

Re-design Struktur Bangunan Tidak Beraturan Vertikal Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Reza Rahayu^{1*}, Ignatius Sudarsono¹, Fauzia Mulyawati¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Langlangbuana
Jalan Karapitan No. 116, Kota Bandung, Indonesia
*e-mail: rezarahayu504@gmail.com

(Received: 24 September 2024; Reviewed: 27 September 2024; Accepted: 28 November 2024.)

Abstract

Re-Design of Irregular Vertical Building Structure Using the Intermediate Moment Resisting Frame System Method. This redesign of a building in Bandung aims to reassess previous calculations, which were based solely on equivalent static analysis. In this project, dynamic analysis is employed in accordance with SNI regulations, using the Intermediate Moment Resisting Frame System (SRPMM) for a more detailed approach. The main objective is to understand the structural planning process of the building, starting with the initial design of structural elements, which are then modeled using STAAD Pro software to analyze seismic responses through the response spectrum. The analysis results indicate that the irregular building still meets the irregularity requirements as per SNI 1726-2019 using the SRPMM method. Due to the irregular building shape, the diaphragm was designed with a 25% stiffness increase, and a redundancy factor of 1.3 was applied to the loads. The analysis revealed 20 modes to capture more than 95% of the earthquake forces, with the x-axis in mode 11 and the z-axis in mode 12. The total dynamic shear forces were recorded as 12,608.92 kN on the x-axis and 13,901.01 kN on the z-axis. The reinforced concrete structural elements were designed to withstand the forces derived from the STAAD Pro analysis, although further optimization of efficiency is required.

Keywords: Dynamic Analysis, irregular, vertical mass distribution, medium moment resisting frame system

Abstrak

Perencanaan ulang gedung di Kota Bandung ini dilakukan untuk mengkaji perhitungan sebelumnya yang hanya menggunakan analisis statik ekuivalen. Dalam perancangan ini, digunakan analisis dinamik sesuai aturan SNI dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), yang lebih rinci. Tujuan utama adalah memahami proses perancangan struktur atas gedung, mulai dari desain awal elemen struktur, lalu dimodelkan menggunakan software STAAD Pro untuk menganalisis gempa melalui respons spektrum. Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung yang tidak beraturan ini masih memenuhi syarat ketidakberaturan sesuai SNI 1726-2019 dengan metode SRPMM. Karena bentuk gedung yang tidak beraturan, diafragma didesain dengan peningkatan kekakuan 25%, serta faktor redundansi 1,3 diterapkan dalam pembebanan. Dari analisis, terdapat 20 mode ragam untuk mencapai >95% gaya gempa, dengan sumbu x pada mode 11 dan sumbu z pada mode 12. Gaya geser dinamis total tercatat sebesar 12.608,92 kN pada sumbu x dan 13.901,01 kN pada sumbu z. Elemen struktur beton bertulang yang dirancang juga memenuhi gaya yang dihasilkan dari analisis STAAD Pro, meskipun efisiensinya masih perlu dioptimalkan.

Kata Kunci: Analisis dinamik, bangunan tidak beraturan, distribusi massa vertikal, SRPMM.

PENDAHULUAN

Pemahaman teknologi mendorong desain bangunan modern yang unik, menghadirkan tantangan bagi perencana, terutama di Indonesia yang rawan gempa karena berada di pertemuan tiga lempeng tektonik. Di Bandung, dengan geografis unik dan sesar Lembang, sebuah bangunan berbentuk tidak beraturan menghadapi tantangan teknis, karena bentuk ini memicu distribusi gaya seismik yang tidak merata. Awalnya, bangunan hanya dirancang untuk beban gravitasi menggunakan analisis statik ekuivalen. Namun, untuk meningkatkan ketahanan gempa, diperlukan analisis ulang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai SNI 1726-2019. Analisis dinamis berbasis SRPMM penting untuk mengatasi deformasi besar selama gempa. Mengingat seringnya gempa besar melanda Bandung dalam dua tahun terakhir, pendekatan ini meminimalkan risiko kerusakan struktur dan meningkatkan keselamatan penghuni.

Penelitian ini dilakukan kajian pustaka berdasarkan penelitian sebelumnya yang sudah ditulis oleh, Dewi (2023) tentang “Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah pada Pembangunan Rumah susun Jakarta”, Ada juga Jurnal Oleh Ridho Aidil beserta rekannya “Studi Komparasi Detailing Desain Komponen Lentur Struktur Beto Bertulang SRPMK dan SRPMM” dan Diana Fika Aulia (2022) terkait evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan pemodelan struktur 3D berdasarkan analisis statik beban dorong. Belum ada penelitian yang membahas secara khusus penggunaan SRPMM pada bangunan tidak beraturan dengan distribusi massa vertikal yang tidak merata. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam perencanaan struktur tahan gempa untuk bangunan tidak beraturan di Indonesia. Dalam pemodelan struktur gedung ini akan menggunakan software STAAD Pro, dengan pendekatan ini diharapkan dapat dicapai perancangan struktur yang aman serta efektif untuk menghadapi beban gempa pada bangunan yang tidak beraturan.

METODE

Metode penelitian yang dilakukan oleh ini dengan langkah awal dilakukan studi literatur yang mencakup jurnal, makalah, dan buku dari sumber-sumber berskala nasional maupun internasional. Selain itu, referensi juga diambil dari peraturan atau regulasi yang berlaku, seperti SNI 1726-2019, SNI 2847-2019, dan SNI 1727-2020, studi kasus bangunan diambil di salah satu gedung di Kota Bandung yang berfungsi sebagai kantor arsitek di Kecamatan Bojong Koneng. Pengumpulan data sekunder yang dilakukan secara kualitatif yang berasal dari perusahaan konsultan terkait data sebagai berikut :

- a. Gambar Perencanaan Bangunan
- b. Data analisis tanah (SPT)
- c. Lokasi bangunan : Bandung, Jawa Barat
- d. Jumlah lantai : 3 Lantai dan atap
- e. Ketinggian bangunan : 14 m dari tanah
- f. Fungsi bangunan : Kantor
- g. Mutu beton, f'_c : 30 Mpa.
- h. Mutu tulangan utama, f_y : 420 Mpa.

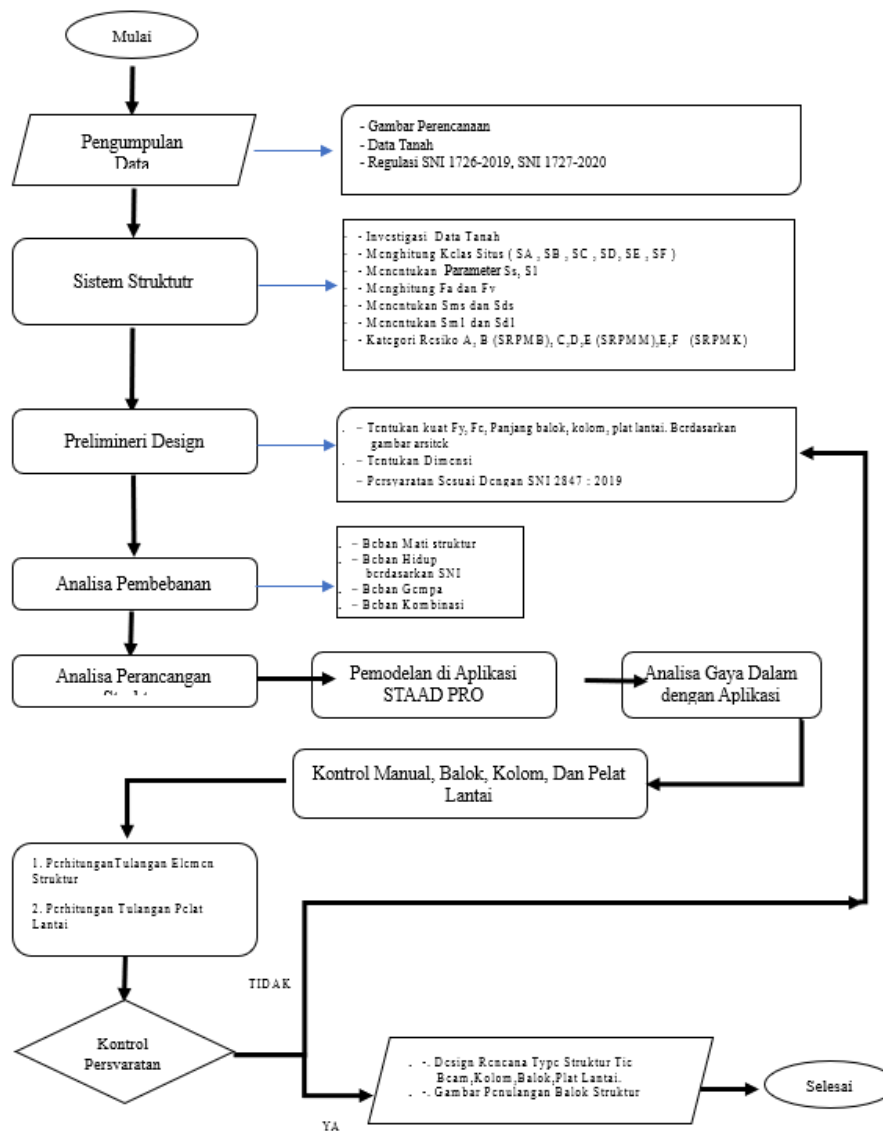
Data-data yang digunakan mencakup informasi detail tentang elemen-elemen struktur yang akan diuji. Proses penggunaan perangkat lunak STAAD Pro tahap pemodelan dan analisis dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa hasil simulasi memenuhi kriteria perancangan yang diatur dalam standar yang berlaku.

Beban mati dan hidup

Beban mati sendiri beton sebesar 24 kN/m³, dinding 1 (5,225 kN/m²), dinding 2 (2,25 kN/m²), dan dinding 3 (0,3 kN/m²). Beban tambahan dari elemen seperti railing kaca, dengan nilai 0,5 kN/m². Beban hidup tertinggi dicatat pada area roof garden sebesar 4,88 kN/m², lobby dan koridor memiliki beban hidup 3,904 kN/m², ruang kantor memiliki beban hidup 2,44 kN/m². Sementara, atap memiliki beban hidup sebesar 1 kN/m².

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan yang digunakan mengikuti regulasi SNI 1726-2019 dengan kebutuhan nilai $SDS = 0,747$ g dan $\rho = 1,3$.

Diagram alir penelitian**Gambar 1. Diagram alir penelitian****HASIL DAN PEMBAHASAN**

Preliminary Design yang dilakukan meliputi penentuan dimensi struktur maupun material yang akan direncanakan, hasil dari *preliminary design* ini sebagai berikut

- Kolom K1 = 40/40 cm
- Kolom K2 = 60//100 cm
- Kolom K3 = 60/60 cm

Balok diperhitungkan dengan pendekatan diantara bentang panjang balok

- Balok B1 = 30/50 cm
- Balok B2 = 30/60 cm
- Balok B3 = 45/65 cm

Pelat lantai berdasarkan regulasi terbaru di SNI 2847-2019 untuk minimum tebal pelat ditentukan rasio kekuatan balok terhadap pelat, dengan hasil tebal minimum yang diperoleh adalah 12 cm.

Berdasarkan perhitungan data tanah, diperoleh nilai $N = 22,81$ dimana nilai $50 < N > 15$, maka termasuk pada Klasifikasi situs SD (Tanah Sedang).

$$S_s = 1,12 \text{ g (Periode Pendek 0,6 detik)}$$

$$S_1 = 0,5 \text{ g (Periode 1 detik)}$$

$$F_a = 1,0$$

$$F_v = 0,8$$

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

$$= 1,12 \text{ g}$$

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

$$= 0,747 \text{ g}$$

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

$$= 0,4 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

$$= 0,267 \text{ g}$$

Periode Transisi (T) Maksimum

$$T_0 = 0,2 \times S_{D1} / S_{DS}$$

$$= 0,2 \times 0,267 / 0,747$$

$$= 0,071 \text{ sec}$$

$$S_a = S_{D1} / T$$

$$= 0,267 / 0,4$$

$$= 0,76$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

$$= 0,267 / 0,747$$

$$= 0,357 \text{ sec}$$

$$S_a = S_{D1} \times T_L / T_2$$

$$= 0,267 \times 6 / 0,42$$

$$= 10$$

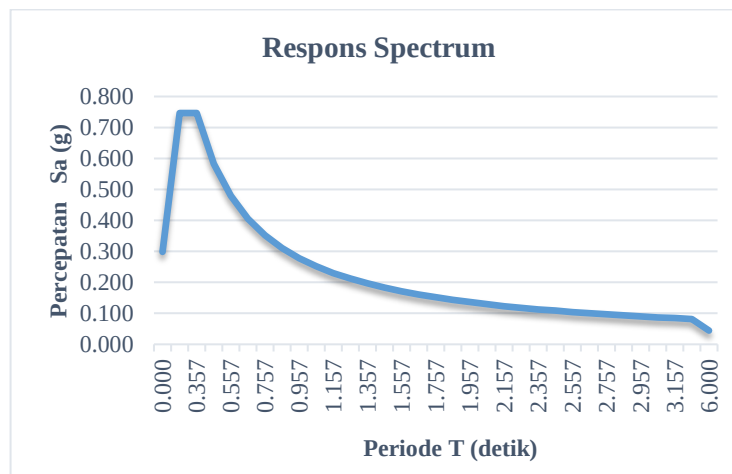
- Kategori Desain Seismik (KDS) = D
- Koefisien Modifikasi Respons (R) = 5
- Faktor Pembesaran Simpangan Lateral (Cd) = 4,5
- Faktor Kuat Lebih Sistem (Ω_0) = 3
- Koefisien batas atas (Cu) = 1,4
- Nilai parameter perioda pendekatan (x) = 0,9

$$T_a = C_t \times h_{nx} = 0,0466 \times 140,9 = 0,501 \text{ Sec}$$

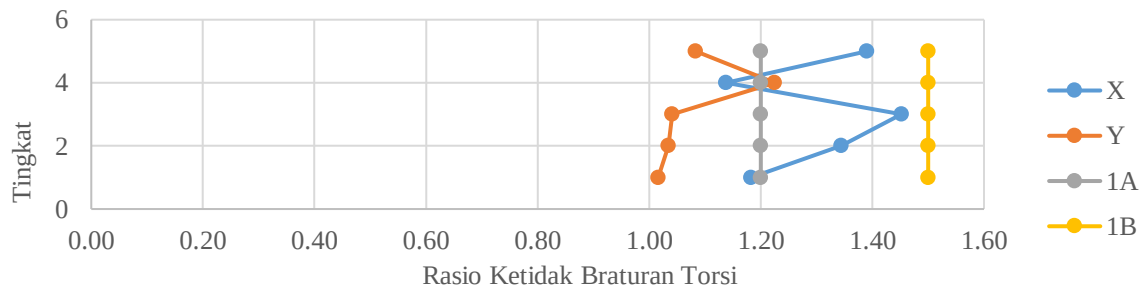
Perhitungan periode maximum

$$T_{a \text{ max}} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,501 = 0,702 \text{ Sec}$$

Koefisien respons seismic (Cs) = 0,104, nilai T = 0,5 maka k = 1



Gambar 2. Respon spektrum gempa

Ketidakteraturan torsi**Gambar 3. Grafik ketidakberaturan torsi arah x dan z**

Ketidakteraturan torsi arah x dan z melebihi batas rasio batas 1,2. Maka memiliki ketidakberaturan torsi 1a, berpengaruh dalam menentukan koefisien reduksi pembebanan kombinasi sebesar 1,3.

Pembesaran momen torsi tak terduga

Bangunan ini memiliki ketidakberaturan horizontal type 1a, maka mengacu kepada SNI-2847-2019 mempunyai pengaruh yang diperlukan dengan mengalikan M_{ta} di masing-masing Tingkat dengan factor pembesaran torsi.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2 \delta_{avg}} \right)^2$$

$$e_{ox} = XCR - XCM$$

$$e_{oy} = YCR - YCM$$

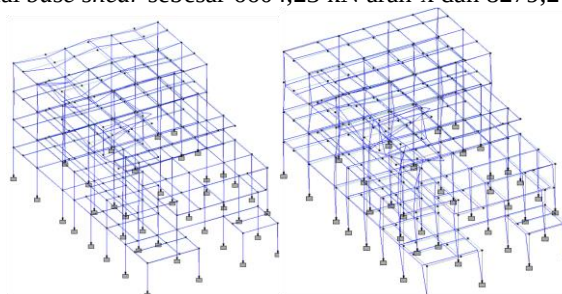
$$e_x = e_{ox} + 0,05 \cdot b_y \cdot A_x$$

$$e_z = e_{oy} + 0,05 \cdot b_x \cdot A_z$$

Tabel 1. Eksentrisitas Total

Dia.	Level	A (m)		b (m)		Eksentrisitas (m)	
		x	z	x	z	e_x	e_z
5	14,00	1,00	1,00	17,950	18,700	1,32	2,28
4	10,50	1,00	1,00	17,950	20,100	-2,52	-1,50
3	7,00	1,00	1,00	20,000	24,150	1,32	4,47
2	5,25	1,00	1,00	13,600	13,550	0,55	3,23
1	3,50	1,00	1,09	20,000	28,900	1,15	2,64

Analisis respon spektrum ragam diharuskan mencapai partisipasi massa ragam kombinasi sebesar 10%, namun terdapat pengecualian minimum massa ragam mencapai 99% . Mode akan digunakan untuk analisis ini sebanyak 27 Mode, partisipasi massa, dengan mencapai 99% di arah x terdapat pada mode ke 21, sementara pada arah z terdapat pada mode ke 27 dengan nilai nilai *base shear* sebesar 6604,23 kN arah-x dan 8279,24 kN arah z.

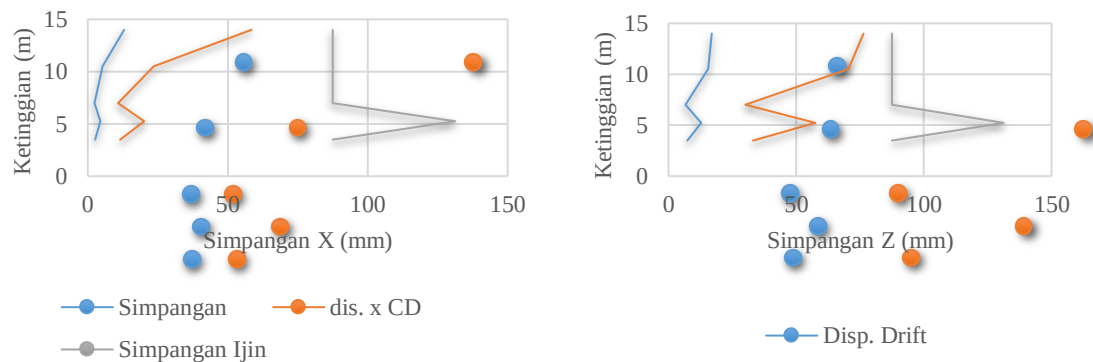
**Gambar 4. Mode ragam ke 21 (a), Mode ragam ke 27 (b)**

Soft Story**Tabel 2. Story drift arah x**

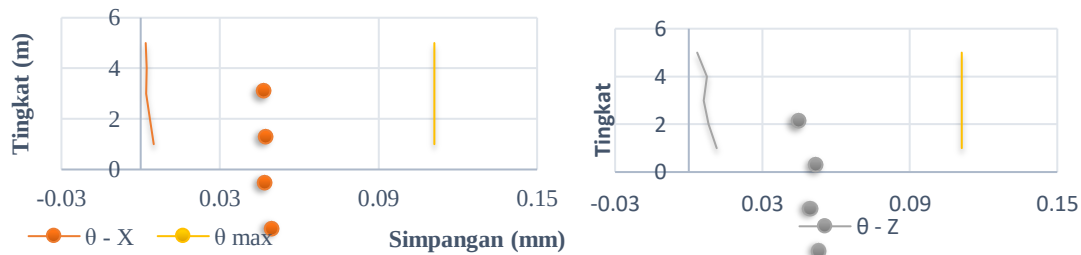
Story	Level (m)	Output Case	Ux-Avg (mm)	Δ Drift	Δ -x.cd	Tinggi Per lantai	Δ Ijin 0,025xh	Cek
Atap	14	C30	25,15	13,00	58,51	3500	87,50	Ok
L 3	10,5	C30	12,15	5,25	23,63	3500	87,50	Ok
L 2	7	C30	6,90	2,41	10,82	3500	87,50	Ok
L 1a	5,25	C30	4,50	4,50	20,23	5250	131,25	Ok
L 1	3,5	C30	2,58	2,58	11,59	3500	87,50	Ok

Tabel 3. Story drift arah z

Story	Level	Output Case	Uz-Avg (mm)	Δ Drift	Δ -x.cd	Tinggi Per lantai	Δ Ijin 0,025xh	Cek
Atap	14	C30	27,45	15,06	67,76	3500	87,50	Ok
L 3	10,5	C30	12,39	5,85	26,33	3500	87,50	Ok
L 2	7	C30	6,54	2,26	10,18	3500	87,50	Ok
L 1a	5,25	C30	4,27	4,27	19,23	5250	131,25	Ok
L 1	3,5	C30	2,59	2,59	11,66	3500	87,50	Ok

**Gambar 5. Grafik story drift arah x dan z**

Berdasarkan perhitungan di story drift atau simpangan antar lantai disetiap tingkat elevasi untuk memperhitungkan letak tingkat paling lemah. Pada kasus Gedung ini, letak soft story dinyatakan Aman.

Efek p-delta**Gambar 6. Grafik efek p-delta arah x dan z**

Berdasarkan grafik batas simpangan P-delta yang diizinkan, maka bangunan ini masih aman dan tidak terjadi delta effect.

Hasil perhitungan penulangan pelat lantai, memiliki ketebalan yang sama 120mm dan penulangan tumpuan D10-100, tumpuan D1-150 dengan tulangan susut P8-150

Hasil output analisa merekomendasi struktur berdasarkan gaya dalam yang terjadi, untuk menentukan tulangan transversal maupun longitudinal, berikut salah satu contoh pada balok.

LONGITUDINAL BAR LAYOUT

Position	Bars		Location		Distance	Anchor	
	Nums	Size	Start	End	From Face	Start	End
Bottom	3	16M	0.00	3.35	0.03	Yes	Yes
Bottom	2	16M	2.29	3.35	0.03	No	Yes
Top	3	16M	0.00	3.35	0.03	Yes	Yes
Top	2	16M	0.00	1.08	0.03	Yes	No

TRANSVERSE BAR LAYOUT

				Asv		Rebar Specification			
Zone	Dir.	From	To	Reqd.	Prov.	Nums	Size	Spacing	Legs
1	Y	0.00	3.35	0.0009	0.0011	26	10M	0.13	2
1	Z	0.00	3.35	0.0009	0.0011	26	10M	0.13	2

Berikut contoh hasil output analisa elemen kolom yang dibantu oleh software STAAD Pro.

COLUMN INTERACTION: MOMENT ABOUT Y -AXIS (KN-MET)				
	Pn	Mn	Pn	Mn (@ Z)
P0	2816.40	120.25	1408.20	213.93
P0	2581.70	127.76	1173.50	223.04
Pn,max	2347.00	152.93	938.80	227.93
Pn,max	2112.30	173.79	704.10	230.29
Pn	1877.60	190.37	469.40	221.51
Pn	1642.90	203.39	234.70	198.94
NOMINAL	Pn	Mn	Pn	Mn (@ Y)
AXIAL	2816.40	120.25	1408.20	213.93
COMPRESSION	2581.70	127.76	1173.50	223.04
Pb	2347.00	152.93	938.80	227.93
Pb	2112.30	173.79	704.10	230.29
Pn	1877.60	190.37	469.40	221.51
P-tens	M0 Mn,	1642.90	203.39	234.70 198.94
P-tens	* BENDING MOMENT			
STAAD SPACE				

BAR CONFIGURATION	REINF PCT.	LOAD	LOCATION	PHI-Z	PHI-Y
24 - 12 MM	1.696	24	STA	0.900	0.900
(PROVIDE EQUAL NUMBER OF BARS ON EACH FACE)					
TIE BAR NUMBER	10	SPACING	192.00	MM	

COLUMN INTERACTION: MOMENT ABOUT Z -AXIS (KN-MET)					
P0	Pn max	P-bal.	M-bal.	e-bal. (MM)	
3813.87	3051.10	1273.07	220.31	173.1	
M0	P-tens.	Des. Pn	Des. Mn	e/h	
169.65	-1140.01	196.76	73.56	0.10682	

-- PAGE

Diagram interaksi kolom ini menjelaskan bahwa nilai Momen dan Aksial kolom memiliki memikul gaya tekan karena ada dibawah angka seimbang, karena masih dalam jangkauan nilai Mn-Pu.

Hasil analisa ini terdapat perbedaan dimensi kolom utama pada lantai dasar, pada kolom perencanaan setelah Analisa dinamik untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur diperlukan 40 x 40 cm dan 60 x 60 cm, serta terdapat tiga kolom besar untuk menopang atas yang memiliki banyak kantilever sehingga membuat balok utama mengalami pembesaran dimensi. Lalu konfigurasi elemen struktur sebelumnya dengan banyaknya jenis type balok. Analisa SRPMM ini di tunjukan untuk bangunan kurang dari 14m sesuai dengan aturan SNI 1726-2019 dengan kapasitas kekuatan tanah dalam kategori SA-SD.

KESIMPULAN

Dari analisis perancangan menggunakan SRPMM untuk metode analisis dinamik, dapat disimpulkan bahwa penerapan pada bangunan tidak beraturan akan menyebabkan pembesaran elemen struktur yang signifikan untuk

memikul beban gempa dengan SRPMM. Pada bangunan yang ditinjau terjadi ketidakberaturan pada torsi dengan type 1A batasan maksimal 1.4 nilai P-Delta tetap dalam batas yang diizinkan dibawah 0,1 dan faktor redundansi 1,3 diterapkan dalam pembebanan. Dari analisis, terdapat 27 mode ragam untuk mencapai 99% gaya gempadengan nilai story drift setiap tingkat masih dalam batas yang diizinkan $>0,025xh$ di kedua arah. Desain pelat, balok, dan kolom sudah memenuhi syarat “*strong column, weak beam*”. Pada penelitian selanjutnya, disarankan agar melakukan perancangan dengan efisiensi lebih optimal, menimbang kebutuhan struktur yang ada masih begitu boros akibat adanya banyak cantilver dan transvers kolom, efisiensi dimensi dengan kondisi geologis berbeda dan ketinggian yang lebih dari 14m.

REFERENSI

- Ahmad Sodik, Relly Andayani 2021. Pengaruh Penerapan SNI 1726:2019 Terhadap Desain Struktur Rangka Momen Beton Bertulang di Indonesia.
- Alzena Sekar dan Nugaraha Bintang, 2019 Desain Elemen Struktur Bangunan Gedung Kuliah Umum dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Mengengah (SRPMM) Menggunakan Precast.
- Building Seismic Safety Council. Recommended Seismic Provision for New Building and Other Structure (FEMA 1050).*
- Budiono, Bambang., Kurniawan, Eben Haezer., Triani, Nyoman .H.D., Kristalya, Merilda., Lionita, Silviany.C.M., (2017). “*Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta*”. ITBPress, Indonesia.
- Dewi, Widayanto, and Wiswamitra 2023. Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) pada Pembangunan Rumah Susun Cakung Jakarta Timur.
- Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Pemodelan Struktur (3D) Berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (Pushover Analysis). CIVED, 9(3), 248-252.
- EARTHQUAKE ENGINEERING the San Francisco Department of Building Inspection Presents, n.d.
- Imran, Iswandi., Hendrik, Fajar., (2019). “*Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*”. ITB Press, Indonesia.
- Lesmana, Yudha. 2021 Handbook Analisa dan Desain Stuktur Tahan Gempa beton berulang (SRPMB, SRPMM, SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 dan 1726-2019.
- PusGen. (2021). Aplikasi Desain Spektra Indonesia 2021. Direktorat Jendral Cipta Karya.
- Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1 ATe Applied Technology Council Proposition 122 Seismic Retrofit Practices Improvement Program, n.d.) Aulia, D. F., Sudarsono, I., & Mulyawati, F. (2022).
- SNI 1726:2019, (2019). “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*”. BSN, Jakarta, Indonesia
- SNI 2847:2019, (2019). “*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan*”. BSN, Jakarta, Indonesia
- SNI 1727:2019, (2019). “*Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*”. BSN, Jakarta, Indonesia.
- Sunggono, K.H. (1995). “*Buku TEKNIK-SIPIL Jilid 1*”. NOVA, Indonesia.
- Tangahu, Nur, and Gani 2019, Analisis Pengaruh Faktor Modifikasi Respon SRPMK Struktur Gedung Beton Bertulang Pada Balok Kategori Desain Seismik.