

Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung 10 Lantai Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Padang

Alfiah Diah Salsabila¹, Soerjandani Priantoro Machmoed*²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Kusuma Surabaya, Indonesia
Email: ¹ads26@mhs.uwks.ac.id, ²soerjandani@uwks.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstrak

Kota Padang dikategorikan memiliki risiko wilayah gempa tinggi dengan tingkat desain seismik D, sehingga Gedung Hotel DAME 10 lantai beban lateral akibat gempa perlu diperhitungkan. Perencanaan gedung hotel ini bertujuan untuk mendapatkan hasil struktur yang dapat memikul gaya oleh beban gempa dan direncanakan untuk memikul lentur dengan konsep *strong column weak beam* yang sesuai pada pedoman. Sehingga dapat meminimalisir terjadinya korban jiwa dan kerugian material yang diakibatkan oleh gaya gempa. Struktur gedung hotel didesain mempunyai daktilitas tinggi atau penuh dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pedoman yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung hotel yaitu SNI 2847:2019 untuk pembebanan struktur dan SNI 1726:2019 untuk pembebanan gempa, serta perhitungan beban mati dan beban hidup menggunakan PPPURG 1987. Setelah analisa dilakukan, didapatkan bahwa nilai simpangan antar lantai terpenuhi dengan tidak melebihi batas simpangan izin (Δa ijin = 100 mm). Detailing struktur gedung hotel sesuai dengan SNI 2847:2019 didapatkan nilai $\sum Mnc \geq 1,2 \sum Mnb = 3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$ telah terpenuhi, serta kontrol kuat geser untuk hubungan balok kolom sesuai dengan SNI 2847:2019 dimana $\phi Vn \geq Vu = 3696070,84 \text{ N} \geq 2379184,02 \text{ N}$ telah terpenuhi. Dapat disimpulkan bahwa struktur gedung yang direncanakan mampu menahan keruntuhan saat gempa terjadi.

Kata kunci: beton bertulang, gedung tahan gempa, perencanaan gedung, SRPMK, strong column weak beam

Abstract

The city of Padang is categorized as having a high earthquake risk with a seismic design level of D. Therefore, the lateral load due to earthquakes on the 10-story Hotel DAME building must be considered. The design of this hotel building aims to achieve a structural system capable of withstanding forces from earthquake loads and is planned to resist bending using the strong column, weak beam concept in accordance with guidelines. This approach helps minimize casualties and material losses caused by seismic forces. The hotel building structure is designed to have high or full ductility using the Special Moment Resisting Frame (SMRF) method. The structural design guidelines used include SNI 2847:2019 for structural loading, SNI 1726:2019 for seismic loading, and PPPURG 1987 for dead load and live load calculations. After conducting the analysis, it was found that the inter-story drift value meets the permissible drift limit (Δa allowable = 100 mm). The structural detailing of the hotel building complies with SNI 2847:2019, with the calculated moment capacity satisfying $\sum Mnc \geq 1.2 \sum Mnb = 3521.54 \text{ kNm} \geq 1399.872 \text{ kNm}$. Additionally, the shear strength check for beam-column connections meets SNI 2847:2019, where $\phi Vn \geq Vu = 3,696,070.84 \text{ N} \geq 2,379,184.02 \text{ N}$. It can be concluded that the planned building structure is capable of withstanding collapse during an earthquake.

Keywords: reinforced concrete, earthquake-resistant building, building design, special moment resisting frame systems, strong column weak beam

I. PENDAHULUAN

Gerbang utama untuk wisatawan mancanegara adalah Bandara Internasional Minangkabau (BIM) di Kota Padang [1]. Wisatawan mancanegara yang tiba di Sumatera Barat melalui Bandara Internasional Minangkabau pada statistika tahun 2021 mengalami penurunan yang awalnya 21.660 orang pada tahun 2020 menjadi 1.538 orang pada tahun 2021 [2]. Kota Padang merupakan daerah rawan gempa. Hal ini dipengaruhi adanya pertemuan dua lempeng benua besar dan patahan (sesar) Semangko serta pada pertemuan lempeng terdapat patahan (sesar) Mentawai pada Provinsi Sumatera Barat [3].

Kemampuan gedung bertingkat tinggi untuk menahan strukturnya agar tidak langsung runtuh setelah gempa bumi terjadi dan melindungi penghuni di dalamnya merupakan konsep terpenting dalam

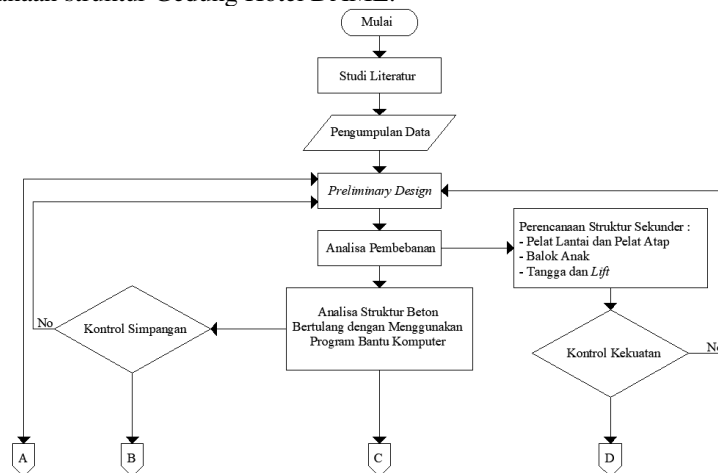
perencanaan. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak di wilayah yang sering terjadi gempa dengan intensitas tinggi hingga sedang. Oleh karena itu, perencanaan dan pengawasan pembangunan harus dilakukan sesuai dengan spesifikasi bangunan tahan gempa untuk semua bangunan penting di Kota Padang, terutama bangunan terutama bangunan infrastruktur dan bangunan penting lainnya berdasarkan pada pedoman [4]. Indonesia memiliki 3 (tiga) macam sistem struktur yang direncanakan cocok untuk menahan beban gempa desain. Bangunan di zona gempa rendah sampai sedang direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). Di daerah dengan gempa sedang, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) digunakan untuk perencanaan bangunan. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) digunakan untuk perencanaan bangunan di daerah dengan tingkat kekuatan gempa yang signifikan. Terdapat beberapa persyaratan tertentu yang harus diperhatikan untuk SRPMK dimana kolom yang direncanakan harus lebih kuat daripada balok [5].

Wilayah kota Padang terletak di zona gempa dengan intensitas yang kuat serta memiliki parameter gerak tanah (S_s) 1,2 – 1,5 g berwarna coklat tua. SRPMK merupakan desain struktur untuk beton bertulang yang memiliki daktilitas tinggi atau penuh. Kemampuan struktur berulang kali mengalami simpangan pasca elastik dalam skala besar dikenal sebagai daktilitas. Kemampuan ini menjadikan struktur tersebut tetap mampu mempertahankan kekuatannya setelah mengalami deformasi, sehingga struktur

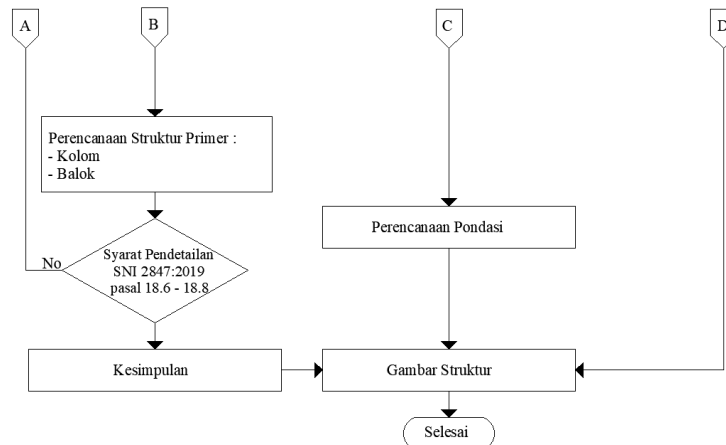
tersebut tetap mampu berdiri dan tidak langsung runtuh meski diguncang oleh skala gempa magnitudo tinggi. Oleh karena itu, jumlah korban jiwa dan kerugian materi karena gempa dapat diminimalisir, serta struktur bangunan akan lebih kuat daripada sistem rangka lainnya [6]. Perencanaan ini memiliki beberapa tujuan, yaitu untuk menghasilkan nilai simpangan horizontal (*drift*) pada perencanaan sesuai dengan pedoman SNI 1726-2019, menghasilkan analisa perhitungan struktur gedung beton bertulang serta desain suatu bangunan tahan gempa di daerah dengan intensitas gempa tinggi menggunakan metode SRPMK, menghasilkan dimensi penampang pada elemen kolom, balok, dan sambungan yang mampu menahan gaya gempa tinggi. Manfaat yang didapat dalam perencanaan ini yaitu perencana diharapkan mampu merencanakan serta menganalisis struktur, sehingga didapatkan dimensi dari setiap elemen struktur gedung yang mampu menahan gaya lateral gempa yang terjadi. Sehingga dapat menambah wawasan serta memberi referensi dalam merencanakan struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Batasan pertimbangan struktural untuk struktur hotel yang akan dibahas yaitu hanya merencanakan struktur atas dan struktur bawah serta tidak menganalisis RAB, sistem utilitas bangunan, desain saluran air bersih dan kotor, instalasi sistem kelistrikan, sentuhan akhir, arsitektur, MK, dan implementasi lapangan.

II. METODE PENELITIAN

Langkah – langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan perencanaan struktur gedung Hotel “Dame” ini ditunjukkan dalam diagram alir rencana (*flowchart*) yaitu hubungan antara setiap tahapan. Proses penyelesaian perencanaan struktur gedung Hotel “Dame” digambarkan dalam *flowchart* mulai dari tahap awal hingga tahap akhir. Diagram alir pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** merupakan gambaran umum mengenai perencanaan struktur Gedung Hotel DAME.



Gambar 1. Diagram Alir (*Flowchart*)



Gambar 2. Diagram Alir (Flowchart) (Lanjutan)

Tahapan awal hingga selesai yang digunakan untuk perencanaan ini antara lain:

- 1) Studi literatur
Studi literatur yang dilakukan berupa peraturan, buku pustaka, dan penelitian terdahulu. Peraturan yang digunakan:
 - SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
 - PPIUG 1983 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
 - SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
 - SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung
- 2) Pengumpulan data
Pengumpulan data berupa data tanah lokasi perencanaan serta gambar perencanaan yang meliputi denah lantai gedung, tampak gedung, dan potongan
- 3) Preliminary design
Tahap awal ini berfungsi untuk memperkirakan dimensi yang akan digunakan pada setiap elemen pada struktur gedung hotel.
- 4) Pembebanan
Pembebanan merupakan proses perhitungan beban gravitasi suatu bangunan yang meliputi beban mati (D), beban hidup (L), beban angin (W), dan beban air hujan (R atau A) yang direncanakan berdasarkan peraturan PPIUG 1983, serta beban gempa (E) yang mengacu pada peraturan SNI 1726:2019. Kombinasi pembebanan dilakukan untuk mendapatkan beban terbesar dari kombinasi beban – beban tersebut. Struktur bangunan gedung dirancang menggunakan kombinasi pembebanan untuk kuat perlu. Hal ini bertujuan guna mendesain komponen bangunan mengacu pada SNI 1726:2019.
- 5) Perencanaan struktur sekunder
Perencanaan yang diperlukan untuk struktur sekunder, yaitu balok anak, pelat atap, balok lift, pelat lantai, dan tangga.
- 6) Kontrol kekuatan
Degan mengontrol kekuatan, integritas struktur bangunan dipantau untuk melihat apakah bangunan tersebut dapat menahan beban, dimana momen yang dikeluarkan harus lebih besar daripada momen ultimate, $M_n > M_u$.
- 7) Perencanaan struktur keseluruhan
Program bantu komputer digunakan untuk melakukan pendekatan mekanika/analisis struktur 3 dimensi (3D) untuk portal. Metode Analisis Ragam Spektrum Respon digunakan untuk analisis beban gempa dalam analisis dinamik. Gaya – gaya dalam dan simpangan antar lantai yang terjadi akan muncul sebagai akibat dari metode yang digunakan.

8) Kontrol simpangan

Nilai simpangan horizontal (*drift*) yang terjadi tidak boleh melebihi dari simpangan izin yang telah ditentukan ($\Delta_s < \Delta$) yang mengacu pada SNI 1726:2019, sesuai dengan hasil analisis gaya – gaya dalam yang didapat dari analisa struktur menggunakan program bantu komputer. Apabila kontrol simpangan horizontal tidak memenuhi persyaratan, maka kembali pada proses *preliminary design* dengan menentukan dimensi setiap elemen struktur yang lebih tepat sehingga dapat memenuhi persyaratan kontrol simpangan horizontal.

9) Perencanaan struktur primer

Struktur primer adalah faktor terpenting dalam perencanaan struktur bangunan yang memiliki pengaruh paling besar terhadap suatu bangunan yang fungsinya guna menahan pembebanan. Pemodelan struktur primer mengacu pada peraturan [7].

10) Perencanaan sambungan

Dalam desain struktur bangunan bertingkat, sambungan seperti sambungan balok-balok atau sambungan balok-kolom digunakan untuk menyalurkan gaya dalam seperti gaya momen, gaya geser, dan gaya aksial diantara komponen – komponen struktur yang terhubung. Sambungan ini dibuat sesuai dengan perilaku komponen struktur yang mengacu pada SNI 2847:2019.

11) Perencanaan pondasi

Tujuan dari pondasi pada sebuah bangunan adalah untuk mengarahkan beban ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu untuk menentukan kemampuan tanah dalam menahan beban struktur bangunan. Perencanaan pondasi didapat dari analisa reaksi peletakan hasil program bantu komputer dengan perhitungan pondasi mengacu pada 2847:2019.

12) Gambar rencana

Agar lebih memahami perhitungan perencanaan dan memiliki gambaran rencana saat ini berdasarkan analisis, hasil perhitungan perencanaan struktur bangunan hotel akan disajikan dalam bentuk gambar rencana dengan menggunakan program bantu komputer.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahapan awal perencanaan bangunan yang berfungsi untuk memperkirakan dimensi penampang yang dibutuhkan untuk perencanaan struktur primer maupun struktur sekunder agar dimensi yang telah direncanakan dapat memenuhi persyaratan pada SNI 2847:2019. Dimensi penampang rencana yang digunakan dalam desain ini meliputi:

- Balok induk : 50/60 cm
- Balok anak lantai : 45/50 cm
- Balok anak atap : 35/50 cm
- Pelat atap : 10 cm
- Pelat lantai : 12 cm
- Kolom : 70/70 cm

3.2. Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak direncanakan untuk menahan beban gempa akan tetapi hanya menahan beban yang mengakibatkan lentur serta tetap membebani struktur primer sebuah bangunan [8].

3.2.1. Perencanaan Pelat

Pelat didesain agar dapat melendut ketika terbebani akan tetapi penampang pelat di atas tumpuan tidak berotasi, maka didesain dengan peletakan jepit penuh. Perhitungan perencanaan pelat antara lain:

1. Pelat Atap

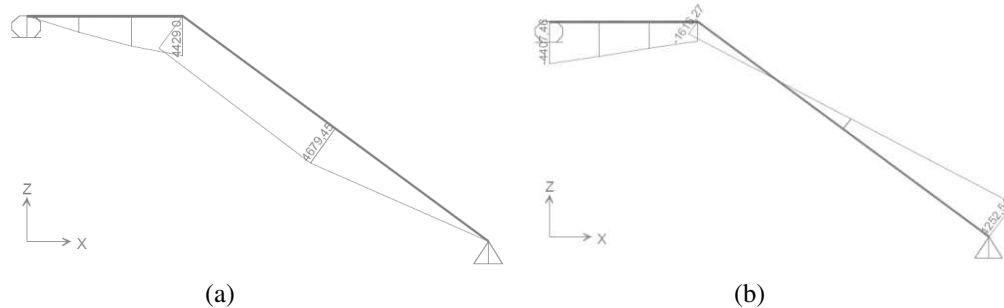
Pelat atap rencana digunakan 10 cm. Berdasarkan PBI 1971, momen pelat atap yang diambil yaitu momen yang terbesar dengan arah X = 587,64 kgm dan arah Y = 549,49 kgm, serta hasil penulangan yang didapat yaitu arah X = D10 – 200 mm dan arah Y = D10 – 200 mm.

2. Pelat Lantai

Pelat lantai rencana digunakan 12 cm. Berdasarkan PBI 1971, momen pelat lantai yang diambil yaitu momen yang terbesar dengan arah X = 832,32 kgm dan arah Y = 778,28 kgm, serta hasil penulangan yang didapat yaitu arah X = D10 – 200 mm dan arah Y = D10 – 200 mm.

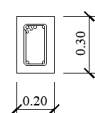
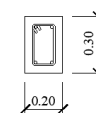
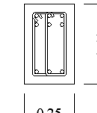
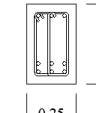
3.2.2. Perencanaan Tangga

Lantai bangunan dengan berbagai elevasi ketinggian dihubungkan melalui perencanaan tangga. Direncanakan elevasi tiap lantai 4 m, panjang bordes 4 m, ketinggian bordes 2 m, tinggi pijakan tangga 20 cm, dan lebar pijakan tangga 30 cm.



Gambar 3. (a) Gaya Momen pada Tangga dan (b) Gaya Geser pada Tangga

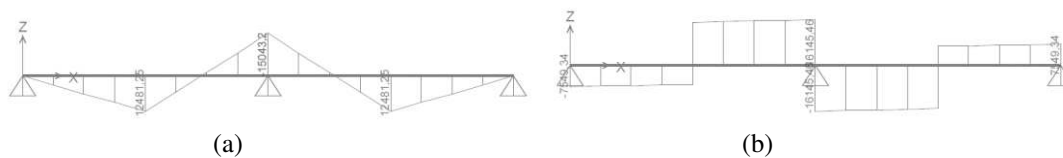
Didapatkan dari analisa gaya dalam pada Gambar 3 untuk pelat tangga miring 4679,45 kgm dan untuk pelat bordes 4429,01 kgm dengan penulangan pelat tangga miring D12 – 75 mm dan pelat bordes D12 – 100 mm. Direncanakan pula balok bordes dengan dimensi 20/30 cm. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan penulangannya yang digunakan seperti pada Gambar 4 (a).

TYPE	BALOK BORDES		TYPE	BALOK PENGGANTUNG LIFT	
	TUMPUAN	LAPANGAN		TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN			POTONGAN		
DIMENSI	200 x 300	200 x 300	DIMENSI	250 x 400	250 x 400
TUL. ATAS	3D14	2D14	TUL. ATAS	6D19	3D19
TUL. BAWAH	2D14	2D14	TUL. BAWAH	3D19	6D19
SENGKANG	D10 - 100	D10 - 100	SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150

Gambar 4. (a) Detail Penulangan Balok Bordes dan (b) Detail Penulangan Balok Lift

3.2.3 Perencanaan Balok Lift

Direncanakan balok lift dengan penampang 25/40 cm, tulangan utama dengan diameter 19 mm, tulangan sengkang dengan diameter 10 mm, (f_c') = 35 MPa dan (f_y) = 390 MPa. Program bantu komputer digunakan untuk analisa pembebanan. Dari Gambar 5 merupakan hasil analisa program bantu komputer yang akan memberikan informasi sebagai pendetailan penulangan balok lift pada Gambar 4 (b).



Gambar 5. (a) Gaya Momen dan (b) Gaya Geser pada Balok Lift

3.2.3 Perencanaan Balok Anak

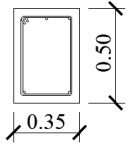
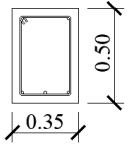
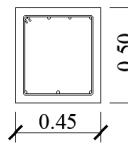
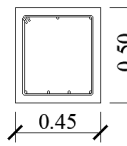
Perhitungan perencanaan balok anak antara lain:

3. Balok Anak Atap

Direncanakan balok anak atap dengan penampang 35/50 cm, (f_c') = 35 MPa dan (f_y) = 390 MPa. Untuk menentukan detail tulangan balok anak atap, dilakukan perhitungan dan analisis beban sehingga didapatkan hasil penulangan seperti pada Gambar 6a.

4. Balok Anak Lantai

Direncanakan Balok anak lantai dengan penampang 45/50 cm, (f_c') = 35 MPa dan (f_y) = 390 MPa. Untuk menentukan detail tulangan balok anak lantai, dilakukan perhitungan dan analisis beban sehingga didapatkan hasil penulangan seperti pada **Gambar 6b**.

TYPE	BALOK ANAK ATAP		TYPE	BALOK ANAK LANTAI	
	TUMPUAN	LAPANGAN		TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN			POTONGAN		
	DIMENSI	350 x 500		350 x 500	DIMENSI
TUL. ATAS	3D12	2D12	TUL. ATAS	4D12	3D12
TUL. BAWAH	2D12	3D12	TUL. BAWAH	3D12	4D12
SENGKANG	D8 - 100	D8 - 150	SENGKANG	D8 - 100	D8 - 100

(a) (b)
Gambar 6. Detail Penulangan (a) balok anak atap dan (b) balok anak lantai

3.3. Struktur Primer

Struktur primer merupakan struktur utama dari suatu gedung yang kekakuannya mempengaruhi perilaku gedung tersebut [9]. Balok induk serta kolom merupakan bagian dari struktur primer. SRPMK bertujuan untuk mengurangi kemungkinan runtuh saat terjadi gempa bumi sehingga struktur primer pada perencanaan ini didesain agar tahan terhadap gempa.

3.3.1 Pembebanan Struktur

Untuk memastikan beban yang bekerja pada struktur, pembebanan pada struktur harus dipertimbangkan. Beban yang dialami struktur adalah beban yang disebabkan oleh beban gravitasi dan beban gempa. Perhitungan beban gravitasi lantai 1 – 10 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan Gravitasi

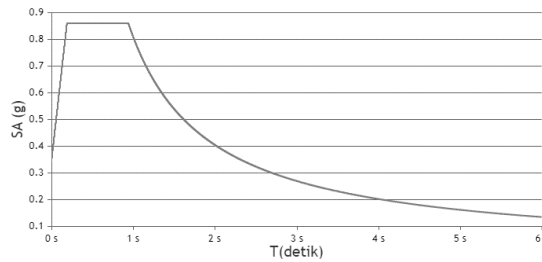
Lantai	h (m)	Beban		W (kg)
		Mati	Hidup	
10	40	1676474	57960	1734434
9	36	1747610	144900	1892510
8	32	1747610	144900	1892510
7	28	1747610	144900	1892510
6	24	1747610	144900	1892510
5	20	1747610	144900	1892510
4	16	1747610	144900	1892510
3	12	1747610	144900	1892510
2	8	1747610	144900	1892510
1	4	1642485	144900	1787385
TOTAL				18661899

Koefisien beban gempa diperoleh dari berbagai faktor gempa yang dibutuhkan, seperti jenis tanah dan parameter respon spektrum untuk menghitung beban geser dasar gempa. Beban gempa di permukaan yang diperoleh kemudian akan dibagi menjadi beban gempa per lantai. Pengidentifikasian jenis tanah lokal bisa dihitung dengan menggunakan data SPT. Diambil kedalaman 30 meter untuk mengetahui jenis tanah dengan rumus:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{30}{2,11} = 14,24 \quad [1]$$

Sesuai dengan klasifikasi situs tanah pada SNI 1736 – 2019 **Tabel 2** dapat dikategorikan kedalam jenis tanah lunak (SE), dikarenakan $\bar{N} = 14,24 < 15$.

Penentuan respon spektra berdasarkan jenis tanah dapat melalui web cipta karya. Diagram respon spektra seperti pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Respon Spektra Kota Padang

3.3.2 Periode Fundamental

Penentuan periode fundamental struktur T menggunakan periode pendekatan (T_a) sesuai dengan SNI 1726 – 2019 dimana T_a tidak melebihi hasil C_u , dengan rumusan:

$$T_a = C_t h_n^x \quad [2]$$

Dimana perencanaan gedung rangka beton menggunakan SRPM dilihat dari SNI 1726 – 2019, maka:

$$C_t = 0,0466$$

$$x = 0,9$$

$$h_n = 40 \text{ meter}$$

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 40^{0,9} = 1,29 \text{ detik}$$

$$S_{D1} = 0,81 \text{ didapat koefisien } C_u = 1,4 \text{ (didapat dari SNI 1726 – 2019 Tabel 17)}$$

$$T_a < C_u = 1,29 < 1,4 \text{ (OK)}$$

3.3.3 Distribusi Beban Gempa

Perhitungan distribusi beban gempa ini perlu diketahui beban geser dasar seismik $S_{DS} = 0,86$, dengan nilai $R = 8$ (SNI 1726 – 2019 Tabel 12) dan faktor keutamaan gedung untuk Hotel Dame ini II = 1,0 (SNI 1726 – 2019 Tabel 4) dengan itu nilai C_S :

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,86}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,1075 \quad [3]$$

Sehingga didapat nilai beban gaya geser dasar seismik dengan rumusan:

$$V = C_S \times W = 0,1075 \times 18.661.899 = 2.006.154,143 \text{ kg}$$

F_i dihitung sesuai SNI 1726 – 2019 dengan rumusan:

$$F_i = C_{vx} V \quad [4]$$

$$\text{Dengan } C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad [5]$$

Maka:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \times V \quad [6]$$

Nilai k hasil interpolasi:

$$k = 1 - \frac{1,29-0,5}{2,5-0,5} \times (2 - 1) = 1,632$$

Nilai – nilai tersebut akan digunakan ke dalam perhitungan sehingga didapatkan hasil seperti

Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi Beban Gempa Tiap Lantai

Lantai	Beban Geser (kg)	Tinggi Lantai (m)	Berat (kg)	Faktor (k)	$w_x h_x^k$	F_x (kg)
10	2006154,143	40	1734434	1,632	714035302,6	1066964
9	2006154,143	36	1892510	1,632	656030248,2	980288,7
8	2006154,143	32	1892510	1,632	541306132,9	808859,5
7	2006154,143	28	1892510	1,632	435311449,6	650474,4
6	2006154,143	24	1892510	1,632	338487729,3	505793,3
5	2006154,143	20	1892510	1,632	251373293,8	375620,5
4	2006154,143	16	1892510	1,632	174647347,7	260970,9
3	2006154,143	12	1892510	1,632	109209891,7	163189,5
2	2006154,143	8	1892510	1,632	56348329,01	84199,82
1	2006154,143	4	1787385	1,632	17170384,27	25657,25
		$\sum_{i=1}^n w_i h_i^k$			3293920109	

3.3.4 Simpangan Antar Lantai

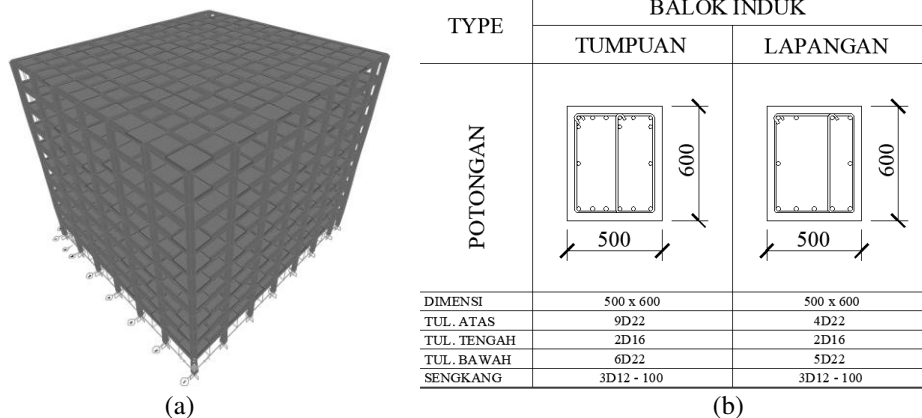
Agar dapat mengurangi risiko keruntuhan yang berpotensi menyebabkan cedera dan benturan antara bangunan, simpangan antar lantai direncanakan agar tidak melampaui batasan simpangan antar lantai yang diizinkan (Δa), seperti pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai Simpangan Tiap Lantai

Lantai	Hsx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa ijin (mm)	Keterangan
Atap	4000	89,86	119,85	16,72	19,84	100,00	aman
10	4000	86,82	116,24	26,94	33,86	100,00	aman
9	4000	81,92	110,08	37,19	48,14	100,00	aman
8	4000	75,16	101,33	46,47	61,19	100,00	aman
7	4000	66,71	90,21	54,69	72,85	100,00	aman
6	4000	56,77	76,96	61,85	83,17	100,00	aman
5	4000	45,52	61,84	67,76	91,82	100,00	aman
4	4000	33,20	45,14	71,51	97,46	100,00	aman
3	4000	20,20	27,42	69,17	94,34	100,00	aman
2	4000	7,62	10,27	41,91	56,49	100,00	aman
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	aman

3.3.5 Perencanaan Balok Induk

Balok induk didesain dengan menggunakan bantuan program bantu komputer (**Gambar 8a**) untuk menganalisa momen – momen yang bekerja pada setiap balok induk yang direncanakan dengan mengambil momen terbesar yang terjadi pada balok induk tersebut. Hasil pemodelan diperoleh nilai momen tumpuan (-) sebesar 580666700 Nm, momen tumpuan (+) sebesar 382987977 Nm, dan momen lapangan (+) sebesar 182834436,8 Nm. Dilakukan perhitungan control dan pendetailan tulangan sesuai persyaratan SNI 2847 – 2019 dan dipatikan detail tulangan seperti pada **Gambar 8b**.



Gambar 8. (a) Bentuk 3D Gedung Hotel DAME dan (b) Detail Penulangan Balok Induk

3.3.5 Perencanaan Kolom

Direncanakan penampang kolom 70/70 cm, jarak antar kolom 7 m, tinggi 4 m, tulangan utama kolom dengan diameter 29 mm, tulangan sengkang kolom dengan diameter 13 mm. Detail perhitungan kolom disajikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

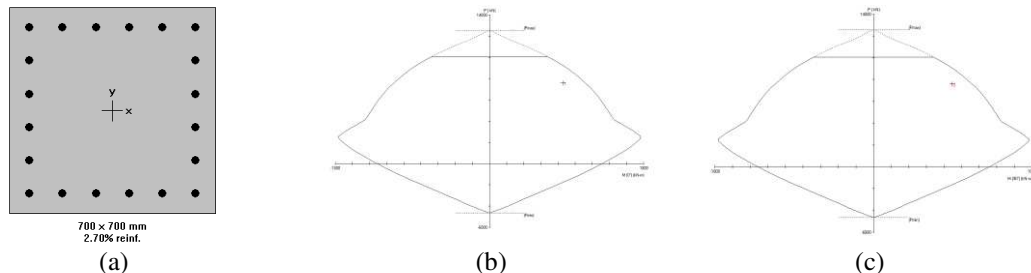
Tabel 4. Detail perhitungan kolom

<p>Menentukan Kolom Sway atau Non Sway</p> $Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} L_c} = \frac{759862,82 \times 7,9}{35061,21 \times 4000} \leq 0,05$ $Q = 0,043 \leq 0,05$ <p>Maka termasuk kolom <i>non sway</i>.</p>	<p>Kontrol Kelangsingan Kolom Kolom 700 x 700 mm²:</p> $E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 700 \times 700^3$ $I_g = 14005833333 \text{ mm}^4$ $E_c \times I_g = 27805,6 \times 14005833333 = 3,89 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$
--	--

Tabel 5. Detail perhitungan kolom (lanjutan)

<p><u>Balok induk 500 x 600 mm² (Arah Y):</u> $E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$ $I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$ $E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$</p> <p><u>Balok induk 500 x 600 mm² (Arah X):</u> $E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{35} = 27805,6 \text{ N/mm}^2$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times b \times h^3$ $I_g = 0,7 \times \frac{1}{12} \times 500 \times 600^3$ $I_g = 6300000000 \text{ mm}^4$ $E_c \times I_g = 27805,6 \times 6300000000 = 1,75 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$</p>	<p>Perhitungan faktor panjang tekuk kolom (k) menggunakan persamaan sebagai berikut: <u>Kekakuan kolom atas</u> $\Psi_A = \frac{\frac{E_c I_{kolom}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{kolom}}{l_{atas}}}{\frac{E_c I_{balok x}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{balok x}}{l_{atas}} + \frac{E_c I_{balok y}}{l_{bawah}} + \frac{E_c I_{balok y}}{l_{atas}}}$ $\Psi_A = \frac{\frac{3,89 \times 10^{14}}{4000} + \frac{3,89 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000} + \frac{1,75 \times 10^{14}}{7000}}$ $\Psi_A = 1,9$ <u>Kekakuan kolom bawah</u> $\Psi_B = 1,00$ (karena terjepit penuh) Untuk struktur kolom tidak bergoyang $\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$ $\frac{0,81 \times 4}{0,21} \leq 34 - 12 \left(\frac{39163,13}{85661,64} \right) \leq 40$ $15,43 \leq 28,51 \leq 40$ (OK) Maka, kelangsingan kolom diabaikan.</p>
---	---

Berdasarkan konfigurasi pada **Gambar 9a** didapatkan rasio tulangan $\rho = 2,70\% = 0,027$, sehingga nilai $0,01 < \rho < 0,06 = 0,01 < 0,027 < 0,06$ terpenuhi. Atau seperti pada **Gambar 9b** dan **Gambar 9c** bahwa titik yang ditunjukkan diagram tidak melebihi syarat batas.



Gambar 9. (a) Konfigurasi Penulangan, Diagram Interaksi (b) Arah X, dan (c) Arah Y pada Kolom

Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam

Kekuatan lentur kolom harus memenuhi pedoman SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.2 berikut:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \quad [7]$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq (1,2)1166,56 \text{ kNm}$$

$$3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$$

Untuk persyaratan *strong column weak beam* telah terpenuhi dan dapat disimpulkan bahwa kolom yang direncanakan termasuk dalam sistem penahan gempa.

3.3.6 Perencanaan Hubungan Balok dan Kolom

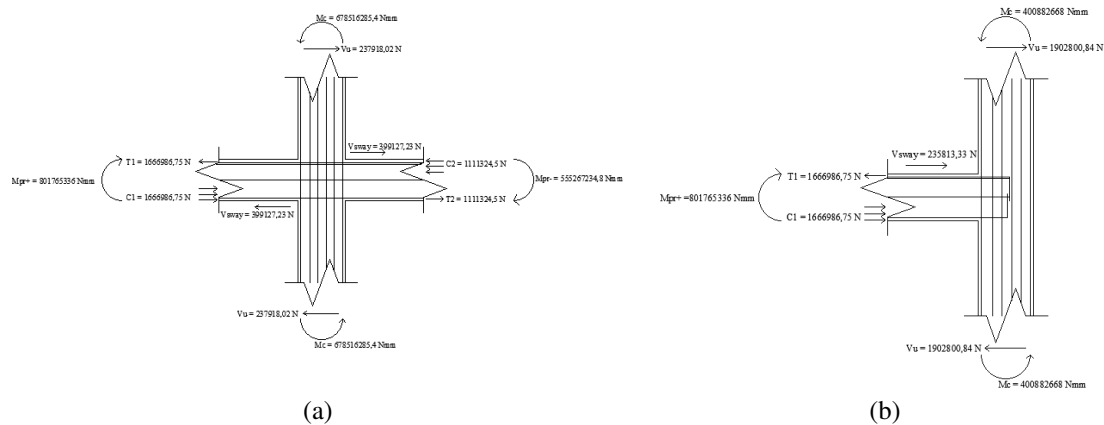
Untuk menyalurkan gaya dalam antara komponen struktur yang terhubung, sambungan seperti sambungan balok-balok atau sambungan balok-kolom digunakan dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat. SNI 2847:2019 Pasal 18.8 mengatur Pertemuan antara balok dengan kolom untuk SRPMK. Terdapat dua jenis hubungan balok dan kolom, antara lain:

1. Terkekang Empat Balok

Tulangan tarik dan tekan balok T1 dan T2 yang disambungkan ke HBK menentukan gaya geser yang diaplikasikan pada kolom KBK K1 dan keempat balok induk yang mengekang kolom. Detail hubungan kolom terkekang empat balok seperti **Gambar 10a**.

2. Terkekang Tiga atau Dua Balok

Tulangan tarik dan tekan balok T1 yang dihubungkan ke HBK menentukan gaya geser yang diaplikasikan pada kolom KBK K1 dan ketiga atau kedua balok induk yang mengekang kolom. Detail hubungan kolom terkekang tiga atau dua balok seperti **Gambar 10b**.



Gambar 10. HBK (a) Terkekang Empat Balok dan (b) Terkekang Tiga atau Dua Balok

3.4. Pondasi

Perencanaan struktur bawah Gedung Hotel Dame menggunakan pondasi tiang pancang dari bahan beton bertulang. Fungsi pondasi pada suatu bangunan adalah untuk menyalurkan beban ke lapisan tanah yang dalam guna mencapai kedalaman tertentu sehingga didapatkan daya dukung tanah terhadap beban struktur bangunan. Struktur bawah harus direncanakan dengan baik agar saat terjadi keruntuhan struktur bawah tidak mengalami keruntuhan terlebih dahulu sebelum struktur atas [10].

Jenis pondasi yang digunakan adalah tiang pancang. Kekuatan tiang pancang dan kekuatan pada tempat tiang pancang ditanam dapat digunakan untuk menentukan kemampuan tiang pancang dalam menahan beban. Daya dukung tanah berdasarkan kekuatan tanah direncanakan berdasarkan data hasil tes sondir (CPT) (Tabel 6).

Tabel 6. Detail perhitungan daya dukung tiang pancang

$C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{C_{.8D} + C_{.4D}}{2} \quad [8]$ <p>Harga konus berikut ini ditentukan dari data sondir yang tersedia: 8D = 400 cm ke atas dari ujung konus $C_1 = 222,857 \text{ kg/cm}^2$ 4D = 200 cm dibawah dari ujung konus $C_2 = 250 \text{ kg/cm}^2$ Maka, $C_n \text{ rata-rata ujung} = \frac{222,857 + 250}{2} = 236,429 \text{ kg/cm}^2$ Diambil pada kedalaman 15 m: JHP = 996 kg/cm</p>	<p>Kemampuan beban yang mampu ditahan oleh tiang pancang bisa diestimasi dengan memanfaatkan hasil penyelidikan mengenai sifat tanah berikut ini:</p> $P_{tiang} = C_n \times \frac{A}{n_1} + JHP \times \frac{k}{n_2} \quad [9]$ $P_{ijin \ 1 \ tiang} = 236,429 \times \frac{50 \times 50}{3} + 996 \times \frac{4 \times 50}{5} = 236864,17 \text{ kg} \sim 236,864 \text{ ton}$ <p>Berat Tiang Pancang Berat sendiri tiang = 625 x 15 = 9375 kg = 9,375 ton Beban ijin netto yang diperkenankan pada tiang tersebut $P_{ijin \ tiang \ bersih} = 236,864 - 9,375 = 227,489 \text{ ton} \leq P_{bahan} = 335,12 \text{ ton}$, memenuhi.</p>
---	--

Kontrol Tegangan Maksimum Pancang Kelompok

Hasil kontrol rencana 1 tiang pancan pada 1 kelompok tiang seperti pada Tabel 6. Didapatkan bahwa nilai hasil kontrol untuk 1 tiang pancang pada setiap tipe dapat memenuhi persyaratan yaitu $P_{max} \leq P_{ijin \ grup}$ maka perencanaan struktur gedung Hotel Dame di Kota Padang dapat direncanakan dengan pondasi tiang pancang sebagai pondasi dalamnya.

Tabel 7. Kontrol Tiang Pancang tunggal pada satu kelompok tiang (pilecap)

Titik	Jumlah Tiang	P (ton)	M_x (Ton.m)	M_y (Ton.m)	P_{max} [a]	$P_{ijin \ grup}$ [b]	Kontrol [a] < [b]
A1	6	531,986	27,382	32,096	101,37	167,659	OK
B2	9	1167,135	42,471	47,448	135,33	167,659	OK
H1	4	425,649	27,890	14,805	118,02	167,659	OK

3.5. Pile Cap

Perencanaan *pile cap* disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan disalurkan dari kolom menuju pondasi. Dimensi pile cap tergantung pada jumlah kelompok tiang pondasi yang perlu diikat

sehingga menjadi satu kesatuan *group pile*. Pada perencanaan ini terdapat tiga jenis *pile cap*. Detail perhitungan disajikan pada **Tabel 8** dan rekapitulasi penulangannya disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 8. Detail perhitungan *pile cap* Tipe 1, 2, dan 3

Tipe 1 (PC1)	Tipe 2 (PC2)	Tipe 3 (PC3)
<p>Kontrol ketebalan <i>pile cap</i>: Beban aksial (P) = 531986 kg Mutu beton = 35 MPa = 421,69 kg/cm^2 Maka, $\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ } kg/cm^2$ $\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$ $13,348 \geq \frac{1,5 \times 531986}{4,3 \times ((70+h)h)}$ Dicoba h = 100 cm $13,348 \geq \frac{1,5 \times 531986}{4,3 \times ((70+100) \times 100)}$ $13,348 \text{ } kg/cm^2 \geq 10,916 \text{ } kg/cm^2$ (OK) Maka, ketebalan <i>pile cap</i> yang digunakan yaitu 100 cm.</p>	<p>Kontrol ketebalan <i>pile cap</i>: Beban aksial (P) = 1167135 kg Mutu beton = 35 MPa = 421,69 kg/cm^2 Maka, $\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ } kg/cm^2$ $\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$ $13,348 \geq \frac{1,5 \times 1167135}{4,3 \times ((70+h)h)}$ Dicoba h = 160 cm $13,348 \geq \frac{1,5 \times 1167135}{4,3 \times ((70+160) \times 160)}$ $13,348 \text{ } kg/cm^2 \geq 11,06 \text{ } kg/cm^2$ (OK) Maka, ketebalan <i>pile cap</i> yang digunakan yaitu 160 cm.</p>	<p>Kontrol ketebalan <i>pile cap</i>: Beban aksial (P) = 425649 kg Mutu beton = 35 MPa = 421,69 kg/cm^2 Maka, $\sigma_{pons} = 0,65\sqrt{\sigma_{bk}} = 0,65\sqrt{421,69} = 13,348 \text{ } kg/cm^2$ $\sigma_{pons} \geq \frac{1,5P}{4,3 \times ((b+h)h)}$ $13,348 \geq \frac{1,5 \times 425649}{2,95 \times ((70+h)h)}$ Dicoba h = 100 cm $13,348 \geq \frac{1,5 \times 425649}{2,95 \times ((70+100) \times 100)}$ $13,348 \text{ } kg/cm^2 \geq 12,73 \text{ } kg/cm^2$ (OK) Maka, ketebalan <i>pile cap</i> yang digunakan yaitu 100 cm.</p>

Tabel 9. Rekapitulasi Penulangan *Pile Cap*

Tipe	Tebal (mm)	Tulangan	Arah X	Arah Y
PC1	1000	Atas	D29 – 200	D29 – 150
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 200	D29 – 150
PC2	1600	Atas	D29 – 200	D29 – 200
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 200	D29 – 200
PC3	1000	Atas	D29 – 300	D29 – 300
		Tengah	4D16	4D16
		Bawah	D29 – 300	D29 – 300

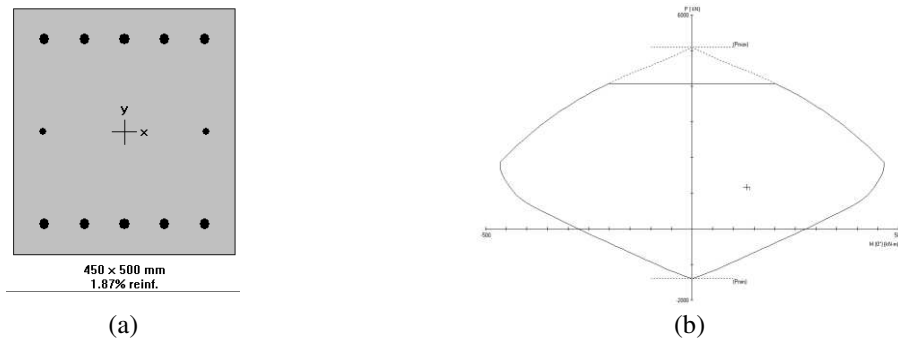
3.6. Sloof

Tulangan *sloof* digunakan pada kondisi pembebanan dimana beban aksial dan lentur diaplikasikan dan dimana perilaku penampang hampir sama dengan perilaku kolom. Berat sendiri sloof, beban mati tambahan di atas sloof jika ada dan beban aksial tekan atau tarik yang dihitung dari 10% beban aksial kolom, semuanya berkontribusi pada beban yang ditempatkan pada *sloof*.

$$P_u = 10\% \times P_{u \text{ kolom}} = 10\% \times 1172760 = 117276 \text{ kg}$$

Direncanakan dimensi *sloof* 45/50 mm, tulangan lentur diameter 22 mm dan tulangan geser diameter 10 mm. Didapatkan hasil momen 13205,5 *kgm*.

Berdasarkan konfigurasi **Gambar 11a** didapatkan rasio tulangan $\rho = 1,87\% = 0,0187$, sehingga nilai $0,01 < 0,0187 < 0,06$ terpenuhi. Atau seperti pada **Gambar 11b** bahwa titik yang ditunjukkan diagram tidak melebihi syarat batas. Rekapitulasi hasil penulangan *sloof* seperti pada **Tabel 8**.



Gambar 11. (a) Konfigurasi penulangan dan (b) diagram interaksi pada *sloof*

Type	Dimensi (mm)	Tulangan	Tumpuan	Lapangan
S1	450/500	Atas	5D22	5D22
		Tengah	2D16	2D16
		Bawah	5D22	5D22
S2	450/500	Senggang	D10 – 250	D10 – 250
		Atas	5D22	5D22
		Tengah	2D16	2D16
S3	450/500	Bawah	5D22	5D22
		Senggang	D10 – 250	D10 – 250
		Atas	5D22	5D22

IV. KESIMPULAN

Kontrol simpangan struktur gedung Hotel Dame telah memenuhi syarat simpangan ijin (Δa) yaitu nilai simpangan antar lantai berada dalam kisaran nilai simpangan antar lantai yang diijinkan (Δa ijin = 100 mm). Maka dari itu gedung mampu digunakan sebagai perencanaan struktur gedung tahan gempa.

Kontrol pendetailan pada struktur gedung Hotel Dame sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.1 sampai. Pasal 18.6.4.6 dan untuk kontrol scwb. Disimpulkan bahwa struktur gedung hotel ini mampu menahan beban yang disebabkan oleh gempa bumi yang terjadi dimana $\sum Mnc \geq 1,2 \sum Mnb = 3521,54 \text{ kNm} \geq 1399,872 \text{ kNm}$ telah terpenuhi. Kontrol kuat geser untuk hubungan balok kolom telah sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 dimana $\phi Vn \geq Vu = 3696070,84 \text{ N} \geq 2379184,02 \text{ N}$ telah terpenuhi.

Berdasarkan hasil analisa gempa yang terjadi dengan menggunakan program bantu komputer, diketahui struktur sekunder dan struktur primer yang direncanakan mampu menahan gaya gravitasi dan gaya lateral akibat beban gempa, serta memenuhi persyaratan kontrol yang diijinkan. Berikut merupakan dimensi dari struktur beton yang digunakan dalam perencanaan gedung Hotel Dame, antara lain; balok anak atap 35/50 cm, balok anak lantai 45/50 cm, balok bordes 20/30 cm, balok *lift* 20/40 cm, balok induk 50/60 cm, dan kolom 70/70 cm.

REFERENSI

- [1] Ansofino, "Potensi Daya Tarik Obyek Pariwisata Dalam Pembangunan Ekonomi Sumatera Barat," *Economica*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2012, doi: 10.22202/economica.2012.v1.i1.101.
- [2] BPS Kota Padang, "Jumlah Wisatawan Mancanegara dan Domestik," Badan Pusat Statistik Kota Padang. Accessed: Jul. 16, 2021. [Online]. Available: <https://padangkota.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMxIzI=/jumlah-wisatawan-mancanegara-dan-domestik.html>
- [3] A. Andiani, A. Darmawan, I. Badri, and A. Kurniawan, "Peranan geologi tata lingkungan dalam penataan ruang Kota Padang pasca Gempa Bumi 30 September 2009," *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, vol. 2, no. 2, pp. 95–112, 2011.
- [4] SNI 1726, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Indonesia, 2019.
- [5] B. Durrademantar and S. P. Machmoed, "Perencanaan Gedung Perkantoran Berlano 10 Lantai di Kota Palu Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus," *axial : jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 11, no. 2, p. 115, Aug. 2023, doi: 10.30742/axial.v11i3.3262.
- [6] J. A. Hilario and S. P. Machmoed, "Perencanaan Struktur Gedung Hotel 'Azona' Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Kota Yogyakarta," *axial : jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 11, no. 1, p. 029, Apr. 2023, doi: 10.30742/axial.v11i1.2854.

-
- [7] SNI 2847, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Indoensia, 2019.
- [8] H. Tiasmoro and S. P. Machmoed, "Perencanaan Gedung Apartemen Soedono 10 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Menggunakan Srpkm," *Axial: jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 9, no. 1, pp. 51–60, 2021.
- [9] G. Brawijaya and S. P. Machmoed, "Perencanaan Gedung Rusunawa 10 Lantai di Kota Yogyakarta Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)," *axial : jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 10, no. 2, p. 051, Aug. 2022, doi: 10.30742/axial.v10i2.2480.
- [10] F. A. Rachman and U. Khatulistiani, "Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Apartemen Lyon di Kota Yogyakarta Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus," *axial : jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, vol. 8, no. 2, p. 129, Sep. 2020, doi: 10.30742/axial.v8i2.1034.