

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI DENGAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS

Studi Kasus: Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta

(Structural Design of a 10-Story Building in South Jakarta Using Special Moment Resisting Frame System)

Dunand Richardo¹, Fadli Kurnia¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

E-mail: 4218217044@univpancasila.ac.id

Diterima 31 Februari 2024., Disetujui 25 Mei 2024

ABSTRAK

Perkembangan urbanisasi di Jakarta Selatan menuntut adanya infrastruktur yang berkualitas, termasuk gedung-gedung bertingkat sebagai bentuk penyesuaian terhadap kebutuhan ruang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur gedung 10 lantai dengan memanfaatkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus sebagai pendekatan utama. Metode penelitian yang digunakan melibatkan analisis literatur terkini mengenai sistem struktur gedung dan peraturan perencanaan struktur bangunan tinggi. Selanjutnya, dilakukan perhitungan dan analisis struktural menggunakan perangkat lunak simulasi untuk memvalidasi keandalan sistem yang diusulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dapat memberikan stabilitas struktural yang memadai untuk gedung 10 lantai di wilayah Jakarta Selatan. Faktor-faktor seperti beban gravitasi, beban hidup, dan beban angin telah dipertimbangkan secara detail dalam proses perencanaan. Diharapkan bahwa rancangan struktur gedung ini dapat menjadi kontribusi positif dalam pengembangan teknik perencanaan bangunan tinggi. Implementasi Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus diharapkan dapat meningkatkan ketahanan dan kinerja struktur gedung dalam menghadapi beban lateral, terutama dalam situasi darurat.

Kata kunci: Perencanaan Struktur, Gedung 10 Lantai, Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Jakarta Selatan

ABSTRACT

The urbanization development in South Jakarta demands high-quality infrastructure, including multi-story buildings, as an adaptation to spatial needs. This research aims to design a 10-story building structure utilizing the Special Moment Resisting Frame System as the primary approach. The research methodology involves a literature review of current building structure systems and high-rise building planning regulations. Subsequently, structural calculations and analyses are conducted using simulation software to validate the proposed system's reliability. The research findings indicate that implementing the Special Moment Resisting Frame System can provide adequate structural stability for a 10-story building in South Jakarta. Factors such as gravity loads, live loads, and wind loads have been carefully considered in the planning process. It is hoped that this building structure design will contribute positively to the development of high-rise building planning techniques. The implementation of the Special Moment Resisting Frame System is expected to enhance the resilience and structural performance of buildings in facing lateral loads, particularly in emergency situations.

Keywords: structural design, 10-story building, Special Moment Resisting Frame System, South Jakarta

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi di wilayah perkotaan, terutama di Jakarta Selatan, telah memicu peningkatan permintaan akan fasilitas pendidikan yang berkualitas. Gedung kuliah menjadi salah satu infrastruktur penting yang mendukung penyelenggaraan pendidikan tinggi di kawasan ini. Dengan bertambahnya jumlah mahasiswa dan kebutuhan akan ruang kuliah, pembangunan gedung kuliah yang efisien dan kokoh menjadi suatu kebutuhan mendesak[1].

Dalam perencanaan struktur gedung, pemilihan sistem struktur yang tepat memegang peranan krusial dalam menjamin keamanan, kestabilan, dan efisiensi ruang. Terlebih lagi Indonesia berada dalam daerah *Ring of Fire* dan menyebabkan banyaknya gempa tiap tahunnya [2]. Belakangan ini, Jakarta dan sekitarnya mengalami serangkaian gempa bumi yang mengakibatkan kerusakan signifikan pada bangunan-bangunan di sekitarnya. Seperti gempa bumi di Bogor dengan magnitudo 6,1 pada tanggal 8 Desember 2023 kemarin, gempa tersebut menyadarkan kita akan potensi risiko gempa yang sering terjadi di Indonesia.

Kejadian-kejadian ini menegaskan urgensi dari perencanaan struktur bangunan yang tahan terhadap gempa sebagai langkah mitigasi risiko bencana. Insinyur dan arsitek harus terus memperbarui pengetahuan mereka tentang kondisi geologis dan seismik terkini serta mengadopsi teknologi dan metode perencanaan terbaru untuk memastikan bangunan-bangunan dapat bertahan saat gempa bumi melanda [3]. Dengan demikian, langkah-langkah ini tidak hanya akan meningkatkan keamanan dan ketahanan bangunan, tetapi juga melindungi nyawa dan harta benda penduduk Jakarta dari dampak gempa bumi di masa mendatang.

SNI-1726-2019 menggolongkan beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gempa bumi. Salah satu sistem struktur yang relevan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). SRPM dibagi menjadi tiga jenis, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) untuk Kategori Desain Seismik A dan B, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) untuk Kategori Desain Seismik A, B, dan C, serta Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik A, B, C, D, E, dan F [3].

Mengingat potensi risiko gempa bumi di wilayah Jakarta Selatan, SRPMK merupakan sistem yang disarankan untuk perancangan bangunan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan SRPMK yang lebih baik dalam menanggulangi efek getaran lateral yang disebabkan oleh gempa bumi. Selain itu, penting juga untuk mengingat bahwa faktor-faktor ini juga dapat mempengaruhi respons struktur terhadap gempa bumi. Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, pemilihan sistem struktur yang tepat dapat meningkatkan ketahanan dan keamanan bangunan terhadap potensi risiko gempa bumi[5].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perencanaan struktur gedung kuliah 10 lantai di Jakarta Selatan dengan menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus, dengan mempertimbangkan kerusakan yang mungkin terjadi akibat gempa belakangan ini. Dengan menggali lebih dalam mengenai perencanaan struktur tersebut, diharapkan hasil penelitian ini dapat

memberikan kontribusi dalam pengembangan desain dan konstruksi gedung yang aman, efisien, dan berkelanjutan di lingkungan perkotaan yang padat seperti Jakarta Selatan

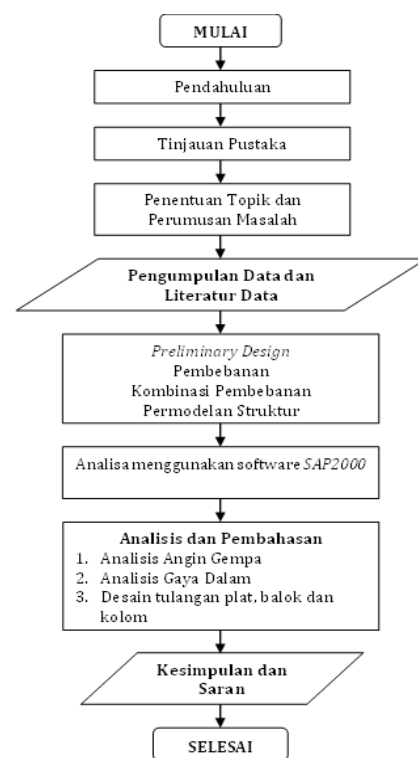
METODE

Jenis Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif dengan bantuan program SAP2000, pemodelan struktur gedung 3 dimensi. Portal dari gedung dimodelkan sebagai elemen *frame*, sedangkan pelat lantai gedung dimodelkan sebagai elemen *shell*. Analisis pembebanan meliputi beban mati, beban angin, beban hidup, dan beban gempa yang dikombinasikan untuk mendesain penulangan.

Diagram Alir Penelitian

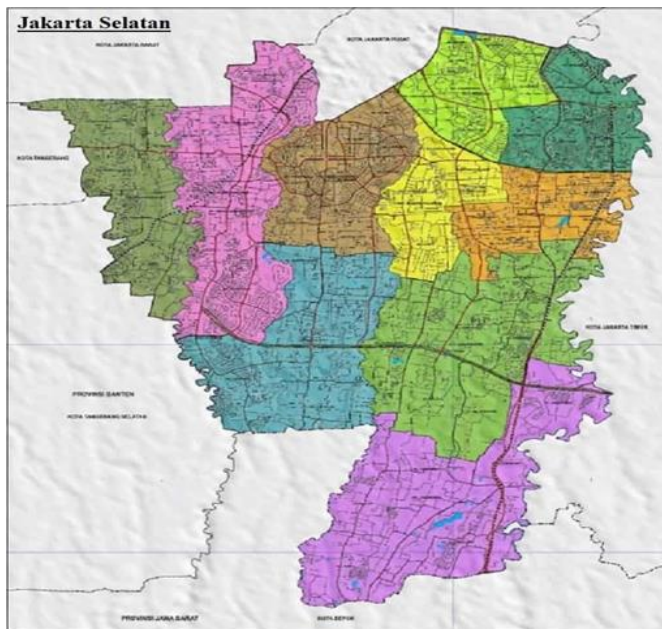
Secara sistematis diagram alir penelitian ini dapat dijelaskan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi studi penelitian ini berada di Kota Jakarta Selatan yang secara geografis terletak di antara 106°22'42 Bujur Timur (BT) sampai dengan 106°58'18 dan 5°19'12 Lintang Selatan (LS). Dengan luas wilayah sebesar 141,37 Km² terdiri dari 10 kecamatan dan 65 kelurahan.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Sumber Data

Data yang digunakan pada penyusunan merupakan data sekunder berupa Data bangunan.

Tabel 1. Data Bangunan dan Spesifikasi Material

Jenis Data	Keterangan
Sistem struktur	SRPMK
Fungsi gedung	Gedung kuliah
Jumlah lantai	9 + atap
Elevasi tertinggi gedung	+35 m
Tinggi lantai tipikal	4 m
Jenis tanah	Tanah sedang
Kekuatan tekan beton (fc')	30 MPa
Modulus elastisitas Beton (Ec)	25.743 MPa
Kekuatan leleh baja (fy)	400 MPa
Modulus elastisitas Baja (Es)	200.000 MPa

Preliminary Design

Penentuan dimensi elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 1726-2019 maupun ketentuan lain sesuai literatur yang dipakai. Elemen struktur yang perlu direncanakan adalah:

1. Dimensi pelat
Perencanaan pelat dua arah (*two ways slab*) dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang

$$\frac{l_y}{l_x} < 2 \dots \dots \dots (1)$$

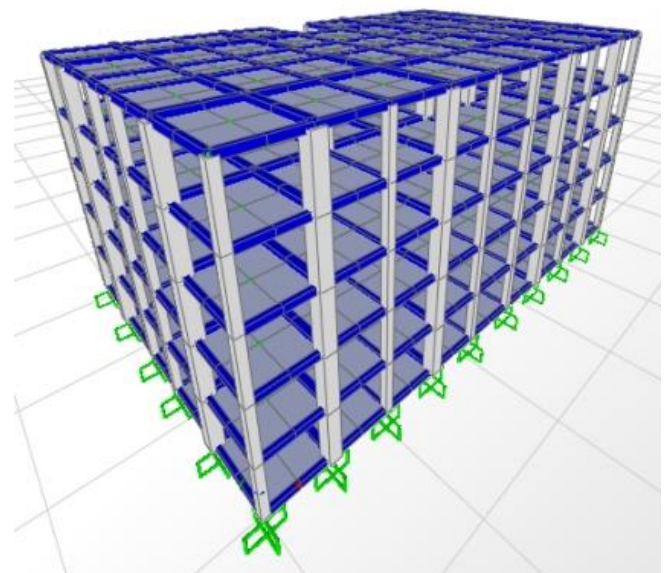
2. Dimensi balok
Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan SNI 2847-2019. sedangkan lebarnya dapat diambil dari nilai 2/3 dari tinggi balok yang telah didapat.

3. Dimensi kolom
 $\frac{l_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{l_{balok}}{L_{balok}} \dots \dots \dots (2)$

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan software analisa struktur. Data struktur yang digunakan berdasarkan hasil *preliminary design*. Dalam suatu perencanaan struktur gedung, hal yang pertama dilakukan yaitu penentuan

jenis struktur yang akan kita gunakan, karena ini akan berpengaruh kepada beban gempa dan dimensi struktur yang akan kita dapatkan nanti. Untuk pemilihan jenis struktur, maka terlebih dahulu harus diketahui kategori desain seismik tempat yang akan direncanakan.



Gambar 3. Pemodelan Struktur

Analisis Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan yaitu beban mati, beban angin, beban hidup dan beban gempa. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan fungsi ruangan sedangkan beban gempa pada perhitungan berdasarkan fungsi gedung, daerah gempa serta kondisi tanah. Beban mati adalah berat semua bagian dari gedung yang tak terpisahkan dan bersifat tetap. Beban mati diambil dari berat sendiri dari bahan bangunan dan komponen gedung. Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara [4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Beban Angin

Beban angin yang diberikan pada pemodelan gedung berpedoman pada SNI 1727: 2020 dengan tahapan sebagai berikut:

Tabel 2. Data Angin

Jenis Data	Keterangan
Kategori risiko	II
kecepatan angin dasar, V	40,9 m/s
Faktor arah angin, Kd	0,85
Kategori eksposur	C
Kategori topografi, Kzt	1
Faktor elevasi permukaan tanah, Ke	1
Faktor efek hambusan angin, G, atau Gf	0,85
Klasifikasi ketertutupan	Tertutup
Koefisien tekanan internal, Gcpi	-0,18

1. Koefisien eksposur tekanan velositas, Kz atau Kh
Dalam menentukan nilai koefisien koefisien eksposur tekanan velositas terhadap kategori eksposur C sesuai dengan ketinggian di atas permukaan tanah.

Tinggi bangunan = 35 m, maka

$$Y = Y1 + \left(\frac{x-x1}{x2-x1}\right)(Y2 - Y1) \dots\dots\dots(3)$$

$$= 1,26 + \frac{35-30,5}{36-30,5} x (131 - 1,26)$$

$$= Kz = 1,34$$

2. Menentukan tekanan velositas qz, atau qh

$$qz = 0.613 \times Kd \times Kzt \times Kz \times V^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$qz = 0.613 \times 1,34 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 40,9^2$$

$$qz = 1,168 \text{ KN/M}^2$$

3. koefisien tekanan eksternal, Cp atau Cn
Berikut Koefisien Angin yang diperoleh berdasarkan SNI 1727: 2020:

Tabel 3. Koefisien Angin

Permukaan dinding	Cp
Dinding sisi angin datang	0,80
Dinding sisi angin pergi	-0,50
Dinding tepi	-0,70

4. tekanan angin P, pada setiap permukaan bangunan gedung adalah:

- P angin datang = qzGCp = 1,168 x 0,85 x 0,8 = 0,794 kN/m²
- P angin pergi = qhGCp = 1,168 x 0,85 x -0,5 = -0,497 kN/m²
- P dinding tepi = qhGCp = 1,168 x 0,85 x 0,7 = -0,696 kN/m²

Perhitungan Spektrum Gempa

Perhitungan analisis struktur gedung terhadap beban gempa mengacu pada SNI 1726-2019, dimana analisis beban gempa struktur gedung bertingkat tinggi dilakukan dengan metode analisis dinamik spektrum respons[6].

Wilayah kota Jakarta memiliki nilai S_s = 0,85 g dan nilai S₁ = 0,45 g dari hasil pengamatan peta spektral percepatan dalam SNI 1726-2019, dengan asumsi kategori SD (Tanah sedang). Maka untuk nilai S_s = 0,85 g dan S₁ = 0,45 g didapat nilai F_a = 1,16 dan nilai F_v = 1,85

Periode Fundamental Struktur

Perhitungan periode gedung pada arah x dan y, waktu getar alami struktur dihitung berdasarkan tipe struktur rangka pemikul momen beton. Berdasarkan Tabel 18 SNI 1726-2019 tipe struktur rangka beton pemikul momen digunakan nilai C_t = 0,0466 dan x = 0,9

Dimana T_a = C_t x h_n^x

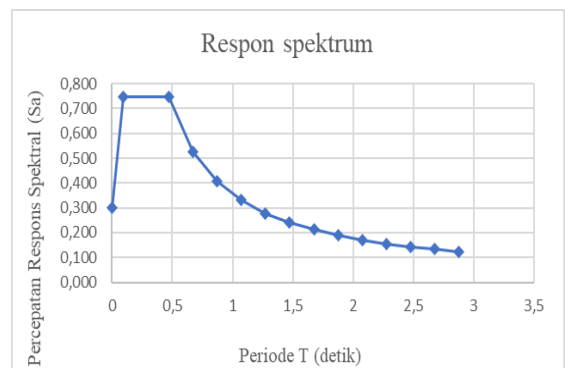
$$= 0,0466 \times 35^{0,9} = 1,143 \text{ detik}$$

Dengan nilai S_{D1} = 0,355 g maka didapat koefisien C_u = 1,4
Sedangkan T_{maks} = C_u x T_a

$$= 1,4 \times 0,78$$

$$= 1,6002 \text{ detik}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP2000 didapatkan periode fundamental struktur awal (T_c) adalah 1,407 detik. Karena T_a < T_c < T_{maks}, maka digunakan T = T_c = 1,407 detik



Gambar 4. Respon Spektrum Percepatan Gempa Desain

Rasio Partisipasi Massa

Perhitungan respon dinamis struktur harus dibuat hingga menghasilkan partisipasi massa lebih besar dari 90 % massa total struktur [7]. Dibawah ini merupakan hasil dari partisipasi massa dari hasil analisis menggunakan SAP 2000.

Tabel 4. Rasio Partisipasi Massa Arah Sumbu X dan Y

Periode	Arah X	Sum X	Arah Y	Sum Y	Arah Z	
1	1,550	0,695	0,695	0,014	0,014	0,015
2	1,436	0,018	0,714	0,646	0,660	0,086
3	1,131	0,002	0,716	0,058	0,718	0,558
4	0,502	0,126	0,842	0,000	0,718	0,000
5	0,456	0,000	0,843	0,114	0,833	0,003
6	0,381	0,001	0,844	0,019	0,851	0,157
7	0,282	0,054	0,898	0,000	0,851	0,000
8	0,252	0,000	0,898	0,050	0,901	0,000
9	0,226	0,000	0,898	0,002	0,904	0,067
10	0,179	0,025	0,924	0,000	0,904	0,000
11	0,172	0,000	0,924	0,000	0,904	0,000
12	0,170	0,000	0,924	0,000	0,904	0,000

Syarat partisipasi massa yang diizinkan adalah > 90%, partisipasi massa pada mode 12 adalah untuk arah x 0,924 dan untuk arah y 0,904 telah memenuhi syarat. Hasil mode shape (ragam getar) dapat dilihat pada tabel 4 didapat pada mode shape ke-1 mengalami translasi arah X, mode shape ke-2 mengalami translasi arah Y, dan mode shape ke-3 mengalami Rotasi Z

Pengecekan Perbandingan Geser Dasar

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) harus sama dengan geser dasar (V) yang dihitung [8]. Tabel 5 berikut merupakan hasil analisis geser dasar :

Tabel 5. Partisipasi Geser Dasar Statik dan Dinamik

Base shear	Dinamik (VD) Geser dasar (kN)	Statik (VS) Geser dasar (kN)	Faktor skala VS / VD	kontrol VD >= 100 % Vs
arah x	4538,39	4538,39	1,0	OK
arah y	6807,59	6807,59	1,0	OK

Cek Lentutan

Data lentutan maksimum didapat dengan program SAP 2000 dengan mencari besar max dan min di tiap titik. Berdasarkan SNI dengan kriteria gedung yang direncanakan

lendutan yang diijinkan sebesar :
 $L/240 = 9000/240 = 37,5$ mm.

Tabel 6. Joint Displacement di Titik Maksimum

Joint	Kombinasi	Arah X mm	Arah Y mm	Arah Z mm
57	1,4 D	0,673	1,066	-3,524
100	1,2 D + 1,6 L	1,452	0,974	-3,447
577	1,2 D + 1,6 L	1,302	0,664	-20,531

Lendutan terbesar berada dari arah Z, $20,2531 < 37,5$, artinya bangunan memenuhi syarat lendutan ijin.

Simpangan Antar Lantai

Kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung pada kondisi I tidak boleh melampaui $0,015h_{sx}$ (tinggi tingkat di bawah tingkat yang bersangkutan) [9], berikut perhitungannya:

Tabel 7. Simpangan Struktur Arah X

Lantai	Hsx (mm)	Dx (mm)	Δx (mm)	Δa (Ijin) (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta$ izin
10	4000	0,042	0,102	4	OK
9	4000	0,014	0,130	4	OK
8	4000	0,049	0,012	4	OK
7	4000	0,046	0,037	4	OK
6	4000	0,036	0,024	4	OK
5	4000	0,029	0,026	4	OK
4	4000	0,022	0,057	4	OK
3	4000	0,006	0,018	4	OK
2	4000	0,001	0,005	4	OK
1	3000	0,000	0,000	3	OK

Tabel 7. Simpangan Struktur Arah Y

Lantai	Hsx (mm)	Dx (mm)	Δx (mm)	Δa (Ijin) (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta$ izin
10	4000	0,091	0,203	4	OK
9	4000	0,036	0,252	4	OK
8	4000	0,105	0,020	4	OK
7	4000	0,099	0,070	4	OK
6	4000	0,080	0,047	4	OK
5	4000	0,067	0,052	4	OK
4	4000	0,053	0,127	4	OK
3	4000	0,018	0,051	4	OK
2	4000	0,004	0,016	4	OK
1	4000	0,000	0,000	4	OK

Perencanaan Pelat

Pembebanan pelat yang direncanakan menggunakan perhitungan pembebanan sesuai SNI 1727: 2020. Berdasarkan desain diperoleh tebal pelat lantai 120 mm. Momen pelat yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Momen Pada Pelat Lantai

	Daerah	Momen max (kN.m)
Tulangan arah X	Tumpuan	4,854
	Lapangan	2,262
Tulangan arah Y	Tumpuan	4,161
	Lapangan	4,143

Hasil perhitungan diperoleh penulangan tumpuan pelat arah x dan y adalah D10 - 175 mm dan penulangan lapangan pelat arah x dan y adalah D10 - 200 mm.

Perencanaan Balok Anak

Direncanakan balok anak dimensi 300/400 mm. Tebal selimut beton 40 mm, dengan tulangan utama = 16 mm, tulangan sengkang 10 mm, d = 342 mm. Dari hasil analisis SAP 2000 didapatkan balok anak dalam Tabel 9.

Tabel 9. Momen Balok Anak

Jenis	Momen tumpuan (kNm)	Momen lapangan (kNm)
Tarik	157,84	51,23
Tekan	78,92	78,92
Geser	157,84	157,84

- Perhitungan tulangan utama
 - As tulangan tumpuan (tarik)
 - $AS_{Perlu} = 1159,38$ mm²
 - $n_{tulangan} = \frac{1159,38}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 4,76 \approx 5$ batang
 - Pakai tulangan 5D16 (As = 1205,76 mm² > 1159,38 mm²) (Ok)
 - As tulangan tumpuan (tekan)
 - $AS_{Perlu} = 602,27$ mm²
 - $n_{tulangan} = \frac{602,27}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 2,99 \approx 3$ batang
 - Pakai tulangan 3D16 (As = 602,88 mm² > 602,27 mm²) (Ok)
 - As tulangan daerah lapangan tarik
 - $AS_{Perlu} = 386,74$ mm²
 - $n_{tulangan} = \frac{386,74}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 1,34 \approx 2$ batang
 - Pakai tulangan 2D16 (As = 401,92 mm² > 386,74 mm²) (Ok)
 - As tulangan daerah lapangan tekan
 - $AS_{Perlu} = 602,27$ mm²
 - $n_{tulangan} = \frac{602,27}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 2,99 \approx 3$ batang
 - Pakai tulangan 3D16 (As = 602,88 mm² > 602,27 mm²) (Ok)
- Cek momen nominal terfaktor terhadap momen ultimate
 - Tulangan daerah tarik (tumpuan)
 $\phi M_n > M_n = 164,77$ kNm $\geq 157,84$ kNm (Ok)
 - Tulangan daerah tekan (lapangan)
 $\phi M_n > M_n = 80,8$ kNm $\geq 78,92$ kNm (Ok)
- Perhitungan tulangan geser
 - Posisi Tumpuan
 - Didapatkan nilai gaya geser dari output SAP 2000 $V_u = 157,84$ kN
 - $V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times \sqrt{45} \times 342 \times 300 = 95533,76$ N = 95,53 kN
 - $\phi V_c = 0,75 \times 95,53 = 71,65$ kN
 - Karena $\phi V_c < V_u$ maka butuh tulangan geser
 - Kapasitas geser beton
 $V_s = V_u - \phi V_c = 157,84 - 71,65 = 86,19$ kN
 $V_{s\text{maks}} = 0,66 \times \sqrt{30} \times \sqrt{45} \times 342 \times 300 = 370895,807$ N = 370,9 kN
 $V_s > V_{s\text{maks}}$; 86,19 kN < 370,9 kN (ok)

- Dipasang tulangan geser D10
 $A_v = 157,08 \text{ mm}^2$
 - Jarak antar tulangan
 $s = \frac{157,08 \times 342 \times 300}{157,081 \times 10^3} = 102,6 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$
 - syarat spasi sengkang
 $s = 100 \text{ mm} < \frac{157,08 \times 400}{0,35 \times 300} = 598,4 \text{ mm (Ok)}$
- Maka digunakan tulangan geser D10-100
- b. Posisi Lapangan
- Didapatkan nilai gaya geser dari output *SAP 2000* V_u
 $= 157,84 \text{ kN}$
 - $V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 342 \times 300$
 $= 95533,76 \text{ N} = 95,53 \text{ kN}$
 - $\phi V_c = 0,75 \times 95,53 = 71,65 \text{ kN}$
 - Karena $\phi V_c < V_u$ maka butuh tulangan geser

- Kapasitas geser beton
 $V_s = V_u - \phi V_c = 157,84 - 71,65 = 86,19 \text{ kN}$
 - $V_{s \text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 342 \times 300$
 $= 370895,807 \text{ N} = 370,9 \text{ kN}$
 - $V_s > V_{s \text{ maks}}$; $86,19 \text{ kN} < 370,9 \text{ kN (ok)}$
 - Dipasang tulangan geser D10
 $A_v = 157,08 \text{ mm}^2$
 - Jarak antar tulangan
 $s = \frac{157,08 \times 342 \times 300}{157,081 \times 10^3} = 102,6 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$
 - syarat spasi sengkang
 $s = 100 \text{ mm} < \frac{157,08 \times 400}{0,35 \times 300} = 598,4 \text{ mm (Ok)}$
- Maka digunakan tulangan geser 2D10-100

Perencanaan Balok Induk

Direncanakan balok induk dengan dimensi 600/800 mm. Tebal selimut beton 40 mm, dengan tulangan utama = 22 mm, tulangan sengkang 10 mm, d = 739 mm. Dari hasil analisis *SAP 2000* didapatkan balok anak dalam Tabel 12 berikut:

Tabel 10. Momen dan Geser Balok Induk

Posisi	Posisi pada Bentang			Gaya geser	
	Kiri kNm	Tengah kNm	Kanan kNm	Kiri kN	Kanan kN
M ⁻ Tumpuan	888,61	-	893,01		
M ⁺ Tumpuan	-	-	-	390,13	390,48
M ⁺ Lapangan	-	352,10	-		

1. Perhitungan tulangan utama
- a. Tulangan Tumpuan (tarik)
- $A_{S \text{ Perlu}} = 3901,92 \text{ mm}^2$
 - $n_{\text{tulangan}} = \frac{3901,92}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} = 10,269 \approx 11 \text{ batang}$
 - Pakai tulangan 11D22 ($A_s = 4181,47 \text{ mm}^2 > 3901,92 \text{ mm}^2$) (Ok)
- b. As tulangan tumpuan (tekan)
- $A_{S \text{ Perlu}} = 1950,96 \text{ mm}^2$
 - $n_{\text{tulangan}} = \frac{1950,96}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} = 5,134 \approx 6 \text{ batang}$
 - Pakai tulangan 6D22 ($A_s = 2280,79 \text{ mm}^2 > 1950,96 \text{ mm}^2$) (Ok)
- c. As tulangan daerah lapangan tarik

- $A_{S \text{ Perlu}} = 1517,88 \text{ mm}^2$
 - $n_{\text{tulangan}} = \frac{1517,88}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} = 4,34 \approx 5 \text{ batang}$
 - Pakai tulangan 5D22 ($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2 > 1517,88 \text{ mm}^2$) (Ok)
- d. As tulangan daerah lapangan tekan
- $A_{S \text{ Perlu}} = 1897,32 \text{ mm}^2$
 - $n_{\text{tulangan}} = \frac{1897,32}{0,25 \times 3,14 \times 22^2} = 4,98 \approx 6 \text{ batang}$
 - Pakai tulangan 6D22 ($A_s = 2279,64 \text{ mm}^2 > 1897,32 \text{ mm}^2$) (Ok)
2. Cek momen nominal terfaktor terhadap momen ultimate
- a. Tulangan daerah tarik (tumpuan)
- Kondisi lentur negatif
 $\phi M_n > M_n$
 $1124.336 \text{ kNm} > 893,01 \text{ kNm (Ok)}$
 - Kondisi lentur positif
 $\phi M_n^+ \geq 0,5 M_n$
 $563.863 \text{ kNm} > 446.505 \text{ kNm (Ok)}$
- b. Tulangan daerah tekan (lapangan)
- Kondisi lentur negatif
 $M_n^- \geq \frac{1}{4} \phi M_n$
 $395,42 \text{ kNm} \geq 223,25 \text{ kNm (Ok)}$
 - Kondisi lentur positif
 $\phi M_n > M_u$
 $584,75 \text{ kNm} > 352,1 \text{ kNm (Ok)}$

3. Perhitungan tulangan geser
- a. Posisi Tumpuan
- Didapatkan nilai gaya geser dari output *SAP 2000* V_u
 $= 390,481 \text{ kN}$
 - $V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 400 \times 739$
 $= 219373,838 \text{ N} = 219,37 \text{ kN}$
 - $\phi V_c = 0,75 \times 219,27 = 164,53 \text{ kN}$
 - Karena $\phi V_c < V_u$ maka butuh tulangan geser
 - Kapasitas geser beton
 $V_s = V_u - \phi V_c = 390,481 - 164,53 = 225,951 \text{ kN}$
 - $V_{s \text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 400 \times 739$
 $= 851686,668 \text{ N} = 851,69 \text{ kN}$
 - $V_s > V_{s \text{ maks}}$; $851,69 \text{ kN} < 225,951 \text{ kN (ok)}$
 - Dipasang tulangan geser D10
 $A_v = 235,62 \text{ mm}^2$
 - Jarak antar tulangan
 $s = \frac{235,62 \times 400 \times 739}{225,951 \times 10^3} = 245,683 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$
 - syarat spasi sengkang
 $s = 200 \text{ mm} < 739/2 = 369,5 \text{ mm (Ok)}$
 $s = 200 \text{ mm} < \frac{235,62 \times 400}{0,35 \times 600} = 448,8 \text{ mm (Ok)}$
 $s = 200 \text{ mm} < 600 \text{ mm (Ok)}$
- Maka digunakan tulangan geser D10-200
- b. Posisi Lapangan
- Didapatkan nilai gaya geser dari output *SAP 2000* V_u
 $= 290,471 \text{ kN}$
 - $V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 400 \times 739$
 $= 219373,838 \text{ N} = 219,37 \text{ kN}$
 - $\phi V_c = 0,75 \times 219,27 = 164,53 \text{ kN}$
 - Karena $\phi V_c < V_u$ maka butuh tulangan geser
 - Kapasitas geser beton
 $V_s = V_u - \phi V_c = 290,471 - 164,53 = 125,941 \text{ kN}$
 - $V_{s \text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{30} \sqrt{45} \times 400 \times 739$

$$= 851686,668 \text{ N} = 851,69 \text{ kN}$$

$V_s > V_{s\text{maks}}$; $851,69 \text{ kN} < 125,941 \text{ kN}$ (ok)

- Dipasang tulangan geser D10

$$A_v = 157,08 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan

$$s = \frac{157,08 \times 400 \times 739}{125,941 \times 10^3} = 293,851 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

- syarat spasi sengkang

$$s = 250 \text{ mm} < \frac{157,08 \times 400}{0,35 \times 600} = 320,2 \text{ mm (Ok)}$$

Maka digunakan tulangan geser D10-250

4. Perhitungan Tulangan Torsi

Dari hasil analisis program *SAP 2000* yang bekerja pada balok induk, diambil nilai torsi terbesar adalah $T_u = 53,415 \text{ kNm}$

$$\theta T_n = 0,65 \times 0,083 \times 0,75 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \frac{(600 \times 800)^2}{2 \times (600 + 800)}$$

$$= 7,13 \text{ kNm}$$

Karena $T_u > T_n$, maka dibutuhkan tulangan puntir

a. As tulangan tumpuan (tarik)

$$A_{S\text{Perlu}} = 1405,44 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{tulangan}} = \frac{0,33 \times 1405,44}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 2,33 \approx 3 \text{ batang}$$

- Pakai tulangan 3D16 ($A_s = 1.809,57 \text{ mm}^2 > 1405,44 \text{ mm}^2$) (Ok)

b. As tulangan tumpuan (tekan)

$$A_{S\text{Perlu}} = 1002,24 \text{ mm}^2$$

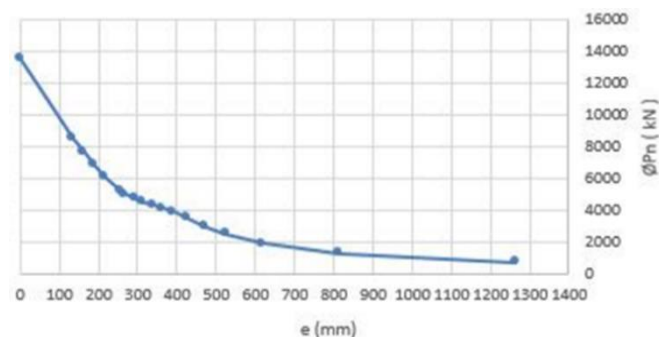
$$n_{\text{tulangan}} = \frac{0,33 \times 1002,24}{0,25 \times 3,14 \times 16^2} = 1,66 \approx 2 \text{ batang}$$

- Pakai tulangan 3D16 ($A_s = 1.207,51 \text{ mm}^2 > 1002,24 \text{ mm}^2$) (Ok)

Perencanaan Kolom

Direncanakan kolom dengan dimensi $900 \text{ mm} \times 900 \text{ mm}$, Selimut beton (s) = 40 mm , tinggi efektif $d = 836,5 \text{ mm}$. Diameter tulangan utama = 30 mm dan tulangan sengkang = 13 mm . Dari hasil analisa *SAP 2000*, untuk kolom lantai 1 peroleh gaya aksial terbesar kolom $P_u = 8468,66 \text{ kN}$. Penulangan longitudinal kolom, diagram interaksi M_n - P_n dengan menghitung secara manual didapatkan diagram interaksi kolom seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Sesuai pasal SNI 2847:2019, rasio tulangan longitudinal kolom adalah $1\% < 1,13\% < 6\%$, dengan penulangan 16D30 ($A_s = 11304 \text{ mm}^2$). Kontrol kapasitas beban aksial dari komponen struktur tekan P_n tidak boleh lebih besar dari $P_n \text{ max}$ [2]. Kontrol pendetailan kolom $P_u > 0.1 A_g f_c$, $a = 900 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ dan $b = 900/900 = 1 > 0,4$ sudah memenuhi.



Gambar 5. Diagram Interaksi P- e Kolom

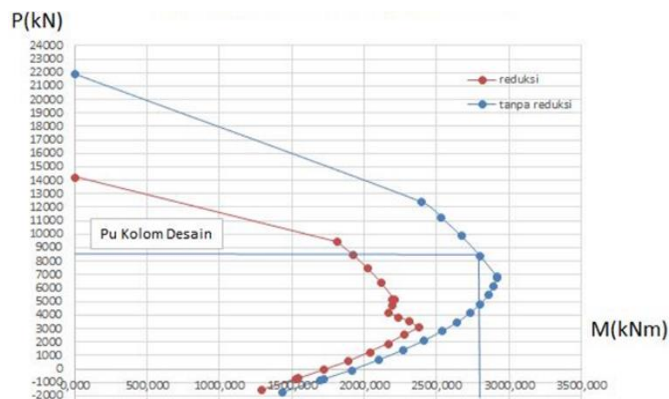
Berdasarkan hasil perhitungan penulangan di daerah l_o dan di luar daerah l_o geser kolom didapatkan masing masing adalah D13 - 120 mm dan D13 - 150 mm .

1. Memeriksa syarat kolom kuat balok lemah.

Capacity Design kuat lentur kolom harus memenuhi $\sum M_{nc} > 1.2 \sum M_{nb}$. $\sum M_{nb} = 4056,42 \text{ kNm}$ diperoleh dari total momen nominal bawah dan atas. Dari diagram interaksi kolom didapat $\sum M_{nc} = 1234,2 \text{ kNm}$.

2. Cek syarat kolom kuat-balok lemah

$\sum \phi M_{nc} > 1.2 \sum \phi M_{nb} = 4056,42 \text{ kNm} > 1481,025 \text{ kNm}$, (Maka syarat terpenuhi).



Gambar 6. Diagram Interaksi Kolom Desain

3. Hubungan balok kolom Gaya geser yang terjadi pada HBK terkekang 4 balok. Gaya geser rencana $M_u = 2920,414 \text{ kNm}$. Gaya geser bersih pada joint: $1274,7 \text{ kN} + 691,425 \text{ kN} - 112,278 = 1853,847 \text{ kN}$.

• Kuat geser nominal

$$V_{n \text{ joint}} = 1,7 \sqrt{f_c} A_j = 1581,1 \text{ kN}$$

$$V_{n \text{ joint}} = 121,4/0,85 = 175,2 \text{ kN}$$

• Cek kuat geser nominal joint terfaktor terhadap gaya geser joint:

$$\phi V_{n, \text{joint}} \geq V_j = 1752,2 \text{ kN} \geq 1853,847 \text{ kN}$$

(memenuhi).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai Perencanaan Struktur Gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus di Jakarta Selatan maka diperoleh dimensi plat, balok dan kolom sebagai berikut: Plat dengan tulangan D10-175 pada tumpuan arah x dan y, serta tulangan D10-200 pada lapangan arah x dan y. Dimensi Balok induk $800 \times 600 \text{ mm}$, dengan detail Tulangan Tumpuan: Atas 11D22, Bawah 5D22, Samping 2D16, dan Geser D10-200. Tulangan Lapangan: Atas 5D22, Bawah 6D22, Samping 2D16, dan Geser D10-250. Dimensi Balok anak $400 \times 300 \text{ mm}$, dengan detail Tulangan Tumpuan: Atas 5D16, Bawah 3D16, Geser D10-100. Tulangan Lapangan: Atas 3D16, Bawah 3D16, dan Geser D10-200. Dimensi Kolom $900 \times 900 \text{ mm}$, dengan detail Tulangan Tumpuan: Utama 16D30, Sengkang D13-120. Tulangan Lapangan: Utama 16D30 dan Sengkang D13-150.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk

- Bangunan, SNI 1727, 2020
- [2] Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847, 2019
- [3] Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung, SNI 1726, 2019
- [4] Peraturan Pembebanan Indonesia, 1983
- [5] Arifah, A. G., M. R. Akbar, and R. B. A. Affandie. "Perencanaan Struktur Gedung Kuliah Fakultas Teknik di Malang dengan Metode Sistem rangka Pemikul Momen Menengah." Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya (2017).
- [6] Suyadi, Suyadi, and Ratna Widyawati. "Analisis Desain Gedung Whiz Hotel Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus." Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain 4, no. 3 (2016): 481-490.
- [7] Mahendrayu, Betania, and Wahyu Kartini. "Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk) Struktur Beton Bertulang Pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya." Kern: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil 2, no. 2 (2019).
- [8] Sampakang, Jusak Jan, Ronny E. Pandaleke, Jorry D. Pangouw, and Lelyani Kin Khosama. "PERENCANAAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS PADA KOMPONEN KOLOM DAN SAMBUNGAN STRUKTUR BAJA GEDUNG BPJN XI." Jurnal Sipil Statik 1, no. 10 (2013)
- [9] Taufik, Imam, Seplika Yadi, and Pinta Astuti. "Respons ketidakberaturan struktur torsi dan torsi berlebih gedung 16 lantai menggunakan metode linear time history analysis." Konstruksia 13, no. 1 (2022): 181-191.