

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Design

Perancangan Gedung Pasar di Pasuruan menggunakan bahan beton dengan kekuatan beton f'_c 25 MPa untuk elemen balok, kolom, dan pelat, sedangkan atap bangunan ini menggunakan atap dak.

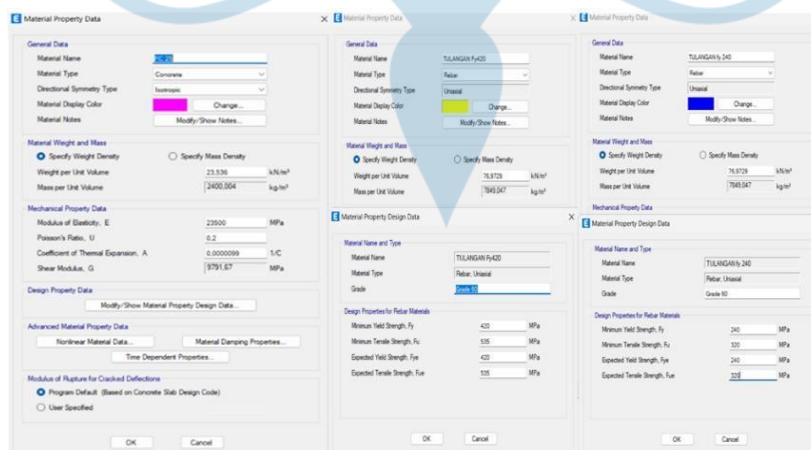
2.1.1 Standar dan Acuan Perancangan

Perancangan Gedung Pasar di Pasuruan didasarkan pada regulasi, standar, dan pedoman yang berlaku di Indonesia, yaitu:

- SNI 2847:2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
- SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.
- SNI 1727:2019 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

2.1.2 Spesifikasi Material Struktur

Spesifikasi material yang digunakan dalam desain struktur bangunan pasar dapat dilihat pada gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Material Property

1) Beton

- Kuat tekan beton pada umur (f'_c) = 25 MPa (struktur atas dan struktur bawah)

- Modulus elastisitas (E) = 200.000 MPa

2) Baja tulangan

- Baja tulangan dengan $D > 12$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deformed*) dengan tegangan leleh, $f_y = 400$ MPa
- Baja tulangan dengan $D \leq 12$ mm, digunakan baja tulangan polos dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa
- Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ MPa

2.2 Penentuan Sistem Struktur

2.2.1 Sistem Struktur

Dalam perancangan pembangunan Gedung Pasar, sistem struktur mencakup pelat lantai, balok induk, balok anak, dan kolom, yang kesemuanya dibuat dari bahan beton bertulang.

Penulangan pada pelat beton bertulang menggunakan sistem konvensional, yaitu pelat dua arah yang tepinya dilengkapi dengan balok beton bertulang.

Struktur untuk menahan beban lateral melibatkan balok pelat yang berperan sebagai rangka portal pada arah X dan Y.

Dengan sistem keseluruhan ini, Gedung Pasar di Pasuruan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan kolom dan balok yang dirancang untuk menahan momen, sesuai dengan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

2.2.2 Model Struktur

Gaya-gaya internal yang dihasilkan melalui pemodelan struktur dengan beban-beban ultimit yang bekerja menghasilkan desain struktur. Pemodelan struktur dilakukan dengan model 3D menggunakan ETABS. Elemen rangka yang digunakan pada pemodelan bertujuan untuk mengidealkan balok, kolom, pelat lantai, dan sloof. Perencanaan Pembebanan Struktur

2.2.3 Beban Rencana

2.2.3.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi ditentukan berdasarkan SNI 1727:2019 tentang Beban Minimum

untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.

Beban gravitasi dalam perancangan struktur pasar mencakup berat sendiri struktur atau dead load (DL), beban mati tambahan atau additional dead load (ADL), dan beban hidup atau live load (LL).

Beban-beban tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- Berat Sendiri Struktur (DL): Berat sendiri struktur atau dead load merujuk pada berat dari setiap komponen struktur seperti pelat lantai, balok, kolom, dinding geser, dan lainnya yang merupakan bagian dari struktur utama. Saat memodelkan struktur menggunakan perangkat lunak, berat ini akan dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak berdasarkan data berat jenis material dan dimensi elemen struktur yang dimasukkan.
- Beban Mati Tambahan (ADL): Beban mati tambahan atau additional dead load adalah beban tambahan yang disebabkan oleh komponen non-struktural (arsitektural dan MEP) yang melekat dan membebani struktur utama bangunan. Beban mati tambahan tersebut dijelaskan sebagai berikut: **Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai**

Berat sendiri pelat (tebal 12 cm) = $(0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) = 288 \text{ kg/m}^2$

Spesi FK 101 (tebal 2 mm) (dari brosur) = 12 kg/m^2

Keramik Arwana 40x40 (dari brosur) = $16,50 \text{ kg/m}^2$

Plafond KalsiBoard Ling 6.0 (tebal 6 mm) (dari brosur) = $8,53 \text{ kg/m}^2$

Instalasi listrik (menurut ASCE 7-02) = 19 kg/m^2

Plumbing air kotor (dari brosur) = $4,09 \text{ kg/m}^2$

Plumbing air bersih (dari brosur) = $10,82 \text{ kg/m}^2$

Penggantung plafon (menurut ASCE 7-02) = 10 kg/m^2

Total = $368,94 \text{ kg/m}^2$

Beban Mati Tambahan pada Balok Komponen Dinding Partisi

Dinding partisi (tebal 8 mm)

Ukuran = $1200 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$

Berat = 33,60 kg

Berat per m² = 33,60 kg / (1200 mm × 2400 mm) = 33,60 kg / 2,88 m² = 11,67 kg/m²

Tinggi dinding per lantai:

Lantai 1 (H1) = 4,5 m

Lantai 2 (H2) = 4 m

Lantai 3 (H3) = 4 m

Lantai 4 (H4) = 4 m

Ruang lift (Hlift) = 3 m

Perhitungan beban:

Beban dinding partisi lantai 1 = H1 × beban dinding = 3,5 m × 11,67 kg/m² = 40,83 kg/m

Beban merata lantai 2 = H2 × beban dinding = 3 m × 11,67 kg/m² = 35 kg/m

Beban merata lantai 3 = H3 × beban dinding = 3 m × 11,67 kg/m² = 35 kg/m

Beban merata lantai 4 = H4 × beban dinding = 3 m × 11,67 kg/m² = 35 kg/m

a. Beban Hidup (LL)

Beban Hidup: Berdasarkan SNI 1727:2019 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lainnya, beban hidup adalah beban yang timbul dari pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk dalam beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup meliputi:

- Beban hidup tangga dan bordes
- Beban hidup atap
- Beban hidup bangunan dengan fungsi sebagai pasar
- Beban hidup bangunan dengan fungsi sebagai pasar (SNI 1727:2019) = 600 kg/m²

b. Bebang Angin Rencana

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk sistem penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untum menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut pasal 26 sampai dengan pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini. (SNI 1727:2019 pasal 26)

c. Beban Hujan Rencana

Menurut SNI 1727:2019 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lainnya, setiap bagian atap harus dirancang agar mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul jika sistem drainase primer untuk bagian tersebut tersumbat, ditambah dengan beban merata akibat kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran maksimalnya.

Pembebanan Gempa

Beban gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Standar Perencanaan Ketahanan agar bangunan mampu menahan gaya gempa dengan intensitas sedang. Langkah-langkah perhitungan beban gempa rencana disajikan sebagai berikut:

d. Menentukan Kategori Risiko Bangunan (I-IV)

Penentuan kategori risiko struktur bangunan dan faktor keamanan dilakukan sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 4.1.2 yang tercantum dalam tabel 2.9 dan 2.10 di bawah ini.

Bangunan Pasar ini termasuk dalam kategori risiko II.

Tabel 2. 1 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
-------------------	-----------------

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : ➤ Perumahan ➤ Rumah toko dan rumah kantor Pasar ➤ Gedung perkantoran ➤ Gedung apartemen / rumah susun ➤ Pusat perbelanjaan / mall ➤ Bangunan industri ➤ Fasilitas manufaktur ➤ Pabrik	II
---	----

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 2.9)

e. Menentukan faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan.

Dalam Tabel 3.12 disajikan faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai dengan SNI 1726:2019.

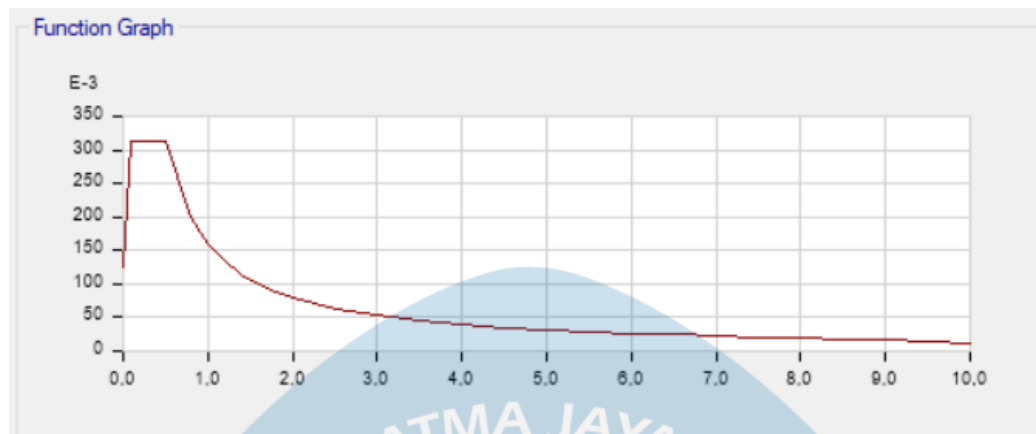
Dalam pekerjaan ini, struktur Pemondokan Seturan termasuk dalam kategori risiko bangunan I atau II sehingga faktor keutamaan gempa (I_e) ditetapkan sebesar 1,0.

Tabel 2. 2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 2.10)

f. Menentukan Parameter Percepatan Tanah (S_s dan S_1)



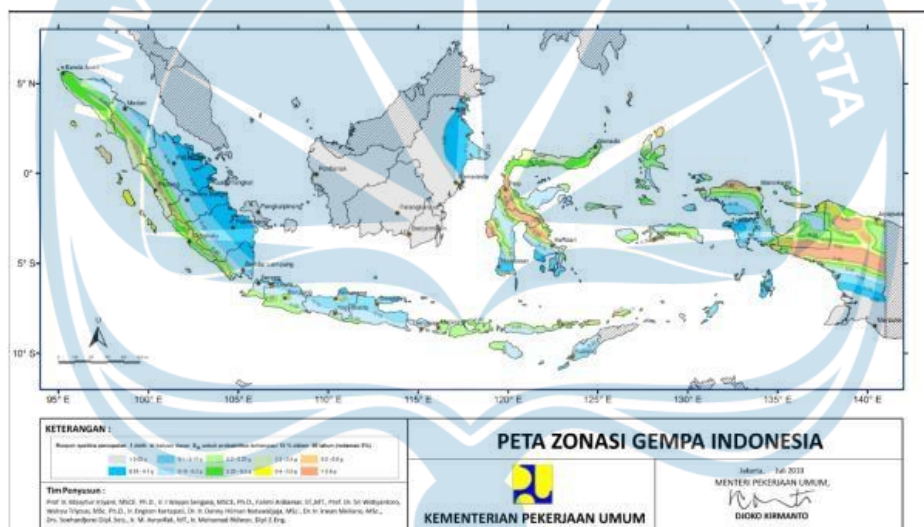
Gambar 2. 2 Kurva Respon Spektra Desain

Tabel 2. 3 Nilai Periode dan Percepatan Respon Spektra

Period	Acceleration
0	0,1248
0.1026	0.312
0.5128	0.312
0.8	0.2
1	0.16
1.2	0.1333
1.4	0.1143
1.6	0.1
1.8	0.0889
2	0.08
2	0.08
2.5	0.064
3	0.0533
3.5	0.0457
4	0.04
4.5	0.0356
5	0.032
5.5	0.0291
6	0.0267
6.5	0.0246



Gambar 2. 3 Peta Respon Spektra Percepatan untuk periode pendek (0,2 Detik)
(Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2. 4 Peta Respon Spektra Percepatan Pada periode (1,0 Detik)
(Sumber: SNI 1726:2019)

g. Menentukan Klasifikasi Situs

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 5.3 dengan menggunakan nilai SPT rata-rata (N). Dari nilai $N = 46,5655$, dapat disimpulkan bahwa kelas situs tanah tersebut adalah tanah sedang (SD).

Tabel 2. 4 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v_s (m/detik)	N atau N eh	Su(kPa)
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai
(sumber: SNI 1726:2019, Tabel 3)

h. Menentukan Koefisien Situs (F_a dan F_v)

Penentuan koefisien situs untuk periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v) dilakukan sesuai dengan SNI 1726:2019 pada pasal 6.2.

Berikut ini tabel 2.5 dan 2.6 mengenai koefisien situs.

Tabel 2. 5 Koefisien Situs (F_a)

Kelas Situs	Parameter respon spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ Detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 4)

Tabel 2. 6 Koefisien situs (F_v)

Kelas Situs	Parameter respon spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioda 1 detik , S_1
----------------	---

	$S_s \leq 0,1$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 5)

i. Menentukan parameter spektrum respons percepatan

- pada Periode Pendek (SMS): Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.2, $SMS = F_a \times S \times S_s$
- Menentukan Parameter Spektrum Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SM1): Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.2, $SM1 = F_v \times S \times S_1$
- Menentukan Parameter Percepatan Spektral Desain untuk Periode Pendek (SDS): Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.3, $SDS = (2/3) \times SMS$

–

j. Menentukan Kategori Desain Seismik

Karena diperoleh nilai $SDS = 0,312$ dan bangunan termasuk kategori risiko II, maka kategori desain seismik untuk bangunan gedung pasar 5 lantai ini adalah Kategori Desain Seismik (KDS) B. Juga diperoleh nilai $SD1 = 0,160$ dan bangunan termasuk kategori risiko II, maka kategori desain seismik untuk bangunan gedung pasar 4 lantai ini adalah Kategori Desain Seismik (KDS) C. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk desain ulang gedung pasar 5 lantai di Pasuruan ini menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah sesuai dengan SNI 1726:2019 Tabel 9. Hal ini dilihat dari Kategori Desain Seismik (KDS) yang diijinkan untuk metode (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) SRPMM yaitu KDS B dan C.

Menentukan nilai SMS, SM1, SDS, dan SD1 :

$$\begin{aligned}
 & \bullet S_{MS} = f_a \times S_s = 1,56 \times 0,3 = 0,468 \\
 & \bullet S_{DS} = \frac{1}{3} \times S_{MS} = \frac{1}{3} \times 0,468 = 0,156 \\
 & \bullet S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,40 \times 0,1 = 0,240 \\
 & \bullet S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,240 = 0,160
 \end{aligned}$$

k. Menentukan sistem dan parameter struktur (R, Cd, Ω_o)

Sistem struktur penahan gaya gempa diizinkan untuk ditetapkan berbeda pada masing-masing sumbu ortogonal struktur.

Parameter R, Cd, Ω_o untuk setiap tipe sistem struktur penahan gaya gempa disajikan dalam Tabel 2.9.

Tabel 2. 7 Sistem Penahan Gaya

Tabel 12 – Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canal dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3½	2	3¼	TB	TB	10 ⁱ	10 ⁱ	10 ⁱ
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_{ef}^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^A	TI ^A	TI ^A
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^{I'}	TI ^{I'}	TI ^{I'}
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^p	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{q,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^q	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^q	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

1. Menentukan Faktor Redundansi (ρ)

Menurut Pasal 7.3.4.2 SNI 1726:2019, faktor redundansi Gedung Pasar adalah 1,3 karena bangunan dengan kategori resiko E memiliki faktor redundansi 1,3.

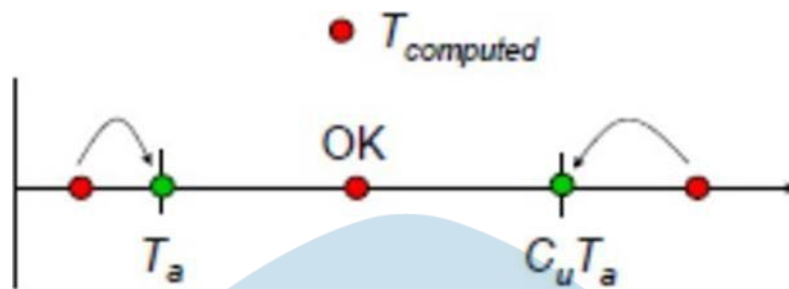
- m. Menghitung beban gempa dengan prosedur gaya lateral ekuivalen (ELF)
Prosedur analisis gaya lateral ekuivalen (ELF) didasarkan pada respons ragam pertama (first modes). Prosedur analisis ini berlaku hanya untuk struktur reguler dengan $T < 3,5 T_s$ (dimana

$T_s = SD1/SDS$), kekakuan tingkat- tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 30%, kekuatan tingkat- tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 20%, dan massa pada tingkat- tingkat yang berdekatan tidak berbeda lebih dari 50%. Jika hal tersebut tidak dipenuhi maka harus digunakan prosedur analisis dinamik yaitu analisis spektrum respons ragam atau prosedur riwayat waktu. Secara umum besar gaya gempa yang dihasilkan oleh prosedur analisis ELF adalah fungsi dari berat seismik efektif (W_t) dan koefisien respons seismik (C_s). Selanjutnya gaya gempa tersebut didistribusikan ke setiap tingkat dari struktur gedung yang akan didesain. Gaya gempa hasil dari prosedur analisis ELF perlu dihitung karena jika digunakan prosedur analisis dinamik, gaya gempa yang dihasilkan perlu dibandingkan dengan gaya gempa haso; dari prosedur analisis ELF. Langkah perhitungan gaya gempa dengan prosedur analisis ELF disajikan sebagai berikut:

Menentukan Periode Fundamental Alami Struktur (T) Periode fundamental alami struktur akan menentukan nilai koefisien respons seismik (C_s) yang juga akan menentukan nilai gaya geser dasar seismik ($VELF$). Jika periode struktur yang lebih akurat (T_c) tidak dimiliki maka periode struktur yang digunakan dapat diambil sebesar T_a . Namun, jika periode struktur yang lebih akurat (T_c) bisa didapatkan (melalui pemodelan struktur) maka periode struktur yang digunakan harus ditetapkan dengan mengikuti ketentuan berikut ini (lihat juga Gambar 2.16):

jika $T_c > C_u T_a$ maka $T = C_u T_a$

- ***jika $T_a < T_c < C_u T_a$ maka $T = T_c$***
- ***jika $T_c < T_a$ maka $T = T_a$***



Gambar 2. 5 Penentuan Periode Struktur yang digunakan

Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan berdasarkan persamaan: $T_a = C_t \times h_n^x$. Di mana h_n adalah ketinggian struktur (dalam meter), sedangkan koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan Tabel 2.17.

Tabel 2. 8 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Nilai koefisien untuk batas atas periode struktur yang dihitung (C_u) ditetapkan berdasarkan Tabel 2.18.

Tabel 2. 9 Koefisien untuk batas periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Pada pekerjaan ini, tipe struktur yang digunakan adalah rangka beton pemikul momen sehingga didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$.

Selanjutnya, berdasarkan nilai $SD1 = 0,160$ g, didapatkan koefisien $C_u = 1,4$.

Sehingga didapatkan nilai $T_a = 0,6923$ detik dan $T_{a \max} = C_u \times T_a = 0,969$ detik.

Nilai periode struktur hasil pemodelan struktur, $T_{cx} = 0,8480$ dan $T_{cy} = 0,7830$ detik.

Syarat:

- jika $T_{comp} > T_{a \max}$ maka digunakan $T = T_{a \max}$
- Jika $T_a < T_{comp} < T_{a \max}$ maka digunakan $T = T_{comp}$
- Jika $T_{comp} < T_a$ maka digunakan $T = T_a$

Sehingga periode struktur yang digunakan dalam analisis beban gempa dengan prosedur ELF adalah $T = 0,74$ detik.

- Menentukan Koefisien Respons Seismik (C_s)

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$C_s = SDS / (R / I_e)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi nilai C_s yang dihitung dengan persamaan berikut: $C_s = SD1 / (T \times (R / I_e))$ Namun nilai C_s harus tidak boleh kurang dari C_s yang dihitung dengan persamaan berikut: $C_s = 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,01$ Pada pekerjaan ini, hasil perhitungan koefisien respons seismik (C_s) adalah sebagai berikut:

$$C_s = SDS / (R / I_e) = 0,0520$$

$$C_s = SD1 / (T \times (R / I_e)) = 0,0275$$

$$C_s = 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,01 = 0,0137$$

Sehingga, diambil nilai $C_s = 0,0275$

- Menentukan Berat Seismik Efektif (W)

Berat seismik efektif struktur (W) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang termasuk dalam daftar berikut ini:

Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5% dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan) Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m² Berat operasional total dari peralatan yang permanen

Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya Dalam pekerjaan ini, berdasarkan hasil perhitungan didapatkan berat seismik efektif (W) = 83388 kN.

- Gaya Geser Dasar Seismik (V_{ELF})

Gaya geser dasar seismik (V_{ELF}) dapat dihitung dengan operasi perkalian antara koefisien respons seismik (C_s) dengan berat seismik efektif struktur (W).

Dalam pekerjaan ini, berdasarkan hasil perhitungan didapatkan gaya geser dasar seismik sebagai berikut:

$$(V_{ELF\ x}) = 2294,33 \text{ kN}$$

$$(V_{ELF\ y}) = 2294,33 \text{ kN}$$

Kombinasi Beban Rencana

Kombinasi beban ultimit ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

1. Kombinasi beban yang digunakan adalah:
2. 1,4DL
3. 1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr atau R)
4. 1,2DL + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
5. 1,2DL + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)
6. 1,2DL + 1,0E + 1,0LL
7. 0,9DL + 1,0W
8. 0,9DL + 1,0E

Untuk kombinasi beban nomor 5 dan 7 yang merupakan kombinasi beban gempa, diatur secara khusus dalam Pasal 7.4 SNI 1726:2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

1. $(1,2+0,2SDS)DL + 1,0LL \pm 0,3pEx \pm 1,0pEy$
2. $(1,2+0,2SDS)DL + 1,0LL \pm 1,0pEx \pm 0,3pEy$

$$3. (0,9-0,2SDS)DL \pm 0,3\rho Ex \pm 1,0\rho Ey$$

$$4. (0,9-0,2SDS)DL \pm 1,0\rho Ex \pm 0,3\rho Ey$$

Sedangkan kombinasi beban layan ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.3 SNI 1726:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

1. DL
2. DL + LL
3. DL + (Lr atau R)
4. DL + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)
5. DL + (0,6W atau 0,7E)
6. DL + 0,75(0,6W atau 0,7E) + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)
7. 0,6DL + 0,6W
8. 0,6DL + 0,7E

Di mana,

DL = Beban mati (berat sendiri struktur dan beban mati tambahan)

LL = Beban hidup

Lr = Beban hidup pada struktur atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

Ex = Beban gempa arah x

Ey = Beban gempa arah y

P = Faktor redundansi

SDS = Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik

Kombinasi beban ultimit yang digunakan dalam pekerjaan ini disajikan dalam:

Tabel 2. 10 Kombinasi beban ultimit

Nomor	DL	SIDL	LL	L _e	R	W _x	W _y	E _x	E _y
1	1,1	1,4	1,4						
2	2,1	1,2	1,2	1,6	0,5				
	2,2	1,2	1,2	1,6		0,5			
3	3,1	1,2	1,2	1	1,6				
	3,2	1,2	1,2		1,6	0,5			
	3,3	1,2	1,2		1,6		0,5		
	3,4	1,2	1,2		1,6	0,375	0,375		
	3,5	1,2	1,2	1	1,6				
	3,6	1,2	1,2		1,6	0,5			
	3,7	1,2	1,2		1,6		0,5		
	3,8	1,2	1,2		1,6	0,375	0,375		
4	4,1	1,2	1,2	1	0,5	1			
	4,2	1,2	1,2	1	0,5		1		
	4,5	1,2	1,2	1	0,5	0,75	0,75		
	4,3	1,2	1,2	1		0,5	1		
	4,4	1,2	1,2	1		0,5	1		
	4,6	1,2	1,2	1		0,5	0,75	0,75	
5	5,1	0,9	0,9			1			
	5,2	0,9	0,9				1		
	5,3	0,9	0,9			0,75	0,75		
6	6,1	1,3370	1,3370	1				1,3	0,39
	6,2	1,3370	1,3370	1				1,3	-0,39
	6,3	1,3370	1,3370	1				-1,3	0,39
	6,4	1,3370	1,3370	1				-1,3	-0,39
	6,5	1,3370	1,3370	1				0,39	1,3
	6,6	1,3370	1,3370	1				-0,39	1,3
	6,7	1,3370	1,3370	1				0,39	-1,3
	6,8	1,3370	1,3370	1				-0,39	-1,3
7	7,1	0,7630	0,7630					1,3	0,39
	7,2	0,7630	0,7630					1,3	-0,39
	7,3	0,7630	0,7630					-1,3	0,39
	7,4	0,7630	0,7630					-1,3	-0,39
	7,5	0,7630	0,7630					0,39	1,3
	7,6	0,7630	0,7630					-0,39	1,3
	7,7	0,7630	0,7630					0,39	-1,3
	7,8	0,7630	0,7630					-0,39	-1,3

2.3 Permodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur serta perilaku struktur akibat beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai dasar untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur beserta tulangan yang diperlukan. Model struktur dikerjakan dengan beberapa idealisasi. Sebagai contoh, pelat lantai dan dinding geser diidealisasikan sebagai elemen shell, sedangkan balok dan kolom diidealisasikan sebagai elemen frame. Pemodelan struktur yang dilakukan mampu mengakomodasi pengaruh keretakan beton ketika terjadi gempa yaitu melalui reduksi momen inersia penampang elemen struktur. Momen inersia pada pelat lantai direduksi menjadi 25% dari momen inersia awal. Pada elemen struktur balok, momen inersia direduksi menjadi 35% dari momen inersia awal. Selain itu, torsi juga direduksi menjadi 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia elemen struktur. Sedangkan pada kolom, momen inersia direduksi menjadi 70% dari momen inersia awal. Struktur bangunan Pasar didesain dengan menggunakan sistem struktur berupa struktur rangka pemikul momen Menengah

(SRPMM).

Struktur tersebut dimodelkan dalam model 3 dimensi (3D Models) menggunakan bantuan software (lihat Gambar 2.18).

2.3.1 Definisi Material

Material yang digunakan dalam perancangan struktur adalah sebagai berikut:

Beton: $f_c' = 25 \text{ MPa}$ / K-300

Baja Tulangan Ulir: $f_y = 400 \text{ MPa}$

Baja Tulangan Polos: $f_y = 240 \text{ MPa}$

Hasil dari proses identifikasi material dimasukkan ke dalam software ETABS melalui proses pemilihan definisi material.

2.3.2 Definisi Profil Balok dan Kolom

Desain balok dan kolom dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

Data Perencanaan :

Tipe Kolom: Kolom K1 lt.2 (50/50)

Frame: 3651

Lokasi: AS 2-I

Dimensi Kolom (b kolom): 500 mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500 mm

Tinggi kolom: 4000 mm

Jumlah kolom: 76 buah

Tipe Kolom: Kolom K1 lt.2
(50/50)

Frame: 3651

Lokasi: AS 2-I

Dimensi Kolom (b kolom): 500
mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500
mm

Tinggi kolom: 4000 mm

Jumlah kolom: 76 buah

Elemen di atasnya Kolom

Dimensi Kolom (b kolom): 500 mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500 mm

Tinggi Kolom: 6000 mm

Balok Memanjang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Elemen di atasnya Kolom

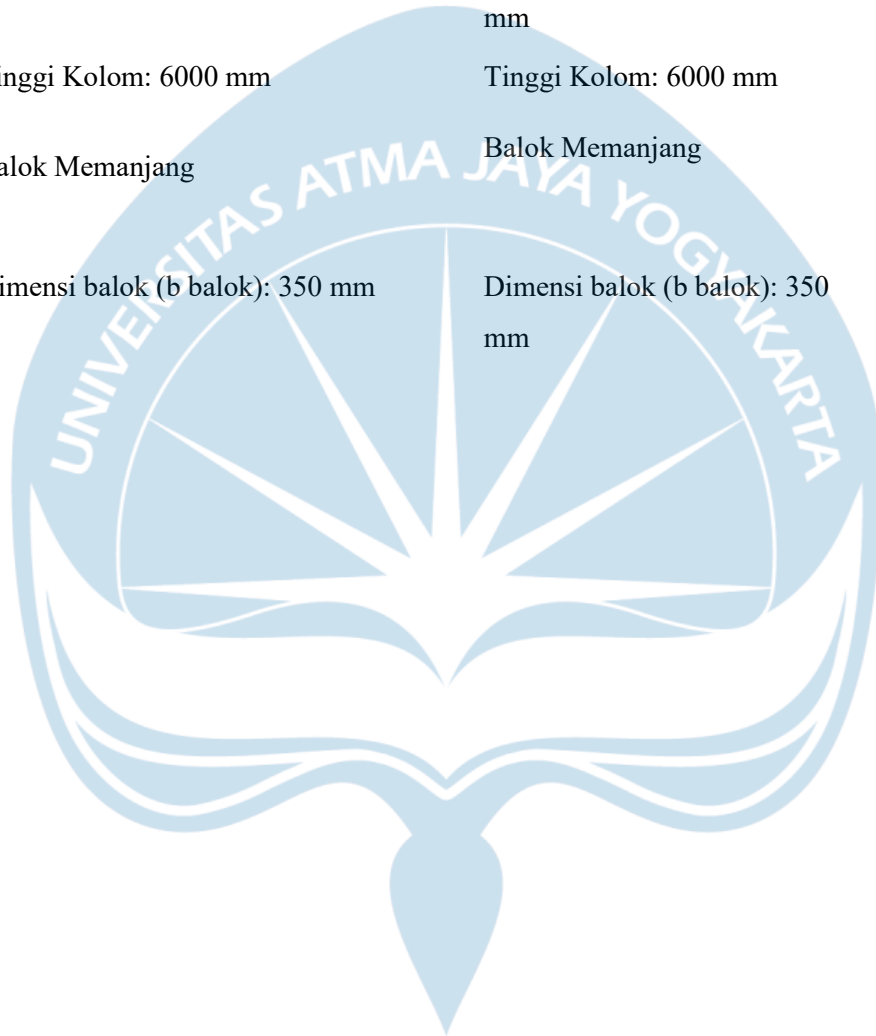
Dimensi Kolom (b kolom): 500 mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500 mm

Tinggi Kolom: 6000 mm

Balok Memanjang

Dimensi balok (b balok): 350 mm



Bentang balok: 6000 mm

Balok Melintang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Elemen di bawahnya Kolom

Dimensi Kolom (b kolom): 500 mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500 mm

Tinggi Kolom: 4500 mm

Balok Memanjang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Balok Melintang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Kuat tekan beton (f_c'): 325 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}): 400 MPa

Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}): 400 MPa

Diameter tulangan lentur (D lentur): 19 mm

Bentang balok: 6000 mm

Balok Melintang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Elemen di bawahnya Kolom

Dimensi Kolom (b kolom): 500 mm

Dimensi Kolom (h kolom): 500 mm

Tinggi Kolom: 4500 mm

Balok Memanjang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Balok Melintang

Dimensi balok (b balok): 350 mm

Dimensi balok (h balok): 550 mm

Bentang balok: 6000 mm

Kuat tekan beton (f_c'): 325 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}): 400 MPa

Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}): 400 MPa

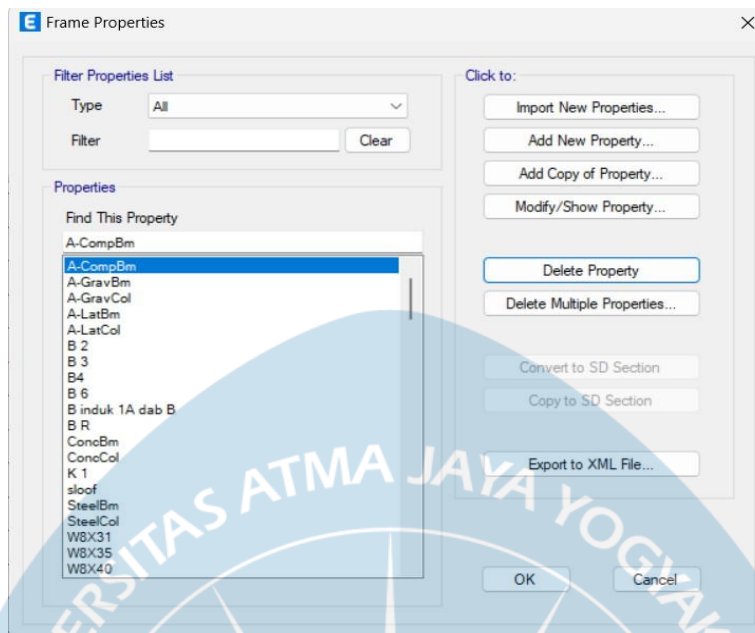
Diameter tulangan lentur (D lentur): 19 mm

Diameter tulang geser (D geser): 10 mm

mm

Diameter tulang
geser (D geser): 10
mm





Gambar 2. 6 Section Properties

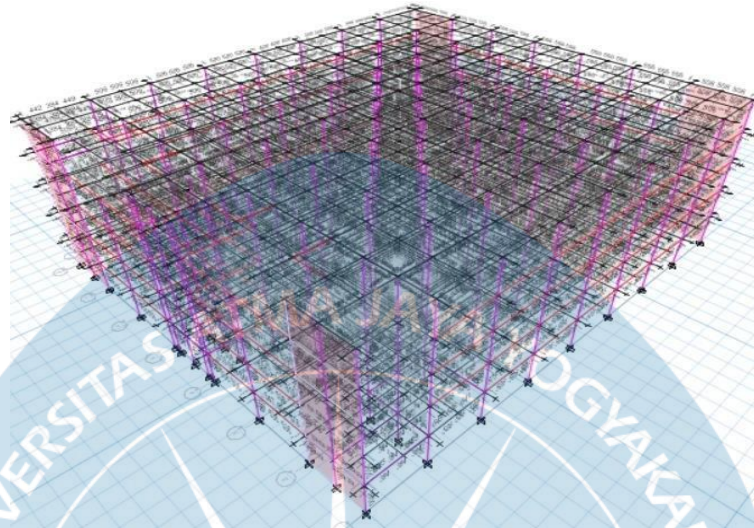


Gambar 2. 7 Kolom K1

2.3.3 Permodelan Struktur 3 Dimensi

Setelah material dan section properties sudah lengkap proses selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi semua ukuran balok dan kolom, beserta

tulangan yang direncanakan untuk terpasang ditunjukkan pada Gambar 4. Berikut.



Gambar 2. 8 Model 3D Bangunan Pasar 5 Lantai

2.3.4 Memberikan Beban yang Bekerja

Secara besar, beban yang bekerja pada struktur ini dibedakan menjadi:

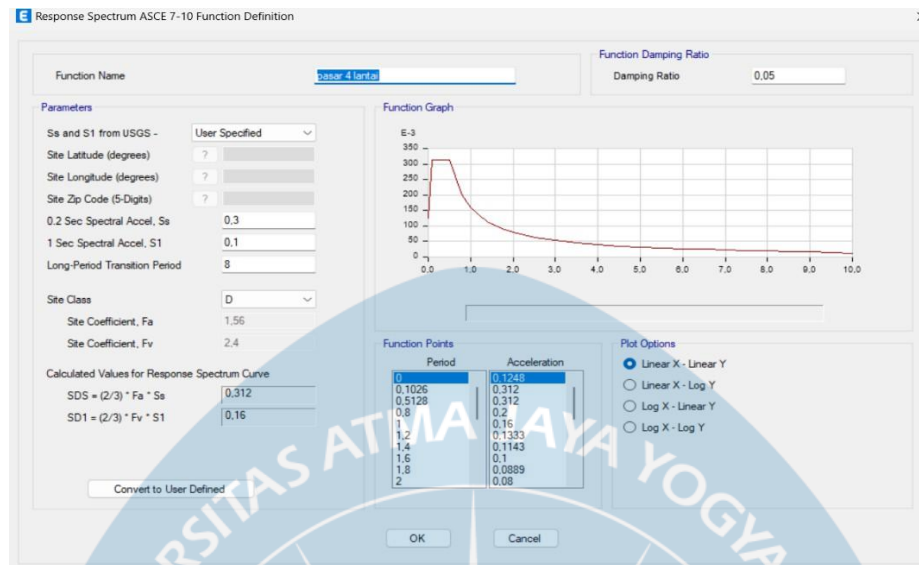
- Beban mati (berat sendiri beton, beban dinding)
- Beban mati tambahan (beban keramik, pipa, plafon dll)
- Beban hidup (beban yang bekerja)
- Beban gempa (respons spektrum)

2.3.5 Memasukkan beban gempa

Pada tahap ini, beban gempa dimasukkan ke dalam software merupakan beban dari hasil perhitungan gempa KDS yang didapatkan dari lokasi Gedung Pasar.

Setelah dihitung, maka dapat dimasukkan data ke dalam software ETABS atau dapat dimasukkan melalui opsi respons spektrum.

Setelah data-data dimasukkan, maka akan mendapatkan bentuk grafik dalam software seperti gambar berikut.



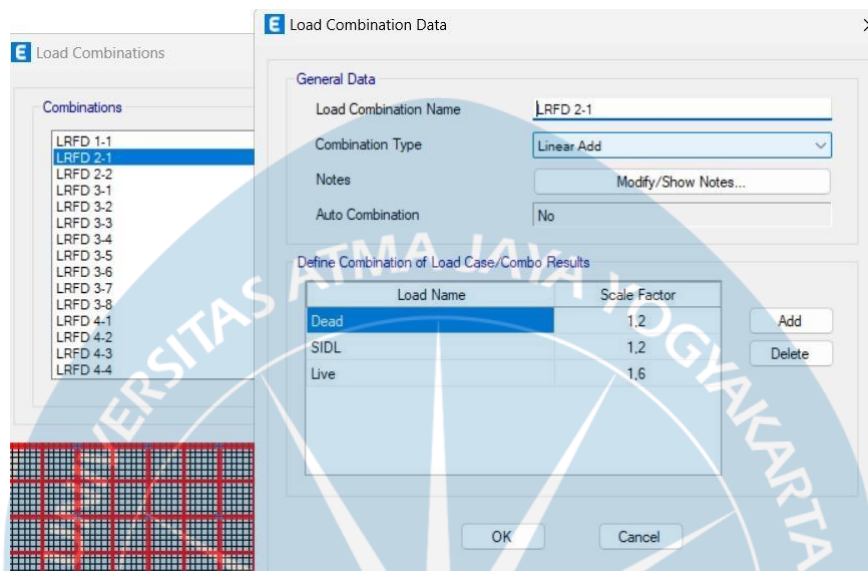
Gambar 2. 9 Input Respon Spektrum

1. Memberikan Kombinasi dan Faktor Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI Gempa 2019, dalam laporan ini pembahasan kombinasi pembebanan dilakukan pada bagian Input Data – Kombinasi Pembebanan.

- 1,4DL
- 1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr atau R)
- 1,2DL + 1,6(Lr atau R) + (1,0L atau 0,5W)
- 1,2DL + 1,0W + 1,0L + 0,5(Lr atau R)
- 1,2DL + 1,0E + 1,0LL
- 0,9DL + 1,0W
- 0,9DL + 1,0E
- DL
- DL + LL
- DL + (Lr atau R)
- DL + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)
- DL + (0,6W atau 0,7E)
- DL + 0,75(0,6W atau 0,7E) + 0,75LL + 0,75(Lr atau R)

- $0,6DL + 0,6W$
- $0,6DL + 0,7E$

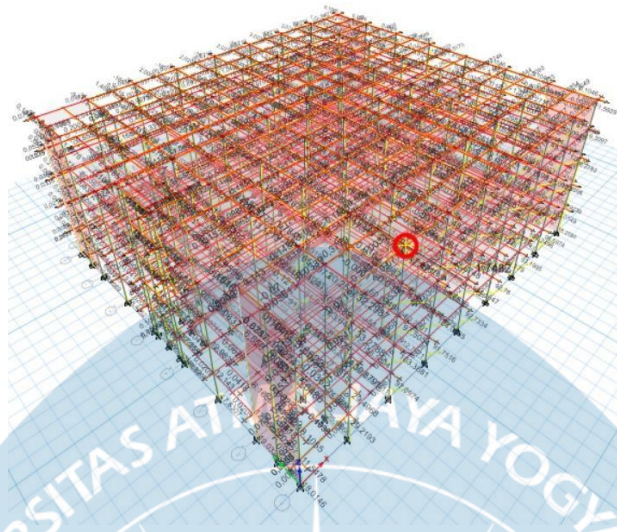


Gambar 2. 10 Input Kombinasi Beban

2. *Running Model*

Setelah seluruh beban diterapkan, struktur diberikan beberapa penyesuaian seperti sumber massa dan diafragma, kemudian program dijalankan. Output dari eksekusi program berupa gaya-gaya internal yang mempengaruhi balok dan kolom struktur. Gaya tersebut merupakan elemen penting untuk mengevaluasi kekuatan struktur secara keseluruhan.

Gaya yang diperoleh dari hasil eksekusi dapat diamati pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 11 Hasil Running dari kombinasi envelope

3. Hasil Gaya Dalam

Gaya yang telah diperoleh selanjutnya diekspor ke dalam Excel, dan dilakukan 53 analisis. Setiap elemen struktur diperiksa nilai keamanannya. Hasil pemeriksaan juga disajikan dalam Excel seperti pada lampiran.

2.4 Ketidakberaturan Struktur

Dalam proses desain, struktur harus diklasifikasikan sebagai struktur beraturan atau tidak beraturan dengan mengacu pada Pasal 7.3.2 SNI 1726:2019. Ketidakberaturan struktur dibedakan menjadi ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Selanjutnya, tipe dan penjelasan ketidakberaturan horizontal dan vertikal berturut-turut disajikan lebih detail dalam Tabel 2.10 dan Tabel 2.12. Ketidakberaturan Horizontal (1726 – 2019)

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan horizontal struktur pada tabel 2.20

Tabel 2. 11 Ketidakberaturan horizontal struktur

Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Refere nsi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1 a	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika	0	D, E, F
	simpangan antar lantai maksimum, torsi yang	0	B, C, D, E, F
	dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung	0	C, D, E, F
	struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2	0	C, D, E, F
	kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di	Tabel 13	D, E, F
	kedua ujung struktur. Pesyaratan ketidakberaturan	0	B, C, D, E, F
	torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya		
	untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau		
	setengah kaku		

1 b	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan	0	E,
	ada jika simpangan antar lantai tingkat	0	F
	maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak	0	D
	terduga, di sebuah ujung struktur melintang	0	B, C,
	terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan	0	D C,
	antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung	0	D
	struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi		C,
	berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku	Tabel	D
	hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku	13	D
	atau setengah kaku	0	B, C, D

2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	0 Tabel 13	D, E, F D, E, F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya	0 Tabel 13	D, E, F D, E, F
4	Ketidakteraturan pergeseran melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal	0 0 0 Tabel 13 0	B, C, D, E, FD, E, F B, C, D, E, FD, E, F B, C, D, E, F
5	Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa	0 0 Tabel 13 0	C, D, E, F B, C, D, E, FD, E, F B, C, D, E, F

Sumber: SNI 1726:2019

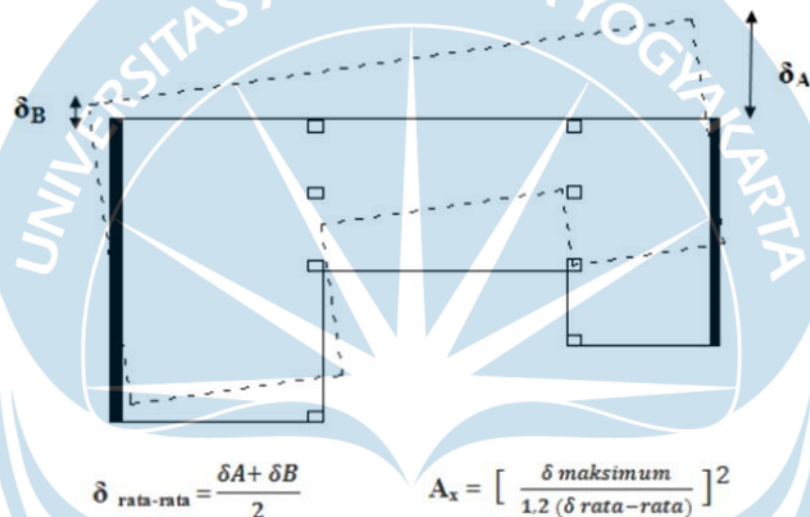
Berikut disajikan hasil perhitungan dan pengecekan terhadap ketidakberaturan

horizontal struktur :

- Ketidakberaturan torsi horizontal 1a dan torsi berlebihan 1b.

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum (torsi yang dihitung termasuk torsi tidak terduga) di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur (lihat Gambar 2.4).

Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya



untuk struktur yang diafragma kaku (rigid) atau setengah kaku (semi-rigid).

Gambar 2. 12 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b

(Sumber: Budiono, 2011)

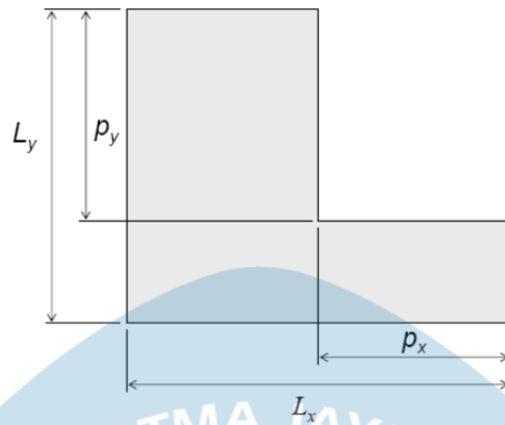
Berikut adalah pengecekan ketidakberaturan torsi pada bangunan pasar 4 lantai :

Tabel 2. 12 Ketidakberaturan torsi arah X dan Y

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
	atap tamb...	The story at which the joint exists.		Step By Step	2	X	1,219	1,191	1,023
▶	lantai 5 atap	EQ+X	LinStatic	Step By Step	2	X	2,031	2,005	1,013
	lantai 4	EQ+X	LinStatic	Step By Step	2	X	2,727	2,697	1,011
	lantai 3	EQ+X	LinStatic	Step By Step	2	X	2,726	2,7	1,01
	lantai 2	EQ+X	LinStatic	Step By Step	2	X	1,495	1,48	1,01
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
▶	atap tambaha...	EQ+Y	LinStatic	Step By Step	3	Y	0,378	0,338	1,119
	lantai 5 atap	EQ+Y	LinStatic	Step By Step	3	Y	0,374	0,345	1,083
	lantai 4	EQ+Y	LinStatic	Step By Step	3	Y	0,359	0,332	1,084
	lantai 3	EQ+Y	LinStatic	Step By Step	3	Y	0,294	0,271	1,088
	lantai 2	EQ+Y	LinStatic	Step By Step	3	Y	0,157	0,144	1,088

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan torsi, diperoleh hasil bahwa simpangan antar lantai tingkat maksimum pada arah X dan Y menghasilkan nilai rasio lebih dari 1,2, sehingga terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a pada struktur yang ditinjau.

1. Ketidakberaturan torsi berlebihan, didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum (torsi yang dihitung termasuk torsi tidak terduga) di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur (lihat Gambar 2.4). Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur yang diafragmanya kaku (rigid) atau setengah kaku (semi-rigid). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan torsi berlebihan, didapatkan hasil bahwa simpangan antar lantai tingkat maksimum pada arah X dan Y lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata sehingga terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1b pada struktur yang ditinjau.
2. Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam $> 0,15$ dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan (lihat Gambar 2.5).



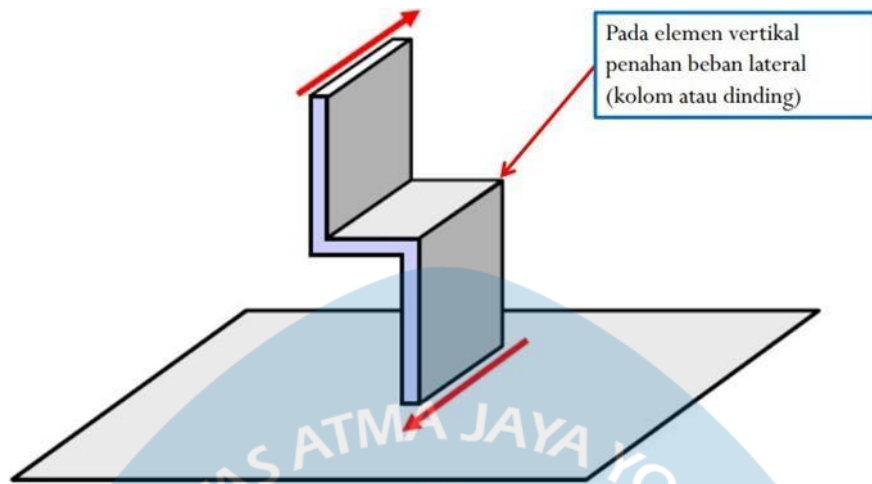
Gambar 2. 13 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 2



Gambar 2. 14 Section Bangunan Pasar

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kami tidak mempunyai ketidakberaturan sudut dalam. Dikarenakan bentuk bangunan kami persegi.

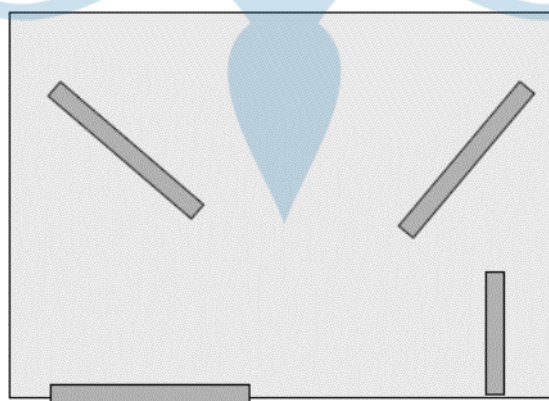
3. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang, didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal (lihat Gambar 2.10)



Gambar 2. 15 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 4 (Sumber: Budiono, 2011)

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 4 pada struktur yang ditinjau..

4. Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan seismic.



Gambar 2. 16 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan horizontal tipe 5

Pada struktur bangunan pasar semua kolom dan balok tegak lurus dengan sumbu x dan sumbu y sehingga didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 5 pada struktur yang ditinjau.

2.5.2 Ketidakberaturan Vertikal

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan vertikal ditunjukkan pada Tabel 2.22

Tabel 2. 13 Tipe dan penjelasan Ketidakberaturan vertikal struktur

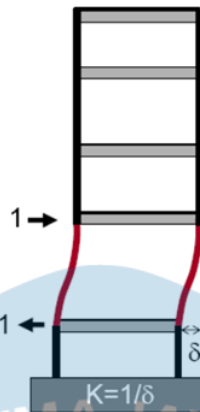
Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan		Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya	Tabel 16	D, E, F
1b	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya	0 Tabel 16	E, F D, E, F
2	Ketidakberaturan berat (massa), didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau	Tabel 16	D, E, F
3	Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130% dimensi hirozontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya	Tabel 16	D, E, F

4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, F D, E, F D, E, F
5a	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau	0 Tabel 16	E, F D, E, F
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau	0 0 Tabel 16	D, E, F B, C D, E, F

Sumber: SNI 1726:2019

2.5.3 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya (lihat Gambar 2.12). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 1a pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2. 17 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b

- 1.b Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya (lihat Gambar 2.12).

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 1b pada struktur yang ditinjau.

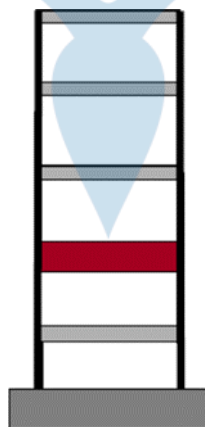
2. Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika efektif semua tingkat lebih dari 150% efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari pada lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau (lihat Gambar 2.13).

Tabel 2. 14 Pengecekan Ketidakberaturan vertikal tipe 2

Lantai	Massa	Cek
	kg	
15		OK
14		OK
13		OK
12		OK
11		OK
10		OK
9		OK
8		OK
7		OK
6		OK
5	89672,99	V.2
4	1686847,27	V.2
3	1685982,47	OK
2	1685980,63	OK
1	1719679,08	OK

2.5.4 Ketidakberaturan Berat (massa)

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan berat (massa), didapatkan hasil bahwa terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 2 pada struktur yang ditinjau.

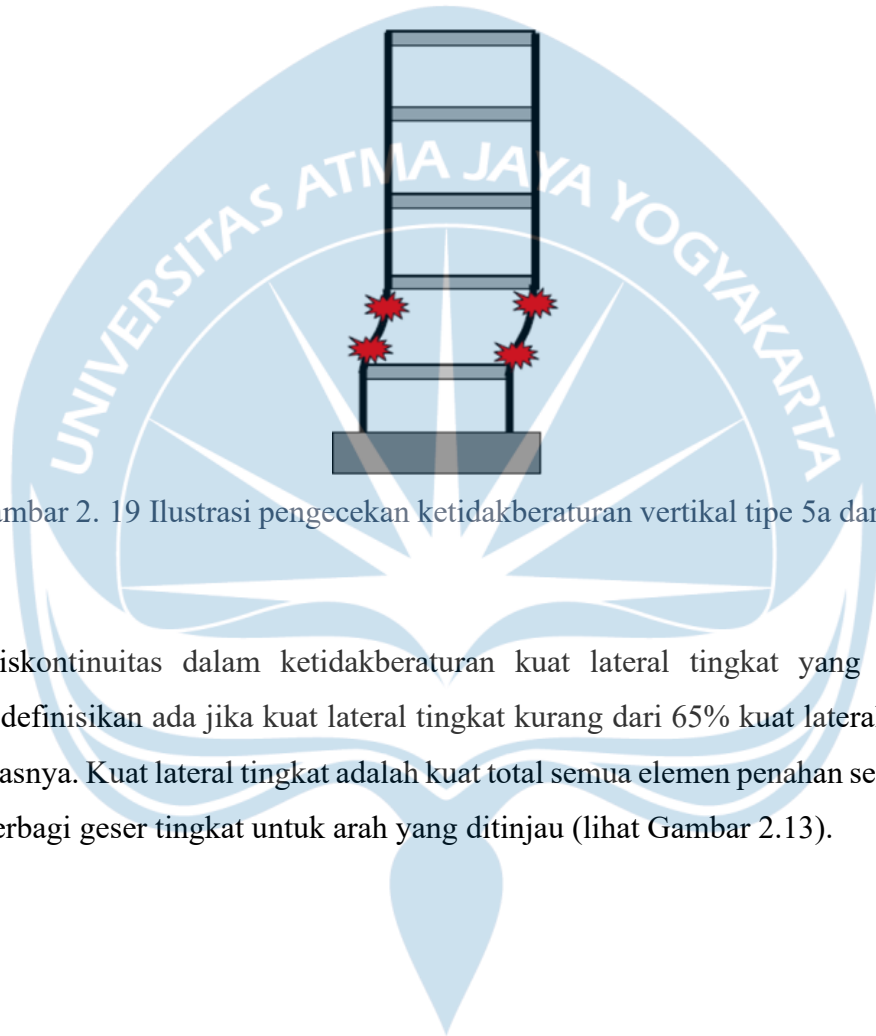


Gambar 2. 18 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 2

- 3.a Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateral tingkat di atasnya.

Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau (lihat Gambar 2.16).

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5a pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2. 19 Ilustrasi pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b

- 3.b Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau (lihat Gambar 2.13).

Tabel 2. 15 Pengecekan Ketidakberaturan vertikal 3A atau 3B

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
15				
14		OK		OK
13		OK		OK
12		OK		OK
11		OK		OK
10		OK		OK
9		OK		OK
8		OK		OK
7		OK		OK
6		OK		OK
5	187017,109	OK	315567,563	OK
4	352926,7	OK	1622651,91	OK
3	384124,073	OK	2573092,68	OK
2	455887,332	OK	3873644,86	OK
1	886430,898	OK	7969003,87	OK

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5b pada struktur yang ditinjau.

Tabel 2. 16 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
--------------------------------	-------------

Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai
	Ketidakteraturan
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horizontal tipe 1b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horizontal tipe 1b)
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di dasar sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakteraturan torsi yang berlebihan (ketidakteraturan struktur horizontal tipe 1b)
Lainnya	Tidak ada persyaratan

Sumber: SNI 1726:2019

- P-Delta

Ketentuan lain yang mengizinkan P-Delta dapat diambil sama dengan 1,0 adalah jika struktur dengan denah teratur di semua tingkat asalkan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan. Jika kondisi tersebut tidak dipenuhi, maka ρ harus diambil sama dengan 1,3. Dalam pekerjaan ini, faktor redundansi yang digunakan adalah 1,3.

- Pengecekan Modal Participation Mass Ratio

Berdasarkan hasil pemodelan struktur, rasio partisipasi modal massa (modal participation mass ratio) disajikan dalam Tabel 2.21. Jumlah ragam (modes) yang disyaratkan untuk menentukan ragam getar alami bagi struktur harus cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model, sesuai dengan Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019. Berdasarkan hasil pemodelan struktur, diperoleh bahwa pada kedua arah dengan melibatkan 40 ragam getar (modes), cukup untuk menghasilkan lebih dari 90% dari massa aktual di kedua arah X dan Y (lihat Tabel 2.21).

Tabel 2. 17 Modal Participation Mass Ratio

Case	Mode	UX	UY	RZ
Modal	1	0,7917	0	1,79E-06
Modal	2	0	0,7157	3,92E-05
Modal	3	1,32E-05	2,95E-05	0,7038
Modal	4	0,125	2,44E-06	0,0001
Modal	5	0	0	0
Modal	6	0	0,0002	0,0005
Modal	7	0	0	0
Modal	8	0	1,45E-06	4,20E-06
Modal	9	0,0508	0	0
Modal	10	0	0,0023	0,0027
Modal	11	0	0,0359	0,0002
Modal	12	0	0,0029	0,0339
Modal LC	1	0,7917	0	1,79E-06
Modal LC	2	0	0,7157	3,92E-05
Modal LC	3	1,32E-05	2,95E-05	0,7038
Modal LC	4	0,125	2,44E-06	0,0001
Modal LC	5	0	0	0
Modal LC	6	0	0,0002	0,0005
Modal LC	7	0	0	0
Modal LC	8	0	1,45E-06	4,20E-06
Modal LC	9	0,0508	0	0
Modal LC	10	0	0,0023	0,0027
Modal LC	11	0	0,0359	0,0002
Modal LC	12	0	0,0029	0,0339

Dari tabel di atas dengan modal 40 diperoleh nilai maks partisipasi massa sebesar 94,9% sehingga dapat disimpulkan pemodelan etabs yang telah dilakukan memenuhi syarat Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019.

- Pengecekan Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Simpangan antar lantai (story drift) untuk masing-masing arah X dan Y harus kurang dari simpangan antar lantai izin yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019. Pada Tabel 2.19 dan Tabel 2.20 berturut-turut disajikan pengecekan simpangan antar lantai untuk arah X dan Y. Bangunan Pasar tergolong ke dalam bangunan dengan kategori resiko II sehingga parameter simpangan antar tingkat izin yang digunakan adalah 0,020hx.

Bangunan Pasar memiliki ketinggian antar lantai yang beragam.

Tabel 2. 18 Perhitungan simpangan antar lantai

the Center of mass and rigidity											
Story	Diaphragms	Mass X	Mass y	C.M		Cumulative x	Cumulative Y	XCCM	YCCm	C.R	
				x_m	y_m					XCR	YCR
LANTAI 5	D5	1719679,08	1719679,08	24,0544	20,955	1719679,08	1719679,08	24,0544	20,955	23,7658	20,8031
LANTAI 4	D4	1685980,63	1685980,63	24,1096	21,0001	1685980,63	1685980,63	24,1096	21,0001	23,4696	20,7574
LANTAI 3	D3	1685982,47	1685982,47	24,1095	21,0001	1685982,47	1685982,47	24,1095	21,0001	23,3364	20,8762
LANTAI 2	D2	1686847,27	1686847,27	24,0629	21,0421	1686847,27	1686847,27	24,0629	21,0421	23,2405	20,9942
LANTAI 1	D1	89672,99	89672,99	2,5325	21,0844	89672,99	89672,99	2,5325	21,0844	7,2354	21,1409

the Eccentricity							
Eccentricity		Dimension		ex Dx result		ey Dy result	
e_x	e_y	Dx	Dy	%		%	
0,29	0,15	42	48	0,7	Ok	0,3	Ok
0,64	0,24	42	48	1,5	Ok	0,5	Ok
0,77	0,12	42	48	1,8	Ok	0,3	Ok
0,82	0,05	42	48	2,0	Ok	0,1	Ok
4,70	0,06	42	48	11,2	Ok	0,1	Ok

- Pengecekan Eksentrisitas

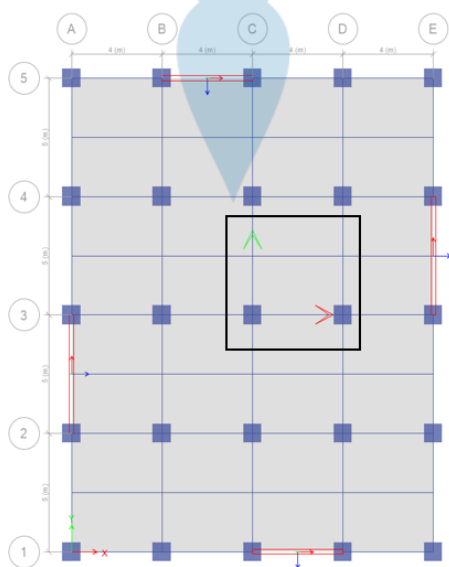
Struktur gedung untuk semua kategori desain seismik (KDS) harus mempertimbangkan torsi rencana dan torsi tak terduga. Torsi tak terduga dikerjakan pada model struktur dengan memberikan eksentrisitas sebesar 5% masing-masing pada arah sumbu X dan Y. Pada pekerjaan ini, struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik D sehingga harus mempertimbangkan torsi rencana dan torsi tak terduga. Selanjutnya, apabila struktur gedung termasuk dalam kategori desain seismik C, D, E, dan F serta memiliki ketidakberaturan torsi 1a dan 1b maka harus mempertimbangkan adanya pembesaran torsi tak terduga. Pada pekerjaan ini, tidak terdapat ketidakberaturan torsi 1a dan 1b pada struktur gedung yang ditinjau sehingga pembesaran torsi tak terduga dapat diabaikan.

2.5 Perencanaan Pelat

Untuk pelat atap dengan bentang lain digunakan cara perhitungan yang sama diperoleh hasil sebagai berikut pada tabel di bawah ini. Tabel 2. 19 Rekapitulasi Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Bentang (m)	Tebal (cm)
P1	3,0 x 3,0	12
P2	2,5 x 3,0	12
P3	1,5 x 3,0	12
P4	0,85 x 3,0	12
P5	1,0 x 6,0	12
P6	1,4 x 3,0	12
P7	1,6 x 3,0	12
P8	1,4 x 4,3	12
P9	2,15 x 3,0	12

Perhitungan Tulangan Pelat Lantai 2 (P1)



2.5.1 Identifikasi Pelat

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3}{3} = 1 < 2 \text{ (Pelat 2 Arah)}$$

Data perencanaan:

Tipe = P1 lantai 2

$L_x = 3 \text{ m}$

$L_y = 3 \text{ m}$

$f'_c = 25 \text{ MPa}$

$f_y = 240 \text{ MPa}$

$\beta_1 = 0,85$

$b = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$

$h = 0,12 \text{ m} = 120 \text{ mm}$

$\rho_{susut} = 0,0018 \text{ (SNI 2847:2019)}$

Tebal selimut = $0,02 \text{ m} = 20 \text{ mm}$

$\emptyset \text{ tul. Rencana} = 0,01 \text{ m} = 10 \text{ mm}$

$d_x = h - \text{tebal selimut} \times (\emptyset/2) = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} \times (10 \text{ mm}/2) = 95 \text{ mm}$

$d_y = h - \text{tebal selimut} - \emptyset - (\emptyset/2) = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - (10 \text{ mm}/2) = 85 \text{ mm}$

Momen yang Dihitung

- Nilai X dari tabel momen pelat :

$l_x = 21$

$l_y = 21$

$t_x = 52$

$t_y = 52$

- Tulangan Lapangan (Momen Positif)

$$M_{lx} = -0,001 \times q_u \times l_x \times X$$

$$M_{lx} = +0,001 \times (1402,73 \text{ kg/m}^2) \times (3 \text{ m})^2 \times 21$$

$$M_{lx} = 265,12 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = -0,001 \times q_u \times l_x \times X$$

$$M_{ly} = +0,001 \times (1402,73 \text{ kg/m}^2) \times (3 \text{ m})^2 \times 21$$

$$M_{lx} = 265,12 \text{ kgm}$$

- Tulangan Tumpuan (Momen Negatif)

$$M_{tx} = -0,001 \times q_u \times l_x \times X$$

$$M_{tx} = +0,001 \times (1402,73 \text{ kg/m}^2) \times (3 \text{ m})^2 \times 52$$

$$M_{tx} = 656,48 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = -0,001 \times q_u \times l_x \times X$$

$$M_{ty} = +0,001 \times (1402,73 \text{ kg/m}^2) \times (3 \text{ m})^2 \times 52$$

$$M_{ty} = 656,48 \text{ kgm}$$

2.5.2 Penulangan Pelat

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_p}$$

$$m = \frac{240 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2} = 11,29$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{240 \text{ N/mm}^2} = 0,0058$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 25 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 240 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$\rho_b = 0,0538$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,0538 = 0,0403$$

2.5.3 Tulangan Lapangan Arah X

$$M_u = Mlx = 265,1156 \text{ kgm} = 2651156 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{2651156 \text{ Nmm}}{0,9} = 2945728,80 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d_x^2}$$

$$R_n = \frac{2945728,80 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,326 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{11,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 0,326 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0,0014$$

Cel Persyaratan :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0058 < 0,0014 < 0,0403 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka dinaikan 30% :

$$\rho = 1,3 \times 0,0014 = 0,0018$$

Sehingga :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d_x$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 169,27 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan tulangan } d = 10 \text{ mm; } A_s \text{ perlu} = 169,27 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rencana jarak tulangan } S_{rencana} = 150 \text{ mm}$$

Sehingga jarak antar tulangan adalah: Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S_{max} \leq 3h$$

$$S_{max} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$S_{max} \leq 360 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times d^2 \times b}{S_{rencana}}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$A_s \text{ pakai} = 523,60 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ pakai}$$

$$169,27 \text{ mm}^2 < 523,60 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

2.5.4 Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_u = M_{tx} = 656,4767 \text{ kgm} = 6564767 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{6564767 \text{ Nmm}}{0,9} = 7294185,60 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d_x^2}$$

$$R_n = \frac{7294185,60 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,81 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{11,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 11,29 \times 0,81 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0,0034$$

Cek Persyaratan :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0058 < 0,0034 < 0,0403 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka dinaikan 30% :

$$\rho = 1,3 \times 0,0034 = 0,0045$$

Sehingga :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d_x$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,0045 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 424,12 \text{ mm}^2$$

Perhitungan Tulangan Pelat (Lanjutan)

Digunakan tulangan d = 10 mm; $A_{s \text{ perlu}} = 424,12 \text{ mm}^2$

Rencana jarak tulangan $S_{rencana} = 150 \text{ mm}$

Sehingga jarak antar tulangan adalah:

Kontrol jarak spasi tulangan: $S_{max} \leq 3h$

$$S_{max} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$S_{max} \leq 360 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times d^2 \times b}{S_{rencana}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 523,60 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ pakai}}$$

$$424,12 \text{ mm}^2 < 523,60 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

2.6.6 Tulangan Lapangan Arah Y

$$M_u = M_{ly} = 265,1156 \text{ kgm} = 2651156 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{b.d_y^2}$$

$$M_n = \frac{2651156 \text{ Nmm}}{0,9} = 2945728 < 80 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b.d_y^2}$$

$$R_n = \frac{2945728 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} = 0,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}}$$

$$\rho = \frac{1}{11,29} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 11,29 \times 0,41 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0017$$

Cek Persyaratan :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0058 < 0,0017 < 0,0403 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka dinaikan 30% :

$$\rho = 1,3 \times 0,0017 = 0,0022$$

Sehingga :

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d_y$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,0022 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 189,55 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan $d = 10 \text{ mm}$; $A_{s \text{ perlu}} = 189,55 \text{ mm}^2$

Rencana jarak tulangan $S_{rencana} = 150 \text{ mm}$

Sehingga jarak antar tulangan adalah: Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S_{max} \leq 3h$$

$$S_{max} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$S_{max} \leq 360 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{S_{rencana}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 523,60 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s \text{ perlu}} \leq A_{s \text{ pakai}}$$

$$189,55 \text{ mm}^2 < 523,60 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

2.6.7 Tulangan Tumpuan Arah Y

$$M_u = M_{ty} = 656,4767 \text{ kgm} = 6564767 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{6564767 \text{ Nmm}}{0,9} = 7294185,60 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d_y^2}$$

$$R_n = \frac{7294185,60 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} = 1,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 \sqrt{1 - \left(\frac{2m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{11,29} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 11,29 \times 0,81 \text{ N/mm}^2}{240 \text{ N/mm}^2} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0043$$

Cek Persyaratan :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0058 < 0,0043 < 0,0403 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Maka dinaikan 30% :

$$\rho = 1,3 \times 0,0043 = 0,0056$$

Sehingga :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d_x$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,0056 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ perlu} = 476,43 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan d = 10 mm; $A_s \text{ perlu} = 476,43 \text{ mm}^2$

Rencana jarak tulangan $S_{rencana} = 150 \text{ mm}$

Sehingga jarak antar tulangan adalah: Kontrol jarak spasi tulangan :

$$S_{max} \leq 3h$$

$$S_{max} \leq 3 \times 120 \text{ mm}$$

$$S_{max} \leq 360 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{S_{rencana}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 523,60 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ pakai}}$$

$$476,43 \text{ mm}^2 < 523,60 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

2.6.8 Kontrol Lendutan dan Retak Beton

- Modulus Elastisitas Beton (E_c)

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25}$$

$$E_c = 23.500 \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$n = \frac{200.000 \text{ Mpa}}{23.500 \text{ Mpa}}$$

$$n = 8,511$$

- Batas Lendutan Maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{I_x}{240}$$

$$\Delta_{ijin} = \frac{3000 \text{ mm}}{240}$$

$$\Delta_{ijin} = 12,5$$

- Momen Inersia Pelat

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times 1000 \text{ mm} \times (120 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 144.000.000 \text{ mm}^4$$

- Jarak Garis Netral Terhadap Sisi Atas

$$c = n x \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b}$$

$$c = 8,511 x \frac{523,60 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm}}$$

$$c = 4,456 \text{ mm}$$

- Momen Inersia Penampang Retak

$$I_{cr} = E_s \times \left[A + \frac{P_u}{f_y} x \frac{2d}{3} \right] x (d - c)^2 + L_x x c^2$$

$$I_{cr} = 8,511 x 523,60 x 8198,19 + 19857,40$$

$$I_{cr} = 36.552.288,64 \text{ mm}^2$$

- Momen Maksimal

$$M = \frac{1}{8} x Q x L x^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} x 1402,73 \text{ kg/m}^2 x (3 \text{ m})^2$$

$$M_a = 1578,069 \text{ kgm}$$

$$M_a = 15780609 \text{ Nmm}$$

- Modulus Keruntuhan Beton

$$f_r = 0,62 \lambda x \sqrt{f_c'}$$

$$f_r = 0,62 x 1 x \sqrt{25}$$

$$f_r = 3,1 \text{ Mpa}$$

- Momen Retak

$$M_{cr} = \frac{f_r x I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,1 \text{ Mpa} x 144.000.000 \text{ mm}^4}{\frac{120 \text{ mm}}{2}}$$

$$f_r = 7.440.000 \text{ Nmm}$$

- Momen Inersia Efektif

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 x I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] x I_{cr}$$

$$I_e = 0,104795 \times 14400000 + 0,89529 \times 36552289$$

$$I_e = 47812278,79 \text{ mm}^4$$

- Lendutan Elastis

$$\delta e = \frac{5}{384} \times \frac{q_u \times l^4}{E_c \times I_e}$$

$$\delta e = \frac{5}{384} \times \frac{0,01403 \times 3583548,47}{23500 \times 47812278,8}$$

$$\delta e = 0,01317 \text{ mm}$$

- Rasio Tulangan Pelat

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho = \frac{523,60 \text{ mm}^2}{1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}}$$

$$\rho = 0,00551$$

- Faktor Ketergantungan Waktu

$$\geq 5 \text{ Tahun}$$

$$\xi = 2$$

$$\lambda = 1 + 50\rho = 1,568$$

Lendutan 5 Tahun

$$\delta g = \lambda \times \frac{5}{384} \times \frac{Q_u \times l^4}{E_c \times I_e}$$

$$\delta g = 1,568 \times \frac{5}{384} \times \frac{0,01403 \times 3583548,47}{23500 \times 47812278,8}$$

$$\delta g = 0,02064 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\delta_{total} = \delta e + \delta g$$

$$\delta_{total} = 0,01317 \text{ mm} + 0,02064 \text{ mm}$$

$$\delta_{total} = 0,03381 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\delta_{total} < \Delta_{ijin}$$

$$0,03381 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

- Tegangan Ijin Pada Tulangan

$$f_s = 0,6 \times f_y$$

$$f_s = 0,6 \times 240 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 144 \text{ Mpa}$$

$$d_c = \text{tulangan selimut} - \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan}$$



$$dc = 20 \text{ mm} \times (0,5 \times 10 \text{ mm})$$

$$dc = 15 \text{ mm}$$

Luas Efektif Beton Tarik (A_e)

$$A_e = 2 \times dc \times s \text{ tulangan}$$

$$A_e = 2 \times 15 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$$

$$A_e = 4500 \text{ mm}$$

Nilai Lebar Retak (ω)

$$\omega = \delta e + \delta g$$

$$\omega = 0,09137 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\omega < 0,4 \text{ mm}$$

$$0,09137 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

2.7. Perencanaan Tangga

2.7.1. Dimensi Tangga Kecil

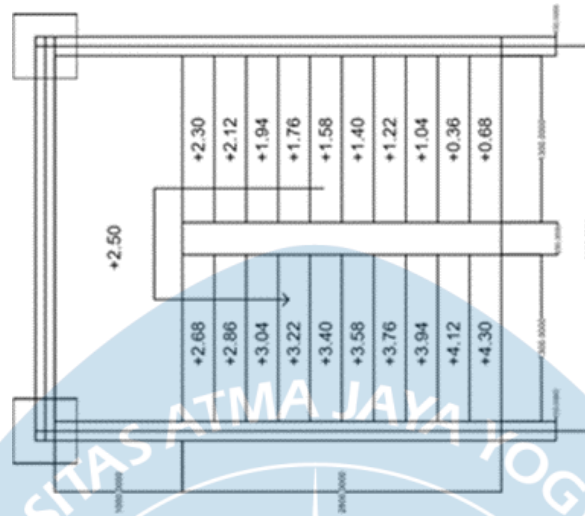
Pemodelan pada struktur tangga menggunakan aplikasi ETABS.

Data-data yang dimasukkan pada program tersebut yaitu:

- Perletakan: jepit-sendi-sendi
- Pembebanan: beban mati (DL) dan beban hidup (LL)
- Kombinasi beban: $1,2DL + 1,6LL$
- Distribusi beban: Uniform Shell Load

Dalam perencanaan tangga terdapat 2 macam tipe tangga yaitu tangga kecil dan tangga utama.

Berikut adalah data serta perhitungan perencanaan tangga:



Gambar 2. 20 Denah Tangga Kecil

2.7.1.1 Data Perencanaan :

Tipe tangga: Tangga Kecil

Panjang datar tangga (L): 350 cm (as ke as)

Panjang pelat bordes (P): 100 cm (dari as)

Tinggi tangga: 400 cm

Tinggi pelat bordes (T): 200 cm

Tebal pelat tangga: 15 cm

Tebal pelat bordes: 15 cm

Lebar injakan (i): 25 cm

Tinggi injakan (t): 18 cm

2.7.2. Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

- Panjang miring tangga

$$= \sqrt{(T)^2 + (L - P)^2}$$

$$= \sqrt{(200 \text{ cm})^2 + (350 \text{ cm} - 150 \text{ cm})^2}$$

$$= 320,20 \text{ cm}$$

- Sudut Kemiringan Tangga

$$a = \arctan \frac{t}{i}$$

$$= \arctan \frac{18 \text{ cm}}{25 \text{ cm}} \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 35,8^\circ$$

- Syarat Sudut Kemiringan :

$$25^\circ \leq a \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 35,8^\circ \leq 40^\circ \text{ (Memenuhi)}$$

Panjang Miring Anak Tangga

$$= \sqrt{(t)^2 + (i)^2}$$

$$= \sqrt{(18 \text{ cm})^2 + (25 \text{ cm})^2}$$

$$= 30,8 \text{ cm}$$

- Jumlah Tanjakan

$$n_{T1} = \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{18 \text{ cm}}$$

$$= 11 \text{ buah (bawah)}$$

$$n_{T2} = \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{18 \text{ cm}}$$

$$= 11 \text{ buah (Atas)}$$

- Jumlah Injakan

$$n_{i1} = n_{T1} - 1$$

$$= 11 \text{ buah} - 1$$

$$= 10 \text{ buah}$$

$$n_{i2} = n_{T2} - 1$$

$$= 11 \text{ buah} - 1$$

$$= 10 \text{ buah}$$

- Tebal Pelat Ekvivalen Tangga



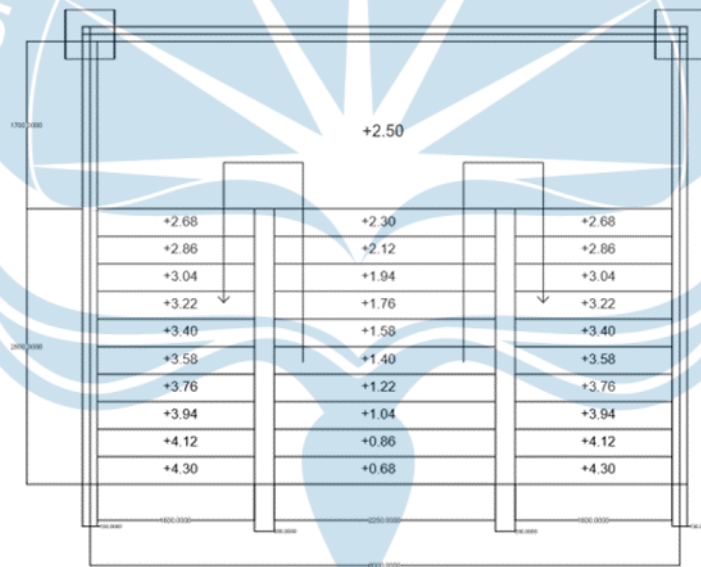
$$\begin{aligned}
 T_{pe} &= \frac{t \times i}{\text{miring anak tangga}} \\
 &= \frac{18 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}}{30,8 \text{ cm}} \\
 &= 14,6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Tebal Efektif Pelat Tangga

$$T_{ag} = T_{pe} \times \frac{2}{3} \leq p_t$$

$$T_{ag} = 14,6 \text{ cm} \times \frac{2}{3} \leq 15 \text{ cm}$$

$$T_{ag} = 9,738 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm} \text{ (Memenuhi)}$$



Gambar 2. 21 Denah Tangga Utama

2.7.2.1. Data Perencanaan

- Tipe tangga: Tangga Utama
- Panjang datar tangga (L): 450 cm (as ke as)
- Panjang pelat bordes (P): 170 cm (dari as)
- Tinggi tangga: 400 cm
- Tinggi pelat bordes (T): 200 cm
- Tebal pelat tangga: 15 cm

- Tebal pelat bordes: 15 cm
- Lebar injakan (i): 28 cm
- Tinggi injakan (t): 18 cm

Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

- Panjang Miring Tangga

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(T)^2 + (L - P)^2} \\
 &= \sqrt{(200 \text{ cm})^2 + (450 \text{ cm} - 150 \text{ cm})^2} \\
 &= 344,1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Sudut Kemiringan Tangga

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \arctan \frac{t}{i} \\
 &= \arctan \frac{18 \text{ cm}}{28 \text{ cm}} \times \frac{180}{\pi} \\
 &= 33,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Syarat Sudut Kemiringan :

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 32,7^\circ \leq 40^\circ \text{ (Memenuhi)}$$

- Panjang Miring Anak Tangga

$$= \sqrt{(t)^2 + (i)^2} = \sqrt{(18 \text{ cm})^2 + (28 \text{ cm})^2} = 33,3 \text{ cm}$$

- Jumlah Tanjakan

$$\begin{aligned}
 n_{T1} &= \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{18 \text{ cm}} \\
 &= 11 \text{ buah (bawah)}
 \end{aligned}$$

$$n_{T2} = \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi injakan}} = \frac{200 \text{ cm}}{18 \text{ cm}}$$

$$= 11 \text{ buah (atas)}$$

- Jumlah Injakan

$$n_{i1} = n_{t1} - 1 = 11 \text{ buah} - 1 = 10 \text{ buah}$$

$$n_{i2} = n_{t2} - 1 = 11 \text{ buah} - 1 = 10 \text{ buah}$$

- Tebal Pelat Ekuivalen Tangga

$$\begin{aligned} T_{pe} &= \frac{t \times i}{\text{miring anak tangga}} \\ &= \frac{18 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}}{33,3 \text{ cm}} \\ &= 15,1 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Tebal Efektif Pelat Tangga

$$T_{ag} = T_{pe} \times \frac{2}{3} \leq \frac{pt}{2}$$

$$a_{ag} = 15,1 \text{ cm} \times \frac{2}{3} \leq 15 \text{ cm}$$

$$T_{ag} = 10,094 \text{ cm} \leq 15 \text{ cm} \text{ (Memenuhi)}$$

2.7.3 Pembebanan Tangga

Pembebanan pada komponen struktur tangga juga disesuaikan dengan SNI 1727:2013.

Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (dead) dan beban hidup (life) dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 yaitu 1,2D + 1,6L.

- **Pembebanan Pelat Tangga Utama Beban Mati**

$$\text{Berat sendiri pelat (t = 15 cm)} = (0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi FK 101 (t = 2 mm) (brosur)} = 12 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Keramik Arwana 30x30 (brosur)} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat sendiri anak tangga} = (10,094 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) = 242,256 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Railling tangga} = 11,079 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{d\text{total}} = 640,335 \text{ kg/m}^2 \text{ Beban Hidup}$$

Beban hidup untuk tangga dan penggantung, sebagaimana ditentukan dalam SNI 1727:2013, adalah 479 kg/m².

Beban ultimate rencana ditentukan menggunakan rumus:

$$q_{\text{ultimate}} = 1,2D + 1,6L$$

Di mana D mewakili beban mati dan L mewakili beban hidup.

Memasukkan nilai-nilai:

$$q_{\text{ultimate}} = (1,2 \times 640,335 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m}^2) = \text{sekitar } 1535$$



kg/m².

- **Pembebanan Pelat Tangga Kecil** **Beban Mati**

Berat sendiri pelat (tebal = 15 cm) = $(0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) = 360 \text{ kg/m}^2$

Spesifikasi FK 101 (tebal = 2) (dari brosur) = 12 kg/m²

Keramik Arwana 30x30 (dari brosur) = 15 kg/m²

Berat sendiri anak tangga = $(9,738 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3) = 233,712 \text{ kg/m}^2$

Railling tangga = 11,079 kg/m² + beban mati total = 631,791 kg/m²

- **Beban Hidup**

Beban hidup untuk tangga dan penggantung

(menurut SNI 1727:2013) = 479 kg/m²

- **Beban Ultimate Rencana**

$$q_{ultimate} = 1,2D + 1,6L$$

$$q_{ultimate} = (1,2 \times 631,791 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \times 479 \text{ kg/m}^2) q_{ultimate} \\ = 1.525 \text{ kg/m}^2$$

2.8 Perencanaan Balok

Dalam proses perencanaan dimensi balok, terdapat data perencanaan, perhitungan perencanaan, serta gambar hasil perencanaan dimensi balok, yang dijelaskan sebagai berikut:

Balok Induk 1

Data Perencanaan:

Tipe balok: B1

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq 1/12 \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

$$h \geq 1/12 \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = 2/3 \times 50$$

$$h \geq 48,57 \text{ cm}$$

$$b = 33,33 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b \approx 35 \text{ cm}$$

Balok Induk 2

Data Perencanaan:

Tipe balok: B2

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq 1/16 \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

$$h \geq 1/16 \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = 2/3 \times 40$$

$$h \geq 36,43 \text{ cm}$$

$$b = 26,67 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

Balok Anak

Data Perencanaan:

Tipe balok: B3

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq 1/21 \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

$$h \geq 1/21 \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = 2/3 \times 30$$

$$h \geq 27,76 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h \approx 30 \text{ cm}$$

$$b \approx 20 \text{ cm}$$

Balok Kantilever

Data Perencanaan:

Tipe balok: B4

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq 1/8 \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

$$h \geq 1/8 \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = 2/3 \times 15$$

$$h \geq 12,14 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$h \approx 15 \text{ cm}$$

$$b \approx 10 \text{ cm}$$

Balok Bordes

Data Perencanaan:

Tipe balok: B5

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq 1/14 \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = 2/3 \times h$$

$$h \geq 1/14 \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = 2/3 \times 45$$

$$h \geq 41,63 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h \approx 45 \text{ cm}$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

Berikut merupakan rekapitulasi dimensi-dimensi balok :

Tabel 2. 20 Rekapitulasi Dimensi Balok

Tipe Balok	Bentang Balok	Dimensi
B1	6,0 m	35 cm x 55 cm
B2	6,0 m	30 cm x 40 cm
B3	6,0 m	20 cm x 30 cm
B4	6,0 m	35 cm x 55 cm
B5	6,0 m	30 cm x 45 cm

B6	6,0 m	30 cm x 45 cm
----	-------	---------------

2.9 Perencanaan Dimensi Sloof

Adapun data dan perhitungan perencanaan dimensi sloof adalah sebagai berikut.:

Data perencanaan:

Tipe balok : S1

Bentang terpanjang : 600 cm

Mutu beton (f_c') : 25 Mpa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq (1/12) \times L \times (0,4 + f_y/700)$$

$$b = (2/3) \times h$$

$$h \geq (1/12) \times 600 \times (0,4 + f_y/700)$$

$$b = (2/3) \times 30$$

$$h \geq 48,57 \text{ cm}$$

$$b = 33,33 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

$$b \approx 35 \text{ cm}$$

Kesimpulan Perencanaan:

Dimensi sloof (S1) direncanakan dengan ukuran 35/50cm sesuai dengan dimensi balok pada proyek.

Rekapitulasi Dimensi Sloof:

Berikut merupakan rekapitulasi dimensi-dimensi

sloof. Tabel 2. 21 Rekapitulasi Dimensi Sloof

Tipe Sloof	Bentang Sloof	Dimensi
S1	6,0 m	35 cm x 55 cm

2.10 Perencanaan Kolom

Adapun data dan perhitungan perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

Data Perencanaan Kolom:

Tipe kolom: K1

Tinggi kolom (L_{kolom}): 450 cm

Bentang balok (L_{balok}): 600 cm

Dimensi balok induk:

bb: 35 cm

hb: 55 cm

Perhitungan Perencanaan Dimensi:

$L_{kolom}/L_{kolom} \geq L_{balok}/L_{balok}$ (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a))

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{balok}}$$
$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{450} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 35 \times 55^3}{600}$$

Direncanakan $b = h$

$$(600/12) \times b \times h^3 = 218367187.5$$

$$50 \times b \times h^3 = 218367187.5$$

$$50 \times h^4 = 218367187.5$$

$$h^4 = 4367343.75$$

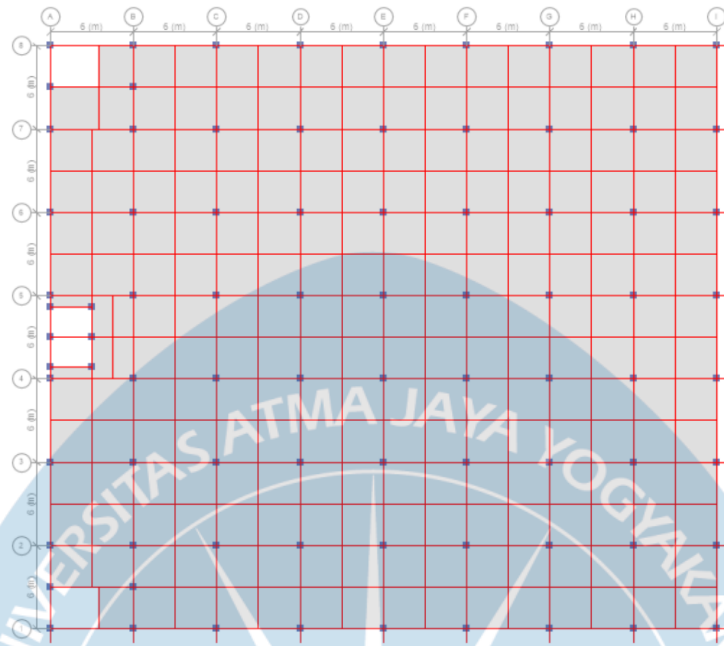
$$h = 45,715 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

Dimensi kolom (K1) direncanakan dengan ukuran 50/50 cm.

2.11 Desain Pelat Lantai

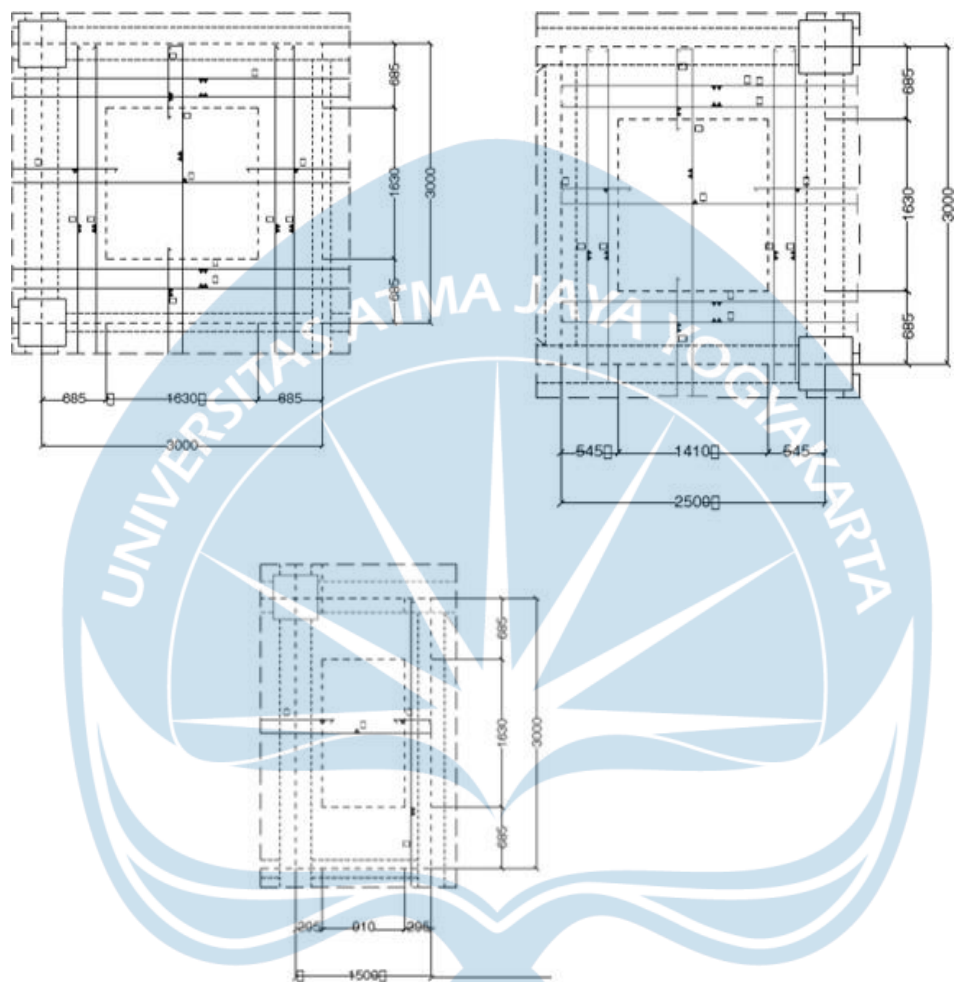
Desain pelat lantai dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Pada bab ini, disajikan prosedur perhitungan/desain pelat lantai tipe P1 (dengan tebal 140 mm). Selanjutnya, desain pelat lantai tipe lainnya dilakukan dengan prosedur perhitungan yang sama.



Gambar 2. 22 Pelat Lantai

Tabel 2. 22 Perhitungan Pelat Lantai

No	Pelat	Tipe	Arah	Q10 Tump. X	Q10 Lap. X	Q10 Tump. Y	Q10 Lap. Y	Tul. Susut	Q8	Keterangan
1	P1	2 arah		150	150	-150	-200		Q8- 200	
2	P2	2 arah		150	150	-150	-200		Q8- 200	Pelat lantai 2,3,4
3	P3	1 arah		150	150				Q8- 200	
4	P4	1 arah		150	150				Q8- 200	
5	P5	1 arah		150	150				Q8- 200	Pelat kantilever lantai 2,3,4
6	P5	1 arah		200	200				Q8- 200	Pelat kantilever lantai atap
7	P1	2 arah		200	200	-200	-200		Q8- 200	
8	P2	2 arah		200	200	-200	-200		Q8- 200	
9	P4	1 arah		200	200				Q8- 200	
10	P6	1 arah		200	200	-200	-200		Q8- 200	Pelat lantai atap
11	P7	2 arah		200	200	-200	-200		Q8- 200	
12	P8	1 arah		200	200				Q8- 200	
13	P9	2 arah		200	200	-200	-200		Q8- 200	



Gambar 2. 23 Tipikal Penulangan Plat Lantai

2.12 Perencanaan Tulangan Balok dan Kolom

Tabel 2. 23 Perhitungan Balok 350 x 550
Desain Lentur

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Panjang Balok, L		Input	mm	6000
Lebar Balok, b		Input	mm	550
Tinggi Balok, h		Input	mm	350
Panjang Tumpuan	18.4.2.4	2 * h	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b		Input	mm	16
Diameter Tulangan Pinggang, d _{bt}		Input	mm	13
Diameter Tulangan Sengkang, d _s		Input	mm	10
Selimut Bersih, c _c		Input	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d		h - c _c - d _s - d _b /2	mm	292
Kuat Tekan Beton, f _c '		Input	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f _y		Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f _{yv}		Input	MPa	420
β ₁	Tabel 22.2.2.4.3	0.65 <= 0.85 - 0.05 * (f _c ' - 28) / 7 <= 0.85		0,850

Panjang Kolom, c_1		Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	500
Lebar Kolom, c_2		Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	500
L_n		$L - c_1$	mm	2500
λ		Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam				
$M_{u,tumpuan} (-)$		Input	kN-m	- 77,29 23
$M_{u,tumpuan} (+)$		Input	kN-m	40,37 28
$M_{u,lapangan} (-)$		Input	kN-m	- 77,19 51
$M_{u,lapangan} (+)$		Input	kN-m	40,37 28
Penulangan Lentur				
Tumpuan Negatif				
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n		Input		4
d_b			mm	19
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	124,6 67
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis				1
As Pasang		$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	1134, 115

$A_{s \min,1}$	9.6.1.2	$(f'_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	477,976
$A_{s \min,2}$	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	535,333
Cek A_s min		$A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min} ?$		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$	mm	40,755
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	129,381
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	47,947
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0,015
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	116,443
$M_{u,tumpuan} (-)$			kN-m	77,292
Cek Kapasitas		$\phi M_n > M_u ?$		OK
A_s Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	677,519
Tumpuan Positif				
n		Input		3
d_b			mm	16
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	201,000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis				1

As Pasang		$n \cdot \pi / 4 \cdot d_b^2$	mm ²	603,186
As _{min,1}	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 \cdot f_y) \cdot b \cdot d$	mm ²	477,976
As _{min,2}	9.6.1.2	$1.4 / (4 \cdot f_y) \cdot b \cdot d$	mm ²	535,333
As _{min,3}	18.4.2.2	1/3 * As Tumpuan Negatif	mm ²	378,038
Cek As min		As Pasang >= As min ?		OK
a	22.2.2.4.1	$As \cdot f_y / (0.85 \cdot f_c' \cdot b)$	mm	21,676
M _n	22.2.2.4.1	$As \cdot f_y \cdot (d - a/2)$	kN-m	71,229
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	25,501
ε _s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c \cdot 0.003$		0,031
φ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \leq 0.9$		0,900
φM _n		φ * M _n	kN-m	64,106
M _u			kN-m	40,373
Cek φM _n > M _u		φM _n > M _u ?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y \cdot (d - a/2)]$	mm ²	341,887
Lapangan Negatif				
n		Input		4
d _b			mm	16

Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	128,6 67
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis				1
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	804,2 48
$A_{s \min,1}$	9.6.1.2	$(f'_c)^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	477,9 76
$A_{s \min,2}$	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	535,3 33
$A_{s \min,3}$	18.4.2.2	1/5 * As Tumpuan Negatif	mm ²	226,8 23
Cek As min		As Pasang $\geq$ As min ?		OK
a	22.2.2.4.1	$A_s * f_y / (0.85 * f'_c * b)$	mm	28,90 1
M_n	22.2.2.4.1	$A_s * f_y * (d - a/2)$	kN-m	93,75 2
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	34,00 2
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0,023
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	84,37 7
M_u			kN-m	77,19 5
Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	662,2 17

Lapangan Positif				
n		Input		3
d_b			mm	16
Jarak Bersih Antar Tulangan		$(b - 2 c_c - 2 d_s - n * d_b) / (n - 1)$	mm	201,000
Cek Jarak Bersih	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis				1
As Pasang		$n * \pi / 4 * d_b^2$	mm ²	603,186
$AS_{min,1}$	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	477,976
$AS_{min,2}$	9.6.1.2	$1.4 / (4 * f_y) * b * d$	mm ²	535,333
$AS_{min,3}$	18.4.2.2	$1/5 * As$ Tumpuan Negatif	mm ²	226,823
Cek As min		As Pasang $\geq As_{min}$?		OK
a	22.2.2.4.1	$As * f_y / (0.85 * f_c' * b)$	mm	21,676
M_n	22.2.2.4.1	$As * f_y * (d - a/2)$	kN-m	71,229
c	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	25,501
ϵ_s	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c * 0.003$		0,031
ϕ	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n		$\phi * M_n$	kN-m	64,106
M_u			kN-m	40,373

Cek $\phi M_n > M_u$		$\phi M_n > M_u ?$		OK
As Perlu		$M_u / [f_y * (d - a/2)]$	mm ²	341,8 87

Desain Geser

Parameter	Pasal	Persamaan	Satu an	Nilai
	Referensi			
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Panjang Balok, L		Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	550
Tinggi Balok, h		Dari Sheet Desain Lentur	mm	350
Panjang Tumpuan	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d _{bt}		Dari Sheet Desain Lentur	mm	16
Diameter Tulangan Sengkang, d _s		Dari Sheet Desain Lentur	mm	8
Selimut Bersih, c _c		Dari Sheet Desain Lentur	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d		Dari Sheet Desain Lentur	mm	292

Kuat Tekan Beton, f'_c		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0,8500
Panjang Kolom, c_1		Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
Lebar Kolom, c_2		Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
L_n		Dari Sheet Desain Lentur	mm	4200
2				
$V_{u,tumpuan}$	18.4.2.3 (b)	Input [Load Case Gempa dikali 2]	kN	55,2748
$V_{u,lapangan}$		Input	kN	53,3804
Tumpuan				
Gaya Desain				
$V_{g,tumpuan}$	R18.4.2	Input [Kombinasi 1.2 D + L]	kN	189,515 9
M_n^+ Tumpuan	18.4.2.3 (a)		N mm	712290 30
M_n^- Tumpuan	18.4.2.3 (a)		N mm	129381 392
V_{sway}	18.4.2.3 (a)	$(M_n^+ + M_n^-) / L_n$	N	47764
V_e	R18.4.2	$V_g + V_{sway}$	N	237280
Penulangan Geser				
Jumlah Kaki		Input		8

Av		$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	402,124
Spasi		Input	mm	75
Spasi Max 1	18.4.2.4	d / 4	mm	80,00
Spasi Max 2	18.4.2.4	8 d _b	mm	152,00
Spasi Max 3	18.4.2.4	300 mm	mm	300,00
Cek Spasi				OK
V _s	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	657553
Batas V _s	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	529980
V _c	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	136510
ϕ	12.5.3.2, 21.2.4			0,75
V _n		V _c + V _s	N	666490
V _u			N	237280
$\phi V_n / V_u$				2,107
Cek Kapasitas		$\phi V_n / V_u \geq 1$?		OK
Lapangan				
Penulangan Geser				
Jumlah Kaki		Input		8
Av		$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	402,124
Spasi		Input	mm	100
Spasi Max	18.4.2.5	d / 2	mm	146,00
Cek Spasi				OK
V _s	22.5.10.5.3	$A_v * f_{yv} * d / s$	N	493165
Batas V _s	22.5.1.2	$0.66 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	529980
V _c	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	136510
ϕ	12.5.3.2, 21.2.4			0,75
V _n		V _c + V _s		629675
V _u			N	53380,4
$\phi V_n / V_u$				8,847

Cek Kapasitas		$\phi V_n / V_u \geq 1$?		OK
---------------	--	---------------------------	--	----

Desain Torsi

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Panjang Balok, L		Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	450
Tinggi Balok, h		Dari Sheet Desain Lentur	mm	300
Panjang Tumpuan	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d _b		Dari Sheet Desain Lentur	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d _{bt}		Dari Sheet Desain Lentur	mm	16
Diameter Tulangan Sengkang, d _s		Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimut Bersih, c _c		Dari Sheet Desain Lentur	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d		Dari Sheet Desain Lentur	mm	292
Kuat Tekan Beton, f _c '		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	25

Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}		Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
β_1	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0,8500
Panjang Kolom, c_1		Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
Lebar Kolom, c_2		Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
L_n		Dari Sheet Desain Lentur	mm	2500
Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi				
A_{cp}		$b * h$	mm ²	135000
P_{cp}		$2 * (b + h)$	mm	1500
x_o		$b - 2c_c - d_s$	mm	360
y_o		$h - 2c_c - d_s$	mm	210
A_{oh}	R22.7.6.1.1	$x_o * y_o$	mm ²	75600
A_o	22.7.6.1.1	$0.85 A_{oh}$	mm ²	64260
P_h	22.7.6.1	$2 * (x_o + y_o)$	mm	1140
Gaya Dalam				
T_u		Input	kN m	16,6238
Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi				
T_{cr}		$0.33 * (f'_c)^{0.5} * A_{cp}^2 / P_{cp}$	N mm	2004750 0
ϕ	Tabel 21.2.1			0,75
$\phi T_{cr} / 4$			N mm	3758906

Perlu Tulangan Torsi?	Tabel 22.7.4.1	$T_u > \phi T_{cr} / 4$?		Iya
Perhitungan di bawah ini harus diperiksa				
Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang				
Jenis Torsi		Statis Tertentu = Kesetimbangan, Statis Tak Tentu = Kompatibilitas		Kompati bilitas
T_u Pakai	22.7.3.2, 22.7.5	ϕT_{cr} atau T_u	N mm	1503562 5
V_u		Dari Sheet Desain Geser	N	237280
V_c	22.5.5.1	$0.17 * (f_c')^{0.5} * b * d$	N	111690
Tegangan Ultimate Geser+Torsi	22.7.7.1	$\{ [V_u / b * d]^2 + [T_u P_h / (1.7 A_{oh}^2)]^2 \}^{0.5}$	MPa	2,524
Kapasitas Tegangan Beton	22.7.7.1	$\phi * \{ [V_c / (b * d)] + 0.66 * (f_c')^{0.5} \}$	MPa	3,113
Cek Dimensi Penampang	22.7.7.1	Ruas Kiri <= Ruas Kanan ?		OK
Parameter Umum Lainnya				
f_y / f_{yt}		Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser		1
θ	22.7.6.1. 2	θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang	°	45
Penulangan Transversal Torsi				
n kaki Tumpuan		Dari Sheet Desain Geser		4
n kaki Lapangan		Dari Sheet Desain Geser		8
s Tumpuan		Dari Sheet Desain Geser	mm	75

s Lapangan		Dari Sheet Desain Geser	mm	100
s max 1	9.7.6.3.3	$P_h / 8$	mm	143
s max 2	9.7.6.3.3	300 mm	mm	300
Cek Spasi Tumpuan		s Tumpuan $\geq$ s max ?		OK
Cek Spasi Lapangan		s Lapangan $\geq$ s max ?		OK
A_{v+t} / s Tumpuan Pasang		$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² / mm	4,189
A_{v+t} / s Tumpuan Pasang		$n * \pi / 4 * d_s^2 / s$	mm ² / mm	6,283
A_t / s	22.7.6.1	$T_u / (2 * \phi * A_o * f_{yv})$	mm ² / mm	0,371
A_v / s Tumpuan Perlu		$(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_c) / (f_{yv} * d)$	mm ² / mm	1,467
A_v / s Lapangan Perlu		$(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_c) / (f_{yv} * d)$	mm ² / mm	-0,533
A_{v+t} / s Tumpuan Perlu	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		2,209
A_{v+t} / s Lapangan Perlu	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		0,210
A_{v+t} / s min 1	9.6.4.2	$0.062 * (f_c')^{0.5} * b / f_{yv}$		0,332
A_{v+t} / s min 2	9.6.4.2	$0.35 * b / f_{yv}$		0,375
Cek Geser + Torsi Tumpuan		A_{v+t} / s Pasang $\geq A_{v+t} / s$ Perlu dan min ?		OK
Cek Geser + Torsi Lapangan		A_{v+t} / s Pasang $\geq A_{v+t} / s$ Perlu dan min ?		OK
Penulangan Longitudinal Torsi				
d_b atau d_{bt}			mm	13
d_b , min	9.7.5.2	0.042 s	mm	4,2
Cek d_b		$d_b \geq d_b$ min ?		OK
As Perlu Tumpuan Atas		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	677,519
As Perlu Tumpuan Bawah		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	341,887

As Perlu Lapangan Atas		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	662,217
As Perlu Lapangan Bawah		Dari Sheet Desain Geser	mm ²	341,887
A _I	22.7.6.1	$A_t / s * P_h$	mm ²	423,394
A _I min	9.6.4.3	$0.42 * (f_c')^{0.5} * A_{cp} / f_y - (A_t/s) * P_h$	mm ²	251,606
A _s + A _I Perlu Tumpuan			mm ²	1442,801
A _s + A _I Perlu Lapangan			mm ²	1427,498
n Tumpuan Atas		Dari Sheet Desain Lentur		8
n Tumpuan Tengah		Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Tumpuan Bawah		Dari Sheet Desain Lentur		3
n Tumpuan Vertikal		$2 + n \text{ Tengah} / 2$		3
n Lapangan Atas		Dari Sheet Desain Lentur		3
n Lapangan Tengah		Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Lapangan Bawah		Dari Sheet Desain Lentur		4
n Tumpuan Vertikal		$2 + n \text{ Tengah} / 2$		3
Spasi Horizontal Tumpuan		$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	166
Spasi Vertikal Tumpuan		$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	91
Spasi Horizontal Lapangan		$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]$	mm	166
Spasi Vertikal Lapangan		$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	91
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan		Spasi ≥ 300 mm ?		OK

Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan		Spasi ≥ 300 mm ?		OK
$A_s + A_l$ Pasang Tumpuan			mm ²	3520,940
$A_s + A_l$ Pasang Lapangan			mm ²	2386,825
Cek Lentur + Torsi Tumpuan		$A_s + A_l$ Pasang $\geq A_s + A_l$ Perlu ?		OK
Cek Lentur + Torsi Lapangan		$A_s + A_l$ Pasang $\geq A_s + A_l$ Perlu ?		OK

Kesimpulan

Kesimpulan	
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	8 D22
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D13
Longitudinal Tumpuan Bawah	3 D22
Longitudinal Lapangan Atas	3 D22
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D13
Longitudinal Lapangan Bawah	4 D22
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	4D10-75

Senggang Lapangan	8D10-100
-------------------	----------

Tabel 2. 24 Perhitungan Kolom 500 x 500

Desain Longitudinal

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Input	mm	4500
Sisi Pendek Kolom, b			Input	mm	500
Sisi Panjang Kolom, h			Input	mm	500
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	19
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Input	mm	13
Selimut Bersih, c_c			Input	mm	40
Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}			Input	MPa	420
Tinggi Balok, h_b			Input	mm	600
L_n			$L - h_b$	mm	3900
Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.6.1	Tidak dipersyar	$P_u > 0.1 A_g f_c' ?$		OK

		atkan. Baca R18.7.1			
Syarat Sisi Terpendek	21.6.1.1	18.7.2.1	$b \geq 300 \text{ mm} ?$		OK
Syarat Rasio Dimensi Penampang	21.6.1.2	18.7.2.1	$b/h \geq 0.4 ?$		OK
Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll.)					
Jumlah Tulangan, n			Input		16
Luas Tulangan Longitudinal, A_s			$n * \pi/4 * d_b^2$	mm ²	4536,5
Rasio Tulangan, ρ			$A_s / (b * h)$		1,81 %
Cek $\rho_{\min}$ dan $\rho_{\max}$	21.6.3.1	18.7.4.1	$1\% \leq \rho \leq 6\%$		OK
Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)					
Momen Nominal Kolom, M_{nc}			Input (M_n dari kondisi $P_{\max}$ dan $P_{\min}$)	kN m	320, 970
M_n^- Tumpuan Balok			Input	kN m	284, 869
M_n^+ Tumpuan Balok			Input	kN m	134, 360
Cek SCWB	21.6.2.2	18.7.3.2	$2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+)$		OK

Desain Transversal

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:20 13	SNI 2847:20 19			

Properti Material dan Penampang					
Panjang/Tinggi Kolom, L			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	4500
Sisi Pendek Kolom, b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	500
Sisi Panjang Kolom, h			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	500
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	25
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	10
Selimut Bersih, c_c			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	40
Kuat Tekan Beton, f'_c			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_{yv}			Dari Sheet Desain Longitudinal	MPa	420
Tinggi Balok, h_b			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	600
L_n			Dari Sheet Desain Longitudinal	mm	3900
Panjang Zona Sendi Plastis					
l_{o1}	21.6.4.1	18.7.5.1	h	mm	500,0
l_{o2}	21.6.4.1	18.7.5.1	$L_n / 6$	mm	650,0
l_{o3}	21.6.4.1	18.7.5.1	450 mm	mm	450

l_o	21.6.4.1	18.7.5.1	Max (l_{o1} ; l_{o2} ; l_{o3})	mm	650 ,0
-------	----------	----------	--	----	-----------

Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n_1			Input		4
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n_2			Input		4
Spasi, s			Input	mm	100
Spasi Kaki Terbesar, $X_{i \max}$	S21.6.4. 2	R18.7.5 .2	Input	mm	250
$A_{sh \ 1}$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	314 ,15 9
$A_{sh \ 2}$			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	314 ,15 9
$A_{sh} / s, \ 1$				mm ² / mm	3,1 42
$A_{sh} / s, \ 2$				mm ² / mm	3,1 42
Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis					
Lebar Penampang Inti Beton, b_c	S21.6.4. 2	R18.7.5 .2	$b - 2c_c$	mm	420
Panjang Penampang Inti Beton, h_c	S21.6.4. 2	R18.7.5 .2	$h - 2c_c$	mm	420
Luas Penampang Kolom, A_g			$b * h$	mm ²	250 000

Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}			$b_c * h_c$	mm^2	176 400
Sisi Pendek/Sumbu Lemah					
$A_{sh/s \text{ min, 1}}$	21.6.4.4	18.7.5.4	$0.3 (b_c * f'_c / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm^2	3,1 29
$A_{sh/s \text{ min, 2}}$	21.6.4.4	18.7.5.4	$0.09 * b_c * f'_c / f_{yv}$	mm^2	2,2 50
Cek $A_{sh/s \text{ 1}}$			$A_{sh/s \text{ 1}} \geq A_{sh/s \text{ min ?}}$		OK
Sisi Panjang/Sumbu Kuat					
$A_{sh/s \text{ min, 1}}$	21.6.4.4	18.7.5.4	$0.3 (h_c * f'_c / f_{yv}) * (A_g / A_{ch} - 1)$	mm^2	3,1 29
$A_{sh/s \text{ min, 2}}$	21.6.4.4	18.7.5.4	$0.09 * h_c * f'_c / f_{yv}$	mm^2	2,2 50
Cek $A_{sh/s \text{ 2}}$			$A_{sh/s \text{ 2}} \geq A_{sh/s \text{ min ?}}$		OK
Cek Spasi					
$s_{max,1}$	21.6.4.3	18.7.5.3	$b / 4$	mm	125
$s_{max,2}$	21.6.4.3	18.7.5.3	$6 * d_b$	mm	150
h_x	21.6.4.3	18.7.5.3	$X_{i \text{ max}}$	mm	250
$s_{max,3} = s_o$	21.6.4.3	18.7.5.3	$100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150$	mm	133 ,33 3
s_{max}	21.6.4.3	18.7.5.3	$\text{Min} (s_{max1}, s_{max2}, s_{max3})$	mm	125 ,00 0
Cek Spasi					OK
Kuat Geser Zona Sendi Plastis					
Gaya Geser Desain (Perlu input dari PCA Column, atau SP Column, atau CSI Column, dll. dengan $f_{pr} = 1.25 f_y$)					

M_{pr} Kolom			Input, (nilai terbesar)	kN m	818,026
V_{u1}	S21.5.4	18.7.6.1	$2 * M_{pr}$ Kolom / Ln	N	419500
Gaya Geser Hasil Analisis Struktur					
V_{u2} , Sumbu Lemah			Dari Sheet Gaya Dalam	N	89616
V_{u2} , Sumbu Kuat			Dari Sheet Gaya Dalam	N	73785
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			$\text{Max } (V_{u1}, V_{u2})$	N	419500
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0,75
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f'_c)^{0.5} h$ $d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	185944
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	N	373390
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$V_s / (f_{yv} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	mm ² / mm	2,0321
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f'_c)^{0.5} h / f_{yv}$	mm ² / mm	0,3690
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 h / f_{yv}$	mm ² / mm	0,4167
Cek A_s/s			$A_{sh}/s \geq \text{Max } (A_s/s \text{ Perlu}, A_s/s \text{ Min})$?		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			$\text{Max } (V_{u1}, V_{u2})$	N	419500

ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0,7 5
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5}$ $b d; d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	185 944
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10. 1	$V_u / \phi - V_c$	N	373 390
A_s/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10. 5.3	$V_s / (f_{yv} * d); d = h - c_c - d_s -$ $d_b / 2$	mm ² / mm	2,0 321
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$	mm ² / mm	0,3 690
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yv}$	mm ² / mm	0,4 167
Cek A_s/s			$A_{sh}/s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu},$ $A_s/s \text{ Min}) ?$		OK

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Tumpuan					
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1			Input		4
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2			Input		4
Spasi, s			Input	mm	100
A_v Sumbu Lemah			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	314 ,15 9
A_v Sumbu Kuat			$n * \pi / 4 * d_s^2$	mm ²	314 ,15 9
Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis					
Spasi max 1	21.6.4.5	18.7.5.5	$6 d_b$	mm	150 ,0

Spasi max 2	21.6.4.5	18.7.5.5	150 mm	mm	150 ,0
Cek Spasi			Spasi <= Spasi Max ?		OK
Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis					
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	258 722
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0,7 5
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5}$ $h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	N	185 944
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10. 1	$\text{Max } (V_u / \phi - V_c; 0)$		159 019
A_v/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10. 5.3	$V_s / (f_{yv} * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$		0,8 654
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$	mm^2 / mm	0,3 690
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yv}$	mm^2 / mm	0,4 167
Cek A_s/s			$A_v/s \geq A_v/s$ Perlu ?		OK
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat					
V_u			Dari Sheet Gaya Dalam	N	520 122
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0,7 5
V_c	11.2.1.2	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5}$ $b d; d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	N	185 944
V_s Perlu	11.1.1	22.5.10. 1	$\text{Max } (V_u / \phi - V_c; 0)$		507 551

A_v/s Perlu	11.4.7.2	22.5.10. 5.3	$V_s / (f_{yv} * d); d = h - c_c - d_s - d_b / 2$		2,7 622
A_s/s Min 1	-	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b / f_{yv}$	mm^2 / mm	0,3 690
A_s/s Min 2	-	10.6.2.2	$0.35 b / f_{yv}$	mm^2 / mm	0,4 167
Cek A_s/s			$A_v/s \geq A_v/s$ Perlu ?		OK

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	16 D19
Tulangan Transversal/Sengkan Tumpuan	
Sumbu Lemah	4D10-100
Sumbu Kuat	4D10-100
Tulangan Transversal/Sengkan Lapangan	
Sumbu Lemah	4D10-150
Sumbu Kuat	4D10-150

Desain Balok

Balok Induk 1

Data Perencanaan:

Tipe balok: B1

Bentang terpanjang: 600cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat lelehtulangan lentur (f_y): 400 Mpa

Perhitungan Perencanaan

Rumus Perhitungan:

$$h \geq (1/12) \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = (2/3) \times h$$

Hasil Perhitungan:

$$h \geq (1/12) \times 600 \times (0,4 + 400/700) b = (2/3) \times 50$$

$$h \geq 48,57 \text{ cm} b = 33,33 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm } b \approx 35 \text{ cm}$$

Balok Induk 2

Data Perencanaan:

Tipe balok: B2

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq (1/16) \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = (2/3) \times h$$

$$h \geq (1/16) \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = (2/3) \times 40$$

$$h \geq 36,43 \text{ cm}$$

$$b = 26,67 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

Balok Anak

Data Perencanaan:

Tipe balok: B3

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan:

$$h \geq (1/21) \times L \times (0,4 f_y/700)$$

$$b = (2/3) \times h$$

$$h \geq (1/21) \times 600 \times (0,4 + 400/700)$$

$$b = (2/3) \times 30$$

$$h \geq 27,76 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$h \approx 30 \text{ cm}$$

$$b \approx 20 \text{ cm}$$

Balok Kantilever

Data Perencanaan Balok

Tipe balok: B4

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan

Tinggi minimum balok (h) harus memenuhi: $h \geq (1/8) \times L \times (0,4 \times f_y / 700)$

Lebar balok (b) dihitung sebagai: $b = (2/3) \times h$

Dengan $L = 600 \text{ cm}$ dan $f_y = 400 \text{ MPa}$:

$$h \geq (1/8) \times 600 \times (0,4 \times 400 / 700) = 12,14 \text{ cm}$$

$$b = (2/3) \times 15 = 10 \text{ cm}$$

Nilai yang digunakan:

$$h \approx 15 \text{ cm}$$

$$b \approx 10 \text{ cm}$$

Data Perencanaan Balok Bordes

Tipe balok: B5

Bentang terpanjang: 600 cm

Mutu beton (f_c'): 25 MPa

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 MPa

Perhitungan Perencanaan

Tinggi minimum balok (h) harus memenuhi: $h \geq (1/14) \times L \times (0,4 \times f_y / 700)$

Lebar balok (b) dihitung sebagai: $b = (2/3) \times h$

Dengan $L = 600$ cm dan $f_y = 400$ MPa:

$$h \geq (1/14) \times 600 \times (0,4 \times 400 / 700) = 41,63 \text{ cm}$$

$$b = (2/3) \times 45 = 30 \text{ cm}$$

Nilai yang digunakan:

$$h \approx 45 \text{ cm}$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

Desain Kolom

Data perencanaan kolom :

Tipe kolom : K1

Tinggi kolom (L_{kolom}) : 450 cm

Bentang balok (L_{balok}) : 600 cm

Dimensi balok induk :

bb : 35 cm

hb : 55 cm

Perhitungan Perencanaan Dimensi:

$l_{kolom}/L_{kolom} \geq l_{balok}/L_{balok}$ (SNI 2847:2013 Tabel 9.5(a))

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{450} \geq \frac{\frac{1}{12} \times 35 \times 55^3}{600}$$

Direncanakan $b = h$

$$600/12 \times b \times h^3 = 218367187.5$$

$$50 bh^3 = 218367187.5$$

$$50 h^4 = 218367187.5$$

$$h^4 = 4367343.75$$

$$h = 45.715 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

Oleh karena itu, dimensi kolom K1 yang direncanakan adalah 50/50.

2.13 Perencanaan Hubungan Balok – Kolom

Dalam perencanaan tulangan kolom, hubungan antara balok dan kolom sangat penting karena titik pertemuan ini menjadi daerah kritis yang menahan momen lentur dan gaya geser akibat beban dari balok. Penempatan dan penjangkaran tulangan longitudinal kolom harus mempertimbangkan gaya-gaya yang ditransfer dari balok, serta memastikan kontinuitas struktur agar kolom mampu menyalurkan beban secara efisien ke bawah.

Tabel 2. 25 Hubungan Balok Kolom



Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Lebar Y Kolom, b		Input	mm	500
Lebar X Kolom, h		Input	mm	500
Panjang Kolom, L		Input	mm	6000
Kuat Tekan Beton, f _c '		Input	MPa	30
Kuat Leleh Baja Tulangan, f _y		Input	MPa	420
Faktor Beton Ringan, λ				1
Tinggi Balok Terbesar, h _b		Input	mm	450
Panjang Bersih Kolom, L _n		L - h _b	mm	5550
Data Lebar dan Eksentrisitas Balok				
Lebar Balok 1, bb1		Gambar	mm	350
Lebar Balok 2, bb2		Gambar	mm	350
Lebar Balok 3, bb3		Gambar	mm	300
Lebar Balok 4, bb4		Gambar	mm	450
x1a	R18.8.4	Input [default: (h-bb1)/2]	mm	75
x1b	R18.8.4	Input [default: (h-bb1)/2]	mm	75
Cek Lebar Sisi Kolom 1		bb1+x1a+x1b	mm	500
x2a	R18.8.4	Input [default: (h-bb2)/2]	mm	75
x2b	R18.8.4	Input [default: (h-bb2)/2]	mm	75
Cek Lebar Sisi Kolom 1		bb2+x2a+x2b	mm	500
x3a	R18.8.4	Input [default: (b-bb3)/2]	mm	100
x3b	R18.8.4	Input [default: (b-bb3)/2]	mm	100
Cek Lebar Sisi Kolom 1		bb3+x3a+x3b	mm	500
x4a	R18.8.4	Input [default: (b-bb4)/2]	mm	25
x4b	R18.8.4	Input [default: (b-bb4)/2]	mm	25
Cek Lebar Sisi Kolom 1		bb4+x4a+x4b	mm	500
Dimensi Joint				

x terkecil sisi 1, x1		MIN (x1a, x1b)	mm	75
x terkecil sisi 2, x2		MIN (x2a, x2b)	mm	75
x terkecil sisi 3, x3		MIN (x3a, x3b)	mm	100
x terkecil sisi 4, x4		MIN (x4a, x4b)	mm	25
Lebar Joint Sisi 1, bj1	18.8.4.3	MIN (bb1+h, bb1+2*x1)	mm	500
Lebar Joint Sisi 2, bj2	18.8.4.3	MIN (bb2+h, bb2+2*x2)	mm	500
Lebar Joint Sisi 3, bj3	18.8.4.3	MIN (bb3+h, bb3+2*x3)	mm	500
Lebar Joint Sisi 4, bj4	18.8.4.3	MIN (bb4+h, bb4+2*x4)	mm	500
Lebar Efektif Joint Y, bj		MIN (bj1, bj2)	mm	500
Lebar Efektif Joint X, hj		MIN (bj3, bj4)	mm	500
Luas Efektif Joint Gempa X, A_{jx}	18.8.4.3	$b_j * h$	mm ²	250000
Luas Efektif Joint Gempa Y, A_{jy}	18.8.4.3	$b * h_j$	mm ²	250000
Cek Tinggi Joint	18.8.2.4	$h_j \geq 1/2 h_b$?		OK
Data dan Gaya Tulangan Balok				
Diameter Tulangan Utama Balok, d_b		Input		16
Cek Dimensi Kolom	18.8.2.3	$b \geq 20 * d_b$?		OK
Tulangan Atas Balok 1, A_s^-1		Gambar	mm ²	1005,31 0
Tulangan Bawah Balok 1, A_s^+1		Gambar	mm ²	804,248
Tulangan Atas Balok 2, A_s^-2		Gambar	mm ²	1005,31 0
Tulangan Bawah Balok 2, A_s^+2		Gambar	mm ²	804,248
Tulangan Atas Balok 3, A_s^-3		Gambar	mm ²	603,186
Tulangan Bawah Balok 3, A_s^+3		Gambar	mm ²	1005,31 0
Tulangan Atas Balok 4, A_s^-4		Gambar	mm ²	1206,37 2

Tulangan Bawah Balok 4, A_s^+4		Gambar	mm ²	804,248
Tegangan Probable Tulangan, f_{pr}	18.8.2.1	$1.25 * f_y$	MPa	525
Gaya Tulangan Atas Balok 1, F_s^-1	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	527788
Gaya Tulangan Bawah Balok 1, F_s^+1	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	422230
Gaya Tulangan Atas Balok 2, F_s^-2	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	527788
Gaya Tulangan Bawah Balok 2, F_s^+2	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	422230
Gaya Tulangan Atas Balok 3, F_s^-3	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	316673
Gaya Tulangan Bawah Balok 3, F_s^+3	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	527788
Gaya Tulangan Atas Balok 4, F_s^-4	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	633345
Gaya Tulangan Bawah Balok 4, F_s^+4	18.8.2.1	$A_s * f_{pr}$	N	422230
Gaya Geser Akibat Balok				
Geser Ketika Arah Gempa X-		$F_s^-3 + C4 = F_s^-3 + F_s^+4$	N	738903
Geser Ketika Arah Gempa X+		$F_s^-4 + C3 = F_s^-4 + F_s^+3$	N	116113 3
Geser Ketika Arah Gempa Y-		$F_s^-1 + C2 = F_s^-1 + F_s^+2$	N	950018
Geser Ketika Arah Gempa Y+		$F_s^-2 + C1 = F_s^-2 + F_s^+1$	N	950018
Gaya Geser Kolom (Beam Hinging)				
M_{pr}^- Balok 1		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	221371 031
M_{pr}^+ Balok 1		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	179593 718
M_{pr}^- Balok 2		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	228332 607

M_{pr}^{+} Balok 2		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	157215 526
M_{pr}^{-} Balok 3		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	136581 642
M_{pr}^{+} Balok 3		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	220353 462
M_{pr}^{-} Balok 4		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	221371 031
M_{pr}^{+} Balok 4		Input [Excel Desain Balok]	Nm m	179593 718
V_e Balok 1		Input [Excel Desain Balok]	N	317501
V_e Balok 2		Input [Excel Desain Balok]	N	317501
V_e Balok 3		Input [Excel Desain Balok]	N	317501
V_e Balok 4		Input [Excel Desain Balok]	N	317501
Geser Kolom Ketika Arah Gempa X-		$[(M_{pr}^{+4} + M_{pr}^{-3}) + (V_e3 + V_e4) * h/2] / L_n$	N	85572
Geser Kolom Ketika Arah Gempa X+		$[(M_{pr}^{+3} + M_{pr}^{-4}) + (V_e3 + V_e4) * h/2] / L_n$	N	108194
Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y-		$[(M_{pr}^{+2} + M_{pr}^{-1}) + (V_e1 + V_e2) * h/2] / L_n$	N	96817
Geser Kolom Ketika Arah Gempa Y+		$[(M_{pr}^{+1} + M_{pr}^{-2}) + (V_e1 + V_e2) * h/2] / L_n$	N	102104
Gaya Geser Total Joint				
Geser Joint Ketika Arah Gempa X-		$F_s + C - V_{col}$	N	653330
Geser Joint Ketika Arah Gempa X+		$F_s + C - V_{col}$	N	105293 9
Geser Joint Ketika Arah Gempa Y-		$F_s + C - V_{col}$	N	853200

Geser Joint Ketika Arah Gempa Y+		$F_s + C - V_{col}$	N	847914
Kuat Geser Joint				
Konfigurasi Joint	18.8.4.1			3
Faktor Pengali Kuat Geser, c	18.8.4.1			1
Kuat Geser Nominal Joint Gempa X, V_{nX}	18.8.4.1	$c * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_{jX}$	N	1369306
Kuat Geser Nominal Joint Gempa Y, V_{nY}	18.8.4.1	$c * \lambda * \sqrt{f'_c} * A_{jY}$	N	1369306
Faktor Reduksi, Φ	21.2.4.3			0,85
Kuat Geser Joint Gempa X, ΦV_{nX}	18.8.4.1	$\Phi * V_{nX}$	N	1163910
Kuat Geser Joint Gempa X, ΦV_{nY}	18.8.4.1	$\Phi * V_{nY}$	N	1163910
Gaya Geser Joint Gempa X, V_{uX}		MAX (Geser Joint Gempa X)	N	1052939
Gaya Geser Joint Gempa Y, V_{uY}		MAX (Geser Joint Gempa Y)	N	853200
Faktor Keamanan Gempa X, SF_X		$\Phi V_{nX} / V_{uX}$		1,105
Faktor Keamanan Gempa Y, SF_Y		$\Phi V_{nY} / V_{uY}$		1,364
Cek Kuat Geser Joint		$SF \geq 1$?		OK
Tulangan Transversal				
Tulangan transversal joint	18.8.3.2	digunakan confinement = tumpuan kolom		
Panjang Penyaluran Tarik				
l_{dh} hitung	18.8.5.1	$f_y * d_b / (5.4 * \lambda * \sqrt{f'_c})$	mm	227,203
l_{dh} pakai	18.8.5.1	MAX(l_{dh} , 8 db, 150)	mm	227,203