac{Q_u}{FK}$

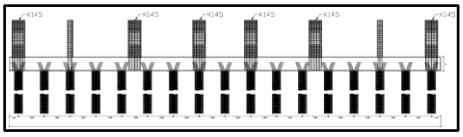
$$= \frac{2.444,556}{2,5}$$

= 977,822 kN

5. Jarak Antar Tiang (s)
   Jarak antar tiang merupakan jarak pusat ke pusat antar pondasi tiang dalam suatu kelompok tiang. Penentuan jarak tiang sangat penting karena mempengaruhi interaksi tanah antar tiang, efisiensi kelompok tiang, serta kemudahan pelaksanaan di lapangan. Secara umum, jarak antar tiang dibuat tidak terlalu rapat agar zona tegangan tanah antar tiang tidak saling bertumpang tindih. Jika jarak terlalu dekat, daya dukung kelompok dapat menurun akibat interaksi antar tiang.
   D = 1 m
   s = $3D$
   = 3(1)
   = 3 m
6. Penurunan *Raft-Pile* (Penurunan Segera)
   Perhitungan penurunan segera dilakukan dengan menganggap tanah berada dalam kondisi tak teralirkan (*undrained*) karena penurunan terjadi pada volume konstan, sehingga. Dalam kondisi *undrained*, tanah memiliki nilai (*Poisson's ratio*) sebesar 0,5. Jika pembebanan menyebabkan perubahan volume, seperti pada penurunan akibat proses konsolidasi, sehingga , maka . Perhitungan penurunan segera (*immediate settlement*) menggunakan persamaan sebagai berikut.
   $S_i, P_A \times R_{G0,5} \times S_{li} + \frac{0,947\left(P_W - P_A\right)\left(1-V_s^2\right)}{B \times E_u}$
   = 38,37 mm
7. Penurunan *Raft-Pile* (Penurunan Konsolidasi)
   Pada perhitungan penurunan konsolidasi pondasi *piled raft*, tanah mengalami perubahan volume akibat disipasi tekanan air pori berlebih yang timbul karena beban struktur, *raft*, dan tiang. Oleh karena itu, analisis konsolidasi menggunakan parameter tanah kondisi *drained* dengan angka Poisson lebih kecil dari 0,5. Dalam perhitungan ini digunakan angka Poisson tanah sebesar 0,4, sesuai asumsi tanah lempung jenuh pada kondisi *drained*. Selanjutnya, penurunan konsolidasi pondasi *piled raft* dihitung menggunakan persamaan yang mengakomodasi pengaruh kelompok tiang dan kontribusi *raft* terhadap penurunan.
   S_{CF},
   $P_W((R_{GW} \times S_{ICF}) - (R_{G0,5} \times S_{li}))$
   = 9,102 mm
8. Perhitungan Penurunan Total
   Perhitungan total dihitung dengan menjumlahkan penurunan segera dan penurunan konsolidasi sebagai berikut.
   S_{TF} = $S_i + S_{CF}$
   = 38,370 + 9,102
   = 47,475 mm

Cek persyaratan penurunan,
S_{TF} < 51 mm
47,475 mm < 51 mm (**OK**)

9. Perhitungan Penulangan *Bored pile*
   Berdasarkan hasil perhitungan penulangan *bored pile* berdiameter 1.000 mm dengan mengacu pada SNI 2847:2019, kebutuhan tulangan longitudinal diperoleh sebanyak 21D22, sedangkan tulangan transversal menggunakan spiral D16 dengan spasi 70 mm. Rasio tulangan longitudinal sebesar 0,01016 dan rasio volumetrik spiral aktual sebesar 0,0135 memenuhi batas yang dicantumkan dalam perhitungan. Pemeriksaan kapasitas tekan aksial dan geser juga menunjukkan kapasitas rencana lebih besar daripada gaya terfaktor yang diperiksa. Dengan demikian, konfigurasi penulangan yang diperoleh dari dokumen perhitungan dinyatakan memenuhi pemeriksaan.
10. Perhitungan Penulangan Geser *Raft*
    Berdasarkan hasil pemeriksaan yang mengacu pada SNI 2847:2019, *raft foundation* memenuhi persyaratan kapasitas geser satu arah pada arah x dan y, serta kapasitas geser dua arah pada area kolom. Pada pemeriksaan geser satu arah, gaya geser terfaktor masing-masing sebesar 4.136.674,983 N dan 3.895.065,588 N lebih kecil daripada kapasitas geser tereduksi beton pada arah terkait. Sementara itu, pada pemeriksaan geser dua arah, gaya geser terfaktor sebesar 7.544.132,709 N lebih kecil daripada kapasitas geser tereduksi sebesar 21.797.172,430 N. Dengan demikian, seluruh pemeriksaan kapasitas geser yang disajikan dalam dokumen perhitungan dinyatakan memenuhi.
11. Perhitungan Penulangan *Raft*



Gambar 10 Detail Tulangan *Raft-Pile*

Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan struktur atas pada Gedung Kampus 12 lantai di Kulon Progo, didapatkan jumlah total Rencana Anggaran Biaya (RAB) Struktur sebesar Rp 102.499.162.168,16 dan jumlah total Rencana Anggaran Biaya (RAB) SMKK sebesar Rp 358.887.200,00.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan struktur Gedung Kampus 12 lantai dengan sistem struktur ganda (*dual system*), diperoleh dimensi balok induk B1 sebesar 650 × 900 mm dan balok anak B2 sebesar 550 × 800 mm, dengan tulangan lentur dan geser sesuai hasil perencanaan. Elemen kolom menggunakan tiga tipe, yaitu K1 berukuran 1.450 × 1.450 mm dengan tulangan 36D29, K2 berukuran 1.200 × 1.200 mm dengan tulangan 32D25, dan K3 berukuran 1.100 × 1.100 mm dengan tulangan 28D25. Pelat lantai dan atap direncanakan dengan tebal 120 mm menggunakan tulangan D13-200 pada arah X dan Y,

baik di daerah tumpuan maupun lapangan. Sementara itu, dinding geser menggunakan empat tipe *pier* (Pier 1–4) dengan tulangan longitudinal D29-150 dan sengkang dua lapis D19-150 sesuai konfigurasi masing-masing *pier*. Pada struktur bawah, *raft* direncanakan berukuran 50.000 × 47.000 mm dengan tebal 1.500 mm, menggunakan tulangan atas D25-200 dan tulangan bawah D25-100 pada arah X dan Y. Pondasi menggunakan sistem *bored pile* berdiameter 1.000 mm dengan tulangan longitudinal 21D22 dan tulangan transversal D16-54. Berdasarkan hasil perhitungan rencana anggaran biaya, total biaya pekerjaan struktur beton bertulang sebesar Rp102.499.162.168,16, sedangkan biaya Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi (SMKK) sebesar Rp358.887.200,00.

DAFTAR PUSTAKA

Ashary, A., Nasir, M., Muis, A., & Adnan. (2024). Analisis Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Software ETABS V.20 (Studi Kasus Gedung Kantor Cabang BRI Jalan Karaeng Burane Kota Parepare). Journal Of Social Science Research, 4(4).

Ayyudin. (2024). Analisis Struktur Perencanaan Gedung Kantor Dengan Software ETABS. Jurnal Teknika Sains, 9(2).

Diansyah, E. I., & Khatulistiani, U. (2019). Perencanaan Struktur Gedung Hotel Royal Isnin 10 Lantai Menggunakan Metode Sistem Ganda Di Kota Surabaya. Jurnal Rekayasan Dan Manajemen Konstruksi, 7(2), 137–146.

Karisoh, P. H., Dapas, S. O., & Pandaleke, R. (2018). Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus. Jurnal Sipil Statik, 6.

Mayanti, P. D. S., & Nurmaidah. (2021). Evaluasi Perencanaan Pelat Lantai Pada Gedung Yayasan Pendidikan Saffiyatul Amaliyyah Jalan Kemuning Medan. Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil, 4(1).

Papulele, F. W. G., Wallah, S. E., & Pandaleke, R. (2017). Perbandingan Nilai Kapasitas Beban Maksimum Beton Bertulang Kolom Utuh Dengan Kolom Yang Diperkuat Menggunakan Chemical Anchor. Jurnal Sipil Statik, 5(8).

Pawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Poulos, H.G. Dan Davis, E.H. 1980. Pile Foundation Analysis And Design. Sydney: University Of Sydney.

Rendra, R., Kurniawandy, A., & Djauhari, Z. (2015). Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Metode Respon Spektrum Dan Time History (Studi Kasus: Hotel SKA Pekanbaru). JOM FTEKNIK, 2(2).

Sansujaya, E., Pah, J. J. S., & Udiana, I. M. (2021). Studi Kefektifan Dinding Geser Pada Bangunan Tingkat Tinggi Dalam Mengurangi Simpangan Struktur. Jurnal Forum Teknik Sipil, 1(1), 24–34.

SNI 1726:2019. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1727:2020. (2020). Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1727:2020. (2020). Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 2847:2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.

Taufiqrurahman, & Sulardi. (2023). Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Dengan Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Dan Sistem Dinding Struktur Khusus (SDSK). Universitas Gunadarma.

Zebua. (2018). Desain Pelat Gedung Struktur Beton Bertulang Di Wilayah Gempa Tinggi. Jurnal Teknik Sipil, 4(2).