

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Deskripsi Umum Struktur Bangunan

Bangunan Perpustakaan ini memiliki 3 lantai. Perpustakaan Umum dan *Co-Working Space* di Yogyakarta difungsikan sebagai area perpustakaan, penunjang, pengelola, dan servis pada lantai 1. Pada lantai 2, bangunan ini difungsikan sebagai area perpustakaan, *Co-Working Space* dan pada lantai 3 difungsikan sebagai area perpustakaan dan rekreasi yaitu *green rooftop*.

Pada BAB ini disajikan secara lengkap proses perhitungan desain struktur Perpustakaan Umum dan *Co-Working Space* di Yogyakarta. Struktur ini di desain menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Elemen struktur berupa balok, kolom, pelat lantai, pada struktur yang di desain menggunakan material beton sedangkan atap menggunakan material baja 2L.

2.2 Spesifikasi Material Struktur

Spesifikasi material yang digunakan dalam desain struktur Perpustakaan Umum dan *Co-Working Space* di Yogyakarta adalah sebagai berikut.

1. Beton
 - a. Kuat tekan beton umur 28 hari, $F_c' = 30$ MPa (struktur atas)
 - b. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700\sqrt{F_c'} = 4700 \sqrt{30} = 25,743$ MPa
2. Baja Tulangan
 - a. Baja tulangan dengan $D > 12$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 420$ MPa
 - b. Baja tulangan dengan $D < 12$ mm, digunakan baja tulangan ulir (*deform*) dengan tegangan leleh, $f_y = 280$ MPa
3. Baja Profil 2L
 - a. Baja profil yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ MPa dan tegangan ultimit, $f_u = 420$ MPa
 - b. Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ MPa

2.3 Preliminary Design

Preliminary design balok dan kolom bangunan adalah langkah awal yang dilakukan dalam merancang struktur bangunan, dimana ukuran dan dimensi balok dan kolom ditentukan berdasarkan beban yang akan ditopang. Pada tahap ini, dimensi balok dan kolom masih perkiraan awal dan akan diperbaiki dan diubah sesuai analisis lebih lanjut.

Pada tahap *preliminary design*, dilakukan perhitungan untuk menentukan dimensi balok dan kolom yang cukup kuat untuk menahan beban yang diberikan. Beban ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk beban mati seperti bobot struktur sendiri, dan beban hidup seperti beban manusia dan barang-barang yang ditempatkan di atas bangunan.

Dalam *preliminary design* balok dan kolom bangunan, beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain kuat tarik dan tekan bahan yang digunakan, ketahanan terhadap gaya geser, serta hubungan antara balok dan kolom di bangunan. Setelah dimensi awal ditentukan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan yang lebih mendetail untuk memastikan bahwa struktur yang direncanakan cukup kuat dan aman.

2.3.1 Rumus Preliminary Design

Penentuan perkiraan dimensi awal balok dan kolom menggunakan rumus dan hasil sebagai berikut:

1. Balok Induk :
 - Tinggi balok $= \frac{1}{15} \times \text{bentang balok}$
 - Lebar balok $= \frac{2}{3} \times \text{tinggi balok}$
2. Balok Anak
 - Tinggi balok $= \frac{1}{16} \times \text{bentang balok}$
 - Lebar balok $= \frac{1}{2} \times \text{tinggi balok}$
3. Kolom
 - Dimensi kolom $= \text{lebar balok induk} + 2 \times 50 \text{ mm}$

2.3.2 Contoh dan hasil perhitungan

1. Balok Induk dengan bentang 8000 mm

$$\begin{aligned} - \text{ Tinggi balok} &= \frac{1}{15} \times \text{bentang balok} \\ &= \frac{1}{15} \times 8000 \text{ mm} \\ &= 533.3 \text{ mm} \approx 550 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Lebar balok} &= \frac{2}{3} \times \text{tinggi balok} \\ &= \frac{2}{3} \times 550 \text{ mm} \\ &= 366,6 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Balok Anak dengan bentang 7000 mm

$$\begin{aligned} - \text{ Tinggi balok} &= \frac{1}{16} \times \text{bentang balok} \\ &= \frac{1}{16} \times 7000 \text{ mm} \\ &= 437,5 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Lebar balok} &= \frac{1}{2} \times \text{tinggi balok} \\ &= \frac{1}{2} \times 450 \text{ mm} \\ &= 225 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Kolom dengan ukuran balok 400 mm × 550 mm

$$\begin{aligned} - \text{ Dimensi kolom} &= \text{lebar balok induk} + 2 \times 50 \\ &= 400 + 2 \times 50 \\ &= 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 2.1 Dimensi Balok

No.	Kode	Dimensi
1	B1	400 x 550
2	B2	300 x 550
3	B3	250 x 550

Tabel 2.2 Dimensi Balok Anak

No.	Kode	Dimensi
1	BA1	300 x 450
2	BA2	250 x 450
3	BA3	200 x 450

Tabel 2.3 Dimensi Kolom

No.	Kode	Dimensi
1	K1	500 x 500
2	K2	400 x 400
3	K3	350 x 350

2.4 Ketidakberaturan Struktur

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan jika tidak memenuhi syarat dari struktur gedung beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2, ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidak beraturan horizontal dan ketidak beraturan vertikal. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 2.4 dan tabel 2.5.

2.4.1 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

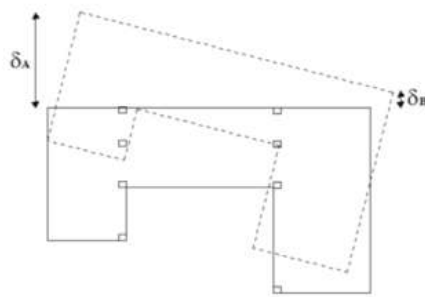
Tabel 2.4 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 Tabel 16 0	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	0 0 0 0 0 0 Tabel 16 0	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	0 Tabel 16	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.	0 0 0 Tabel 16 0	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.	0 0 Tabel 16 0	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Dilakukan pemeriksaan terhadap ketidakberaturan horizontal pada bangunan Perpustakaan:

1. Ketidakberaturan Torsi

Berdasarkan SNI-1726-2019, tipe dari ketidakberaturan torsi 1a dan ketidakberaturan torsi 1b ditentukan berdasarkan defleksi maksimum (δ_{max}), defleksi minimum (δ_{min}), dan defleksi rata-rata (δ_{avg}). $\delta_{max} < 1,2 \delta_{avg}$ = tanpa ketidakberaturan torsi yang digambarkan seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ketidakberaturan Torsi

1a. Ketidakberaturan Torsi

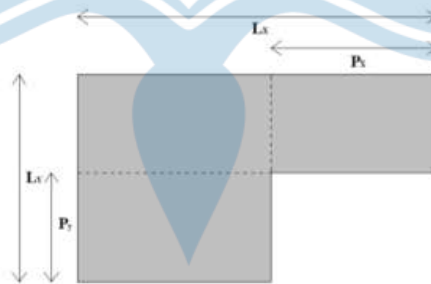
Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan torsi, diperoleh hasil simpangan antar lantai tingkat maksimum pada arah X dan Y kurang dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe i pada struktur yang ditinjau.

1b. Ketidakberaturan Torsi Berlebih

Tipe ini terjadi apabila rasio lebih besar dari 1,4. Bangunan ini tidak mengalami torsi berlebih.

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ketidakberaturan Sudut Dalam

$$L_x = 45 \text{ m}$$

$$P_x = 0 \text{ m}$$

$$15\% L_x = 15\% \times 45 \\ = 6,75$$

$P_x > 15\% L_x$, maka ketidakberaturan sudut dalam terjadi

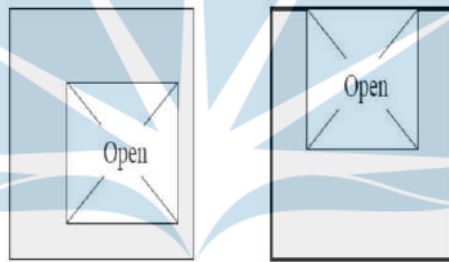
$$L_y = 55,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 P_y &= 0 \text{ m} \\
 15\% L_y &= 15\% \times 55,5 \\
 &= 8,32
 \end{aligned}$$

$P_y < 15\% L_y$, Maka Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, didapatkan hasil bahwa kedua proyeksi denah struktur dalam kurang dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan sehingga tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 2 pada struktur yang ditinjau.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma,

Didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang memiliki 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 Gambar 2.3.



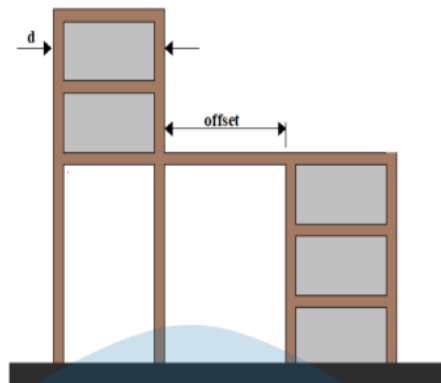
Gambar 2.3 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3

Sumber : SNI 1726 : 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 3 pada struktur yang ditinjau.

4. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

Didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya seperti pada Gambar 2.4.



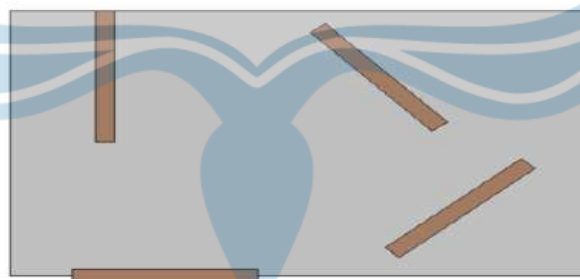
Gambar 2.4 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4

Sumber : SNI 1726 – 2019

Tidak terjadi ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dikarenakan pada bangunan yang ditinjau tidak ada pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral dan tidak terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul pada tingkat dibawahnya.

5. Ketidakberaturan sistem nonparalel

Didefinisikan ada jika elemen penahan vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan seismik Gambar 2.5.



(e) Ketidakberaturan 5

Gambar 2.5 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5

Sumber : SNI 1726 – 2019

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam, diperoleh hasil tak terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 5 pada struktur.

2.4.2 Ketidakberaturan Vertikal Struktur

Tabel 2.5 Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan Vertikal Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	Ketidakteraturan 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 tiga tingkat di atasnya.	Tabel 16	D, E, dan F
1b.	Ketidakteraturan 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 tiga tingkat di atasnya.	0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
2.	Ketidakteraturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 16	D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.	Tabel 16	D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.	0 0 Tabel 16	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	E dan F D, E, dan F
5b.	Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.	0 0 Tabel 16	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

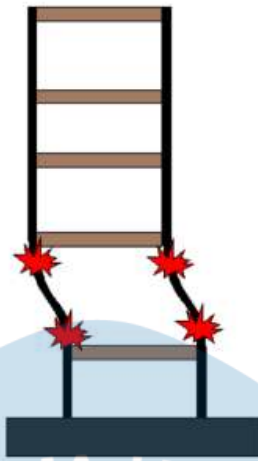
Sumber: SNI 1726 : 2019

Berikut disajikan hasil perhitungan dan pengecekan terhadap ketidakberaturan vertikal struktur :

1a. Ketidakteraturan 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 Gambar 2.6.

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertial tipe 1a pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2.6 Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat

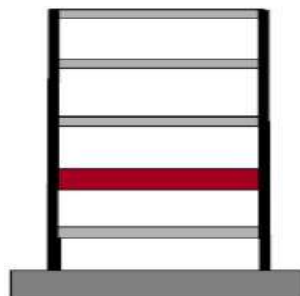
Sumber: SNI 1726 : 2019

1b. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan

Diartikan sebagai bila ada suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata 3 tingkat di atasnya. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, didapatkan 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 (Gambar 2.7). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan berat (massa), didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 2 pada struktur yang ditinjau.

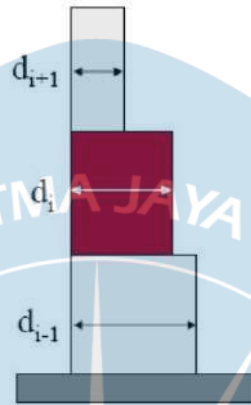


Gambar 2.7 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2

Sumber: SNI 1726 : 2019

3. Ketidakberaturan geometri vertikal

Didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan seismik di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahan seismik tingkat di dekatnya. Didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 3 pada struktur yang ditinjau.

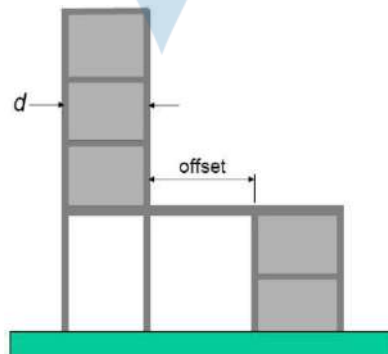


Gambar 2.8 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3

Sumber: SNI 1726 : 2019

4. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal

Diartikan jika pergeseran arah bidang elemen penahan lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya. Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 4 pada struktur.



Gambar 2.9 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4

Sumber: SNI 1726 : 2019

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 (lihat Gambar 2.10). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5a pada struktur yang ditinjau.



Gambar 2.10 Ilustrasi Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b

Sumber: SNI 1726: 2019

5b. 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 2.10). Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan, didapatkan hasil bahwa tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 5b pada struktur yang ditinjau.

2.4.3 Menentukan Fleksibilitas Difragma

Untuk struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal, diafragma harus dimodelkan sebagai semi-rigid. Dalam pekerjaan ini, struktur gedung pendidikan tidak memiliki ketidakberaturan struktur horizontal sehingga

diafragma dimodelkan sebagai diafragma rigid.

2.5 Pembebanan Struktur

2.5.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi ditetapkan berdasarkan SNI 8900:2020 Massa jenis minimum material γ untuk evaluasi beban mati dan beban hidup. Beban gravitasi dalam desain struktur fasilitas perpustakaan meliputi berat sendiri struktur/dead load (DL), beban mati tambahan/additional dead load (SIDL), dan beban hidup/live load (LL). Beban-beban tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Beban Mati Sendiri (DL)

Beban mati terdiri dari bahan konstruksi pada gedung yang dalam pemeliharaannya tetap. Pada penentuan beban mati untuk perancangan, berat material dan konstruksi aktual harus digunakan. Beban mati sendiri terdiri dari balok, kolom, pelat lantai, dll yang merupakan bagian dari struktur utama.

2. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan/*additional dead load* merupakan beban tambahan akibat komponen non-struktural (arsitektural dan MEP) yang melekat pada struktur bangunan utama. Perhitungan beban mati tambahan sebagai berikut:

Beban pelat sendiri	= 7,18 kN/m ²
Beban finishing	= 0,41 kN/m ²
Beban spesi	= 0,69 kN/m ²
Beban keramik (tebal 2 cm)	= 0,48 kN/m ²
Beban Plafond	= 0,2 kN/m ²
Beban MEP	= 0,2 kN/m ²
Total Beban Mati (DL)	= 9,16 kN/m ²

2.5.2 Beban Gempa

Beban gempa ditetapkan berdasarkan SNI 1726:2019 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung. Langkah-langkah perhitungan beban gempa rencana disajikan sebagai berikut:

1. Menentukan kategori risiko bangunan (I-IV)

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi operasional/jenis pemanfaatan dari suatu bangunan. Dalam SNI 1726:2019, kategori risiko bangunan dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kategori risiko I, II, III, dan IV (lihat Tabel 2.6). Dalam pekerjaan ini, struktur perpustakaan dan *Co-Working Space* termasuk dalam kategori gedung perkantoran sehingga ditetapkan sebagai kategori risiko bangunan II.

Tabel 2.6 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber: SNI 1726:2019

2. Menentukan faktor keutamaan gempa (I_e)

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Dalam Tabel 2.7 disajikan faktor keutamaan gempa (I_e) sesuai dengan SNI 1726:2019. Dalam pekerjaan ini, struktur perpustakaan termasuk dalam kategori risiko bangunan II sehingga faktor keutamaan gempa (I_e) ditetapkan sebesar 1,00.

Tabel 2.7 Faktor keutamaan gempa (I_e)

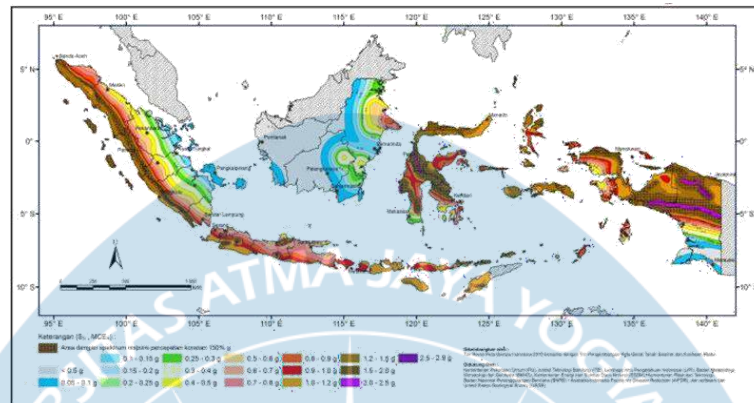
Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1726:2019

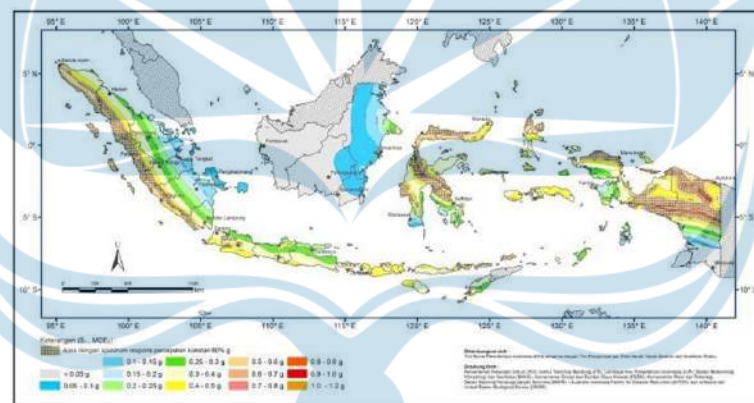
3. Menentukan parameter percepatan tanah (S_s dan S_1)

Parameter percepatan tanah (S_s dan S_1) dipengaruhi oleh properti tanah pada lokasi proyek. Nilai S_s dan S_1 digunakan untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dimana S_s dan S_1 berturut-turut merupakan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik. Dalam

Gambar 2.11 dan 2.12 berturut-turut disajikan nilai Ss dan S1 untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) pada batuan dasar. Dalam pekerjaan ini, lokasi bangunan berada di Kota Yogyakarta sehingga digunakan nilai Ss =1,1070 dan S1 = 0,5070g.



Gambar 2.11 Ss, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Pada batuan dasar untuk periode pendek (0,2 detik)
Sumber: SNI 1726:2019



Gambar 2.12 Ss, gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) Pada batuan dasar untuk periode 1 detik
Sumber: SNI 1726:2019

4. Menentukan klasifikasi situs (SA-SF)

Karakteristik lokasi proyek khususnya yang berhubungan dengan aspek geoteknik harus diidentifikasi dengan baik dalam proses Perancangan melalui kegiatan penyelidikan lokasi proyek (site investigation). Kegiatan penyelidikan lokasi proyek ini dapat berupa penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Selanjutnya hasil dari penyelidikan lokasi proyek tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam penentuan klasifikasi situs. Dalam SNI 1726:2019 klasifikasi situs dibedakan menjadi 6 jenis yaitu SA

(batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF(tanah khusus).

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plasitisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Tabel 2.8 Klasifikasi Situs

Kedalaman di permukaan	Ni	Kedalaman (di)	di/Ni
0 sd 2	7	2	0,2857
2 sd 4	21	4	0,0952
4 sd 6	32	6	0,0625
6 sd 8	34	8	0,0588
8 sd 10	34	10	0,0588
10 sd 12	37	12	0,0541
12 sd 14	39	14	0,0513
14 sd 16	47	16	0,0426
16 sd 18	44	18	0,0455
18 sd 20	48	20	0,0417
20 sd 22	50	22	0,0400

22 sd 24	50	24	0,0400
24 sd 26	51	26	0,0392
26 sd 28	51	28	0,0392
28 sd 30	53	30	0,0377
30 sd 32	53	32	0,0377
32 sd 34	54	34	0,0370
34 sd 36	55	36	0,0364
36 sd 38	60	38	0,0333
38 sd 40	60	40	0,0333
40 sd 42	60	42	0,0333
42 sd 44	60	44	0,0333
44 sd 45	60	45	0,0167
Jumlah	Σ	45	1,2534
		N rerata	35,9020

Berdasarkan hasil uji N-SPT yang dilakukan di lapangan, didapatkan nilai $N = 35,9020$ dengan hasil tersebut, situs proyek termasuk dalam klasifikasi situs SD (tanah sedang). Data N-SPT selengkapnya dapat dilihat dalam laporan penyelidikan tanah.

Rumus mencari nilai N-SPT adalah $N = \frac{\Sigma di}{\Sigma Ni}$

5. Menentukan koefisien situs (F_a dan F_v)

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) dan 1 detik (F_v). Faktor amplifikasi tersebut ditentukan berdasarkan kelas situs dan parameter percepatan tanah. Faktor amplifikasi pada periode 0,2 detik (F_a) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 0,2 detik (S_s).

Sedangkan faktor amplifikasi pada periode 1 detik (F_v) ditentukan oleh kelas situs dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik (S_1). Penentuan koefisien situs (F_a dan F_v) didasarkan pada tabel 2.9 Dan 2.10.

Tabel 2.9 Koefisien situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019

Catatan:

- Untuk nilai-nilai antara S_s , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat

Tabel 2.10 Koefisien situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726:2019

- Untuk nilai-nilai antara S_1 , dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs- spesifik.

Berdasarkan tabel 2.9 dan tabel 2.10, untuk kelas situs SD (tanah sedang) didapatkan nilai F_a dan F_v berturut-turut 1,51 dan 2,05. Selanjutnya nilai F_a dan F_v tersebut digunakan untuk menentukan parameter spektrum

respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$1) \text{ SMS} = F_a \times S_s = 1,170g$$

$$2) \text{ SM1} = F_v \times S_1 = 0,761g \text{ (pers 7 \& 8 SNI 1726:2019)}$$

6. Menghitung parameter percepatan desain (SDS dan SD1)

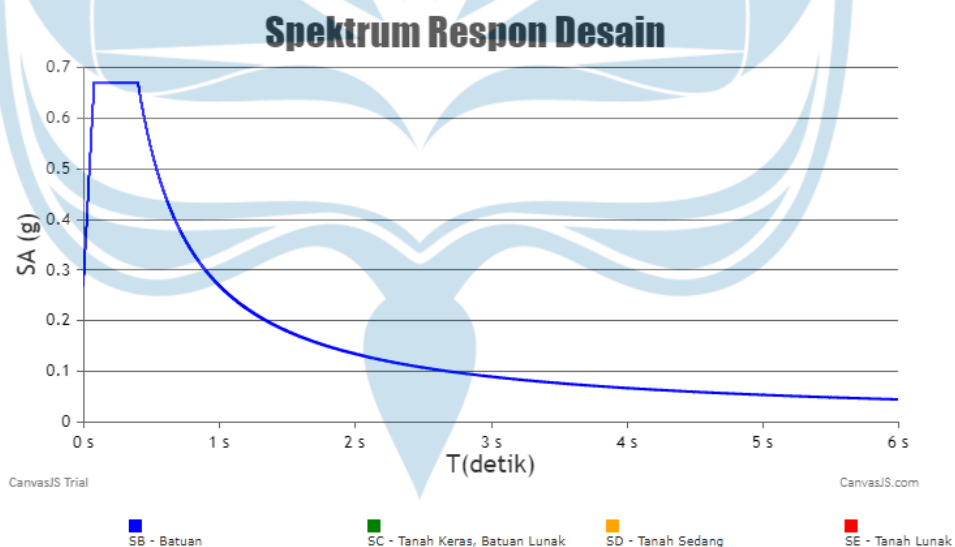
Pada langkah sebelumnya sudah didapatkan nilai SMS dan SM1. Selanjutnya berdasarkan nilai SMS dan SM1 tersebut, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik (SDS) dan periode 1 detik (SD1) perlu ditetapkan untuk menyusun kurva respons spektra. Nilai SDS dan SD1 dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$a. \text{ SDS} = 2/3 \times \text{SMS} = 0,78g$$

$$b. \text{ SD1} = 2/3 \times \text{SM1} = 0,5073g \text{ (pers 9 \& 10 SNI 1726:2019)}$$

7. Menyusun kurva respon desain

Berdasarkan parameter respon *spectra* yang dihitung pada tahap sebelumnya, kurva respon *spectra* dapat disusun sebagai berikut :



Tabel 2.11 Nilai periode dan percepatan respons *spectra*

T (detik)	Keterangan	Sa (g)	Keterangan
SD1	0	0,312	0.4 SDS
0,16	T0	0,780	SDS

0,78	TS	0,780	SDS
0,78	TS+0	0,782	Sa = SD1/T
0,88	TS + 0,1	0,693	Sa = SD1/T
0,98	TS + 0,2	0,622	Sa = SD1/T
1,08	TS + 0,3	0,565	Sa = SD1/T
1,18	TS+0,4	0,517	Sa = SD1/T
1,28	TS+0,5	0,477	Sa = SD1/T
1,38	TS+0,6	0,442	Sa = SD1/T
1,48	TS+0,7	0,412	Sa = SD1/T
1,58	TS+0,8	0,386	Sa = SD1/T
1,68	TS+0,9	0,363	Sa = SD1/T
1,78	TS+1	0,343	Sa = SD1/T
1,88	TS+1,1	0,324	Sa = SD1/T
1,98	TS+1,2	0,308	Sa = SD1/T
2,08	TS+1,3	0,293	Sa = SD1/T
2,18	TS+1,4	0,280	Sa = SD1/T
2,28	TS+1,5	0,268	Sa = SD1/T
2,38	TS+1,6	0,256	Sa = SD1/T
2,48	TS+1,7	0,246	Sa = SD1/T
2,58	TS+1,8	0,236	Sa = SD1/T
2,68	TS+1,9	0,228	Sa = SD1/T
2,78	TS+2	0,219	Sa = SD1/T
2,88	TS+2,1	0,212	Sa = SD1/T
2,98	TS+2,2	0,205	Sa = SD1/T
3,08	TS+2,3	0,198	Sa = SD1/T
3,18	TS+2,4	0,192	Sa = SD1/T
3,28	TS+2,5	0,186	Sa = SD1/T
3,38	TS+2,6	0,180	Sa = SD1/T
3,48	TS+2,7	0,175	Sa = SD1/T

3,58	TS+2,8	0,170	Sa = SD1/T
4,78	TS+4	0,128	Sa = SD1/T

8. Menentukan kategori desain seismik (KDS: A-F)

Struktur yang didesain harus ditetapkan termasuk dalam kategori desain seismik (KDS) sesuai dengan Tabel 8 SNI 1726:2019. Dalam tabel 2.12 dan tabel 2.13 disajikan kategori desain seismik yang didasarkan pada hubungan SDS dan SD1 dengan KDS.

Tabel 2.12 Kategori desain seismik berdasarkan nilai SDS

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.13 Kategori desain seismik berdasarkan nilai SD1

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber: SNI 1726:2019

Dalam pekerjaan ini, berdasarkan Tabel 2.12 dan Tabel 2.13 didapatkan kategori desain seismik KDS tipe D pada kategori risiko II.

9. Menentukan sistem dan parameter struktur (R , C_d , Ω_0)

Sistem struktur penahan gaya gempa diizinkan untuk ditetapkan berbeda pada masing-masing sumbu ortogonal struktur. Parameter R , C_d , Ω_0 untuk setiap tipe sistem struktur penahan gaya gempa disajikan dalam Tabel 2.14.

Tabel 2.14 R, Cd, Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

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
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 canai 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 ^e	TI ^e	TI ^e
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^f	TI ^f	TI ^f
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^g	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 canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ^h	3½	3 ^e	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_o^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^r	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 ⁿ	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1¼	1¼	1¼	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

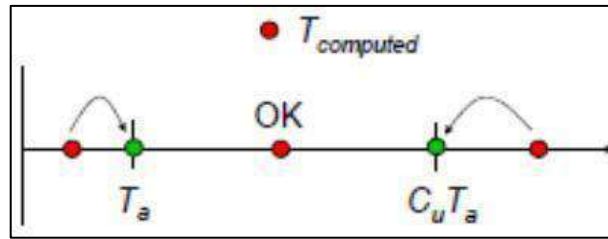
Sumber: SNI 1726:2019

Sistem struktur penahan gaya gempa yang digunakan pada struktur rumah tinggal adalah SRPMK sehingga diperoleh parameter struktur sebagai berikut:

$$R = 8, C_d = 5,5, \text{ dan } \Omega_o = 3$$

10. 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 2.13):



Gambar 2.13 Penentuan periode struktur yang digunakan

Sumber: FEMA 481

Periode fundamental pendekatan (T_a) ditentukan dengan berdasarkan persamaan: $T_a = C_t \cdot h_n^x$. Dimana h_n adalah ketinggian struktur (dalam m), sedangkan koefisien C_t dan x ditentukan berdasarkan tabel 2.15.

Tabel 2.15 Penentuan Koefisien C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• 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 2.16.

Tabel 2.16 Nilai Koefisien C_u

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 pemikul momen khusus sehingga didapatkan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ di dapatkan dari Tabel 2.15. Selanjutnya berdasarkan nilai $SD1 = 0,507$ g didapatkan koefisien $C_u = 1,4$. Sehingga didapatkan nilai $T_a = 0,597$ detik dan $C_u.T_a = 0,835$ detik, sehingga periode struktur yang digunakan dalam analisis beban gempa dengan prosedur ELF adalah 0,597 detik.

11. 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:

$$C_s > 0,044 SDS \quad I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana $S1$ sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s > (0,5 \times S1) / (R / I_e)$$

Pada pekerjaan ini, hasil perhitungan koefisien respons seismik (C_s) didapatkan hasil :

Rumus	Hasil Perhitungan
$C_s = SDS / (R / I_e)$	0,0975
$C_s < SD1 / (T \times (R / I_e))$	0,1061
$C_s < SD1 T_L / T^2 (R / I_e)$	0,7112
$C_s > 0,044 SDS \quad I_e \geq 0,01$	0,0343
$C_s > 0,5 S1 / (R / I_e)$	0,032

Maka diperoleh nilai C_s adalah 0,0975.

2.6 Kombinasi Beban Rencana

Pada kombinasi beban ultimit ditetapkan berdasarkan Pasal 4.2.2 SNI 1726:2012 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

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

6. $0,9DL + 1,0W$
7. $0,9DL + 1,0E$

Pada kombinasi beban nomor 5 dan 7 merupakan kombinasi beban gempa yang diatur secara khusus dalam Pasal 7.4 SNI 1726:2012 Standar Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, yaitu sebagai berikut:

1. $(1,2+0,2SDS)DL + 1,0LL \pm 0,3\rho Ex \pm 1,0\rho Ey$
2. $(1,2+0,2SDS)DL + 1,0LL \pm 1,0\rho Ex \pm 0,3\rho Ey$
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 1726:2012 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. $0,6DL + 0,7E$

dimana,

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 Redudansi

SDs = Parameter kecepatan spectral desain untuk periode pendek 0,2 detik

Tabel 2.17 Kombinasi Beban Ultimit yang digunakan

Nomor	DL	SIDL	LL	L _r	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		
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	1,3570	1,3570	1				1	0,3
	6,2	1,3570	1,3570	1				1	-0,3
	6,3	1,3570	1,3570	1				-1	0,3
	6,4	1,3570	1,3570	1				-1	-0,3
	6,5	1,3570	1,3570	1				0,3	1
	6,6	1,3570	1,3570	1				-0,3	1
	6,7	1,3570	1,3570	1				0,3	-1
6,8	1,3570	1,3570	1				-0,3	-1	
7	7,1	0,7430	0,7430					1	0,3
	7,2	0,7430	0,7430					1	-0,3
	7,3	0,7430	0,7430					-1	0,3
	7,4	0,7430	0,7430					-1	-0,3
	7,5	0,7430	0,7430					0,3	1
	7,6	0,7430	0,7430					-0,3	1
	7,7	0,7430	0,7430					0,3	-1
7,8	0,7430	0,7430					-0,3	-1	

2.7 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dan perilaku struktur akibat beban yang bekerja. Hasil dari pemodelan struktur digunakan sebagai acuan untuk mendesain dimensi penampang elemen struktur yang diperlukan. Model struktur dikerjakan dengan beberapa idealisasi. Sebagai contoh, pelat lantai diidealisasikan sebagai elemen

shell, sedangkan balok dan kolom di idealisasikan sebagai elemen frame. Pemodelan struktur yang dilakukan mampu mengakomodasi pengaruh kerusakan baja ketika terjadi gempa yaitu melalui reduksi momen inersia penampang elemen struktur.

2.7.1 Definisi Material

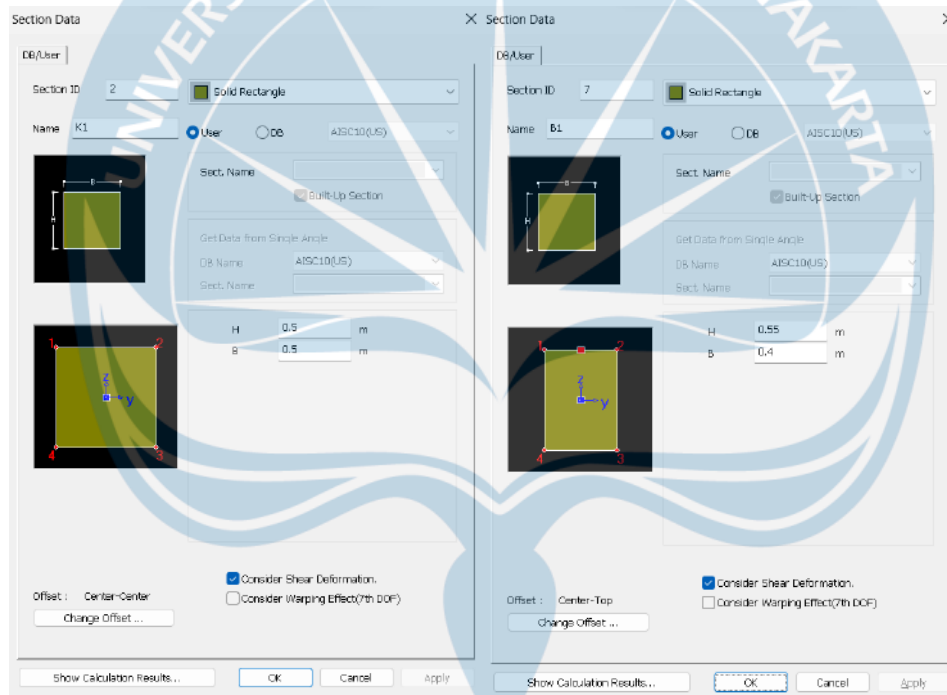
Material yang digunakan dalam analisis struktur adalah sebagai berikut :

Baja : B 37

Beton : f_c' 30 MPa

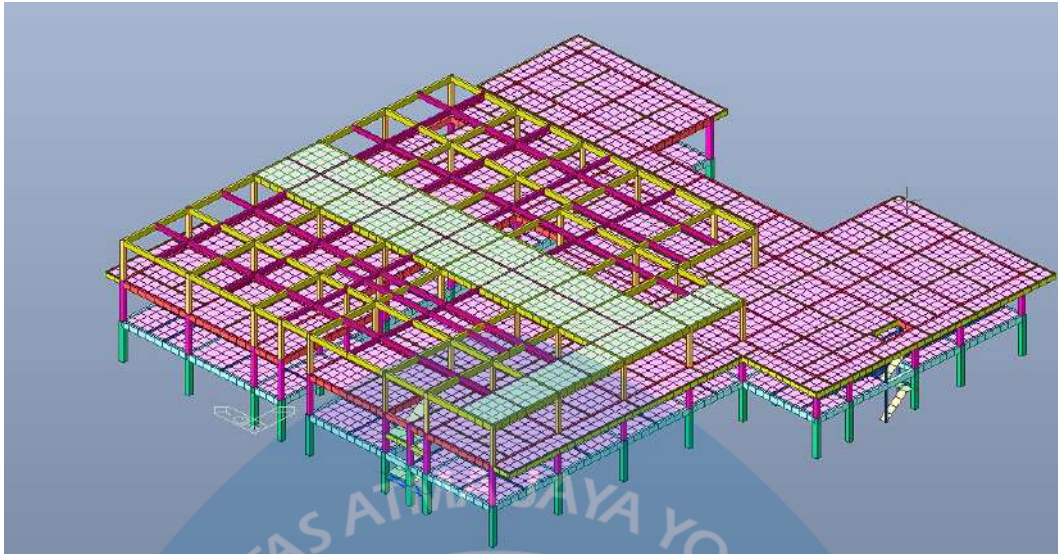
2.7.2 Definisi Profil Balok dan Kolom

Penampang kolom dan balok di definisikan sebagai berikut :



Gambar 2.14 Properti Kolom dan Balok

Setelah material dan section properties sudah lengkap, langkah selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi semua ukuran balok dan kolom, beserta tulangan yang direncanakan untuk terpasang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2.15 Pemodelan Struktur Menggunakan Midas Gen

2.8 Perancangan Atap

Perancangan menggunakan kuda-kuda baja (frame) dengan bentuk atap limasan dan untuk penutup atap digunakan genteng metal.

2.8.1 Gording Atap

1. Perhitungan Gording

Data yang diketahui :

Baja 37 dengan Spesifikasi,

F_u : 370 MPa

F_y : 240 MPa

E : 200.000 MPa

G : 80.000 MPa

Gording kanal C dengan dimensi 100x50x20 (t: 2,8 mm) dengan spesifikasi,

A : 6,2 cm^2

Unit Weight :

I_x : 95 cm^4

I_y : 22 cm^4

Z_x : 19,1 cm^4

Jarak antar gording : 1 m

Sudut : 32°

Sina : 0,5299

$\cos \alpha$: 0,8480

Jarak Antar kuda-kuda : 4 m

Massa atap : 6,11 kg/m² (Genteng Metal Galvalum)

a. Rencana Pembebanan pada Gording

Berat sendiri : 0,05 kN/m²

Berat atap : 0,072 kN/m²

Berat plafond : 0,20 kN/m²

Dead Load : 0,05 + 0,072 + 0,20

: 0,321 kN/m²

Live Load : 1 kN/m²

2. Perancangan Sag Rod

Jumlah Gording (n) : 20

a. Rencana Pembebanan pada Sag Rod

Ft, Dead Load: $n \times \left(\frac{\text{jarak antar kuda-kuda}}{3} \times \text{dead load gording} \times \sin \alpha \right)$

: $20 \times \left(\frac{4}{3} \times 0,321 \times \sin 32^\circ \right)$

: 4,523 kN

Ft, Live Load : $\frac{n}{3} \times \text{live load gording} \times \sin \alpha$

: $\frac{20}{3} \times 1 \times \sin 32^\circ$

: 3,533 kN

1,4 D : 6,346 kN

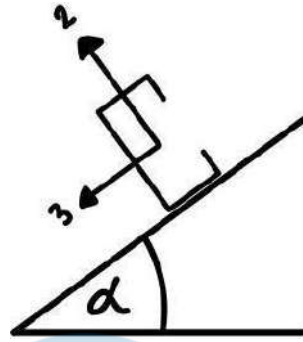
1,2 D + 1,6 L : 11,092 kN

A Sag Rod : $11,092 \times \frac{10^3}{240}$

: 46,2 kN

Diameter Sag Rod : 10 mm

3. Perhitungan Momen pada Gording



Gambar 2.16 Skesta Momen pada Gording

Beban Gording arah sumbu 2

$$M2, D : 1/8 q \cos \alpha L^2$$

$$: 0,544 \quad \text{kNm}$$

$$M2, L : 1/4 P \cos \alpha L$$

$$: 0,848 \quad \text{kNm}$$

$$1,4 M2, D : 0,762 \quad \text{kNm}$$

$$1,2 M2, D + 1,6 M2, L : 2,0097 \quad \text{kNm}$$

Beban Gording arah sumbu 3

$$M3, D : 1/8 q \sin \alpha (L/3)^2$$

$$: 0,038 \quad \text{kNm}$$

$$M3, L : 1/4 P \sin \alpha L/3$$

$$: 0,177 \quad \text{kNm}$$

$$1,4 M3, D : 0,053 \quad \text{kNm}$$

$$1,2 M3, D + 1,6 M3, L : 0,328 \quad \text{kNm}$$

4. Cek Tegangan pada gording

$$W3 = Zx : 19,100 \quad \text{mm}^3$$

$$Ww = Zy : 7100 \quad \text{mm}^3$$

$$Fb : 45,2 \quad \text{MPa}$$

5. Cek Defleksi Gording

$$I_3 = Ix : 950.000 \quad \text{mm}^4$$

$$I_2 = Iy : 220.000 \quad \text{mm}^4$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha L^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha L^3}{EI} = 5,27 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha (\frac{L}{3})^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha (\frac{L}{3})^3}{EI} = 0,176 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} = 5,274 \text{ mm}$$

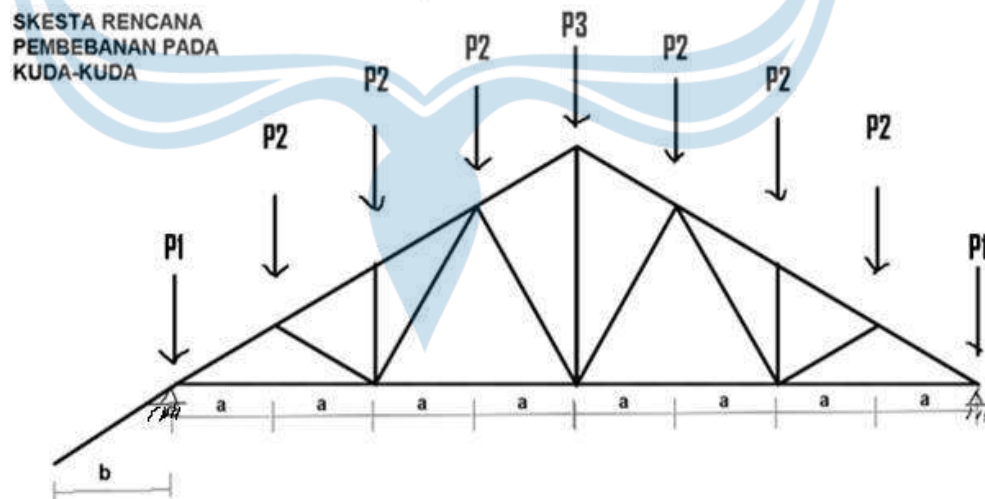
2.8.2 Kuda-Kuda Atap

1. Perhitungan Kuda-kuda

Data yang diketahui :

Jarak antar gording	: 1	m
Massa atap genteng metal	: 6,11	kg/m ²
Sudut	: 32°	
Sin α	: 0,529919264	
Cos α	: 0,848048096	
Jarak antar kuda-kuda	: 4	m
Massa plafond	: 20	kg/m ²
Berat gording	: 4,87	kg/m
Berat kuda-kuda	: 13,7	kg/m
	: 0,14	kN/m
Fy Baja	: 240	MPa
Tekanan Angin	: 100	kg/m ²

2. Rencana Pembebanan pada Kuda-kuda



Gambar 2.17 Skesta Pembebanan pada Kuda-kuda

a. Beban P1

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri kuda-kuda} &: \frac{a}{2} \times \text{berat kuda kuda} \\ &: \frac{2}{2} \times 0,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & : 0,14 \text{ kN} \\ \text{Berat gording} & : \text{Jarak antar kuda – kuda} \times \\ & \text{berat gording/m}' \end{aligned}$$

$$: 4 \times 0,05$$

$$: 0,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat atap} & : \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos\alpha} \times \text{Jarak antar kuda –} \\ & \text{kuda} \times \text{massa atap} \end{aligned}$$

$$: \frac{\left(\frac{2}{2}+2\right)}{0,848} \times 4 \times 0,0611$$

$$: 0,865 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat plafond} & : \left(\frac{a}{2} + b\right) \times \text{Jarak antar kuda –} \\ & \text{kuda} \times \text{massa plafond} \end{aligned}$$

$$: \left(\frac{2}{2} + 2\right) \times 4 \times 0,2$$

$$: 2,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban P1} & : 0,14 + 0,2 + 0,865 + 2,4 \\ & : 3,605 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. **Beban P2**

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} : a \times \text{berat kuda – kuda}$$

$$: 2 \times 0,14$$

$$: 0,28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat gording} & : \text{Jarak antar kuda – kuda} \times \\ & \text{berat gording/m} \end{aligned}$$

$$: 4 \times 0,05$$

$$: 0,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat atap} & : \frac{a}{\cos\alpha} \times \text{Jarak antar kuda –} \\ & \text{kuda} \times \text{massa atap} \end{aligned}$$

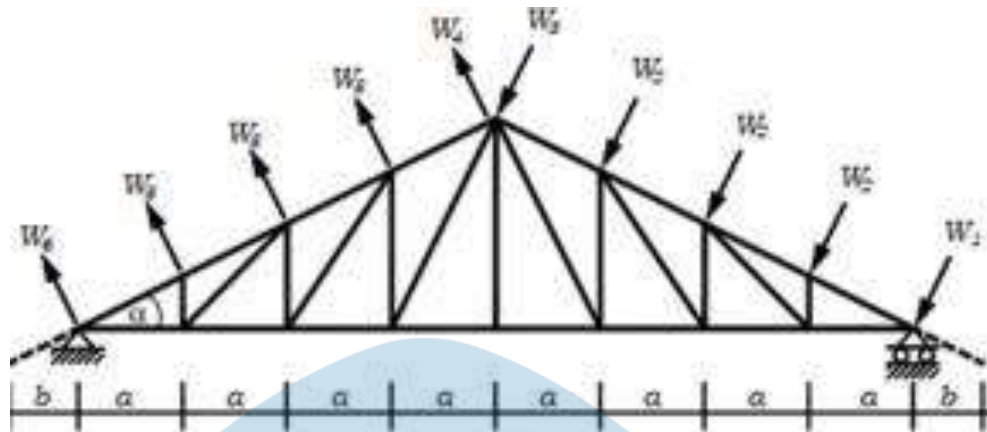
$$: \frac{2}{0,848} \times 4 \times 0,0611$$

$$: 0,576 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat plafond} & : a \times \text{jarak antar kuda –} \\ & \text{kuda} \times \text{berat plafond} \end{aligned}$$

	: $2 \times 4 \times 0,2$
	: 1,6 kN
Beban P2	: $0,28 + 0,195 + 0,576 + 1,6$
	: 2,645 kN
c. Beban P3	
Berat sendiri kuda-kuda	: $a \times \text{berat kuda-kuda}$
	: $2 \times 0,14$
	: 0,28 kN
Berat gording	: $2 \times \text{Jarak antar kuda} -$
<i>kuda</i> \times <i>berat gording/m</i>	: $2 \times 4 \times 0,05$
	: 0,4 kN
Berat atap	: $\frac{(a+b)}{\cos\alpha} \times \text{jarak antar kuda} -$
<i>kuda</i> \times <i>berat atap</i>	: $\frac{(2+2)}{0,848} \times 4 \times 0,0611$
	: 1,162 kN
Berat plafond	: $a \times \text{jarak antar kuda} -$
<i>kuda</i> \times <i>berat plafond</i>	: $2 \times 4 \times 0,2$
	: 1,6 kN
Beban P3	: $0,274 + 0,390 + 1,153 + 3,2$
	: 5,017 kN

3. Perhitungan Beban Angin



Gambar 2.18 Skesta pembebanan angin

Data yang diketahui :

h	: 5	m
L	: 16	m
h/L	: 0,31	m
Cti	: 0,21	
Cis	: -0,60	

a. Beban Angin yang ditinjau dari arah kanan

$$\text{Beban } W_1 : \text{Jarak antar gording} / 2 \times \cos \alpha \times C_{ti} \times$$

$$\text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: 2/2 \times \cos 32 \times 0,21 \times 4 \times 0,31$$

$$: 0,906 \quad \text{kN}$$

$$\text{Beban } W_2 : \text{Jarak antar gording} / \cos \alpha \times C_{ti} \times$$

$$\text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: 2 / \cos 32 \times 0,21 \times 4 \times 0,31$$

$$: 0,604 \quad \text{kN}$$

$$\text{Beban } W_3 : \frac{1}{2} \times \text{Jarak antar gording} / \cos \alpha \times C_{ti} \times$$

$$\text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: \frac{1}{2} \times 2 / \cos 32 \times 0,21 \times 4 \times 0,31$$

$$: 0,302 \quad \text{kN}$$

$$\text{Beban } W_4 : \frac{1}{2} \times (\text{Jarak antar gording} + b) / \cos \alpha \times C_{is} \times$$

$$\text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: \frac{1}{2} \times \frac{2+2}{\cos 32} \times -0,60 \times 4 \times 0,31$$

$$: -0,884 \quad \text{kN}$$

$$\text{Beban W5} : \frac{a}{\cos \alpha} \times \text{Cis} \times \text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: \frac{2}{\cos 32} \times -0,60 \times 4 \times 0,31$$

$$: -1,769 \quad \text{kN}$$

$$\text{Beban W6} : \frac{\frac{a}{2}+b}{\cos \alpha} \times \text{Cis} \times \text{Jarak antar kuda - kuda} \times \frac{h}{L}$$

$$: \frac{\frac{2}{2}+2}{\cos 32} \times -0,60 \times 4 \times 0,31$$

$$: -2,653 \quad \text{kN}$$

$$\text{Live Load} : 1 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{Beban Hujan: } 20 \text{ kg/m}^2 \times \text{Jarak gording}$$

$$: 20 \text{ kg/m}^2 \times 2$$

$$: 0,4 \quad \text{kN/m}^2$$

2.8.3 Profil Kuda-Kuda Atap

1. Penggunaan profil baja 2L

Dimensi baja yang digunakan,

$$H : 75 \quad \text{mm}$$

$$B : 75 \quad \text{mm}$$

$$t : 6 \quad \text{mm}$$

$$r1 : 8,5 \quad \text{mm}$$

$$r2 : 4 \quad \text{mm}$$

$$I_x=I_y : 46.100 \quad \text{cm}^4$$

$$i_x=i_y : 2,3 \quad \text{mm}$$

$$C_x=C_y : 20,6 \quad \text{mm}$$

$$T_p : 10 \quad \text{mm}$$

Spesifikasi Baja 37

$$F_u : 370 \quad \text{MPa}$$

$$F_y : 240 \quad \text{MPa}$$

$$E : 200.000 \quad \text{MPa}$$

$$K \text{ teoritis} : 1$$

$$K \text{ Desain} : 1$$

2.8.4 Gaya dalam Kuda-kuda

1. Kombinasi pembebanan pada batang :
 - a. $1,2D + 1,3 \text{ Whisap} + 0,5L$
 - b. $1,2D + 1,3 \text{ Wtekan} + 0,5L$
 - c. $1,2D + 1,6L$
 - d. $1,4D$



Gambar 2.19 Penamaan batang pada kuda-kuda atap

Tabel 2.18 Gaya dalam kuda-kuda

Batang Ekterior					
GAYA		BATANG	PANJANG		
TARIK	10,6774 kN	B1	L	4000	mm
TEKAN	87,2128 kN	D13	L	2358,5	mm
Batang Interior					
GAYA		BATANG	PANJANG		
TARIK	39,9133 kN	C2	L	5000	mm
TEKAN	22,36 kN	D9	L	4250	mm

2. Perhitungan Batang Interior

Dilakukan pengecekan pada batang tekan interior

- a. Pemeriksaan tekuk lentur

$$\lambda = 12,5$$

$$\lambda_r = 12,9$$

- b. Tekuk lentur torsi (terhadap sumbu x-x)

$$\frac{KL}{r_x} = 184,783$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 57,811$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,9660$$

$$\frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$F_{cr} = 0,887 F_e = 51,2780 \text{ MPa}$$

- c. Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi

$$\frac{a}{r} = 184,783$$

$$\frac{a}{r} > 40, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} = 261,322$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 28,9053$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$F_{cry} = 0,887 F_e = 25,639 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_0^2} = 320,729 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 25,1744 \text{ MPa}$$

- d. Kekuatan Tekan Desain

$$F_{cr} = 51,278 \text{ MPa (pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 25,174 \text{ MPa (pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi)}$$

$$\text{Dipilih} = 25,1744595 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 39,5456 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n > P_u = \text{Aman}$$

Dilakukan pengecekan pada batang tarik interior

a. $\lambda = \frac{L}{r} < 300$

$$\lambda = \frac{L}{r} = 217,3913$$

217,3913 < 300, maka OK

b. Pemeriksaan leleh tarik

$$\phi P_n = 0.9 * F_y A_g = 377,0064 \text{ MPa}$$

c. Pemeriksaan kondisi faktor

$$D \text{ lubang} = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$$

$$A_n = 1637,4 \text{ mm}^2$$

$$A_e = 1391,79 \text{ mm}^2$$

$$P_n = 514,9623 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,75 \times \phi P_n = 386,2217 \text{ kN}$$

Diambil ϕP_n terkecil dari leleh tarik dan kondisi faktor

Dipilih $\phi P_n = 377,0064 \text{ MPa}$

$\phi P_n > P_u = \text{aman}$

3. Perhitungan batang eksterior

Dilakukan pengecekan pada batang tekan eksterior

a. Pemeriksaan tekuk lentur

$$\lambda = 12,5$$

$$\lambda_r = 12,9$$

b. Tekuk lentur torsi (terhadap sumbu x-x)

$$\frac{KL}{r_x} = 102,543$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 187,7213$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,9660$$

$$\frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$F_{cr} = 0,887 F_e = 166,5088 \text{ MPa}$$

c. Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi

$$\frac{a}{r} = 102,5434$$

$$\frac{a}{r} > 40, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} = 145,0183$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 93,8607$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}, \text{ maka OK}$$

Jika OK,

$$F_{cry} = 0,887 F_e = 83,2644 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_0} = 320,729 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = 77,8486 \text{ MPa}$$

d. Kekuatan Tekan Desain

$$F_{cr} = 166,5088 \text{ MPa} \quad (\text{pemeriksaan tekuk lentur})$$

$$F_{cr} = 77,8486 \text{ MPa} \quad (\text{pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi})$$

$$\text{Dipilih} = 77,8486 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 122,2893 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n > P_u = \text{Aman}$$

Dilakukan pengecekan pada batang tarik eksterior

a. $\lambda = \frac{L}{r} < 300$

$$\lambda = \frac{L}{r} = 173,913$$

$$173,913 < 300, \text{ maka OK}$$

b. Pemeriksaan leleh tarik

$$\phi P_n = 0,9 \times F_y A_g = 377,0064 \text{ MPa}$$

c. Pemeriksaan kondisi faktor

$$D \text{ lubang} = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_n &= 1637,4 \quad \text{mm}^2 \\
 A_e &= 1391,79 \quad \text{mm}^2 \\
 P_n &= 514,9623 \quad \text{kN} \\
 \phi P_n &= 0,75 \times \phi P_n = 386,2217 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

Diambil ϕP_n terkecil dari leleh tarik dan kondisi faktor

$$\text{Dipilih } \phi P_n = 377,0064 \quad \text{MPa}$$

$$\phi P_n > P_u = \text{aman}$$

2.8.5 Perhitungan Sambungan Baut

Dimensi pelat

$$t = 10 \quad \text{mm}$$

$$b = 75 \quad \text{mm}$$

Lubang baut, Baut A307

$$D_b = 16 \quad \text{mm}$$

$$B_j = 37$$

$$F_y = 188 \quad \text{MPa}$$

$$F_u = 310 \quad \text{MPa}$$

$$A_{g_{\text{baut}}} = 201,0619 \quad \text{mm}^2$$

$$A_{g_{\text{pelat}}} = 750 \quad \text{mm}^2$$

$$A_n = A_e = 390 \quad \text{mm}^2$$

$$0,85A_n = 637,5 \quad \text{mm}^2$$

Baut diletakkan dalam satu baris

1. Menghitung Leleh

$$\phi P_n = 126900 \quad \text{N}$$

$$= 126,900 \quad \text{kN}$$

2. Menghitung Fraktur

$$\phi P_n = 90675 \quad \text{N}$$

$$= 90,675 \quad \text{kN}$$

3. Kuat Geser Baut

Double Shear Cut

$$\phi R_n = 56699,4642 \quad \text{N}$$

$$= 56,6995 \quad \text{kN}$$

4. Kuat Tumpu Baut

$$\begin{aligned} \text{Spasi} &= 3db = 48 \approx 50 \text{ mm} \\ l_c &= 25 \text{ mm} \\ R_n &= 1,2l_c \times t \times F_u = 93000 \text{ N} \\ &= 93000 \text{ N} = 93 \text{ kN} \\ R_n &= 2,4db \times t \times F_u \\ &= 142080 \text{ N} = 142,08 \text{ kN} \\ \emptyset R_n &= 106,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipilih terkecil yaitu 56,6995 kN

5. Perhitungan Jumlah Baut

Komponen struktur mengalami gaya tarik sebesar 90,675 kN

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut} &= 90,675/56,6995 \\ &= 1,5992 \approx 2 \text{ baut} \end{aligned}$$

Digunakan 2 baut

2.9 Perancangan Tangga

1. Preliminary Desain Tangga

Preliminary Desain Tangga 1

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Panjang Tangga} &= 3520 \text{ mm} \\ \text{Lebar bordes} &= 1000 \text{ mm} \\ \text{Optrede (O)} &= 200 \text{ mm} \\ \text{Antrede (A)} &= 280 \text{ mm} \\ \text{Tebal pelat tangga (htg)} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Tinggi antar lantai (het)} &= 4000 \text{ mm} \\ \text{Tebal pelat bordes} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Kemiringan tangga} &= 35,537^\circ \end{aligned}$$

Tinggi beban merata tangga

$$t' = \frac{(0,5 \cdot O \cdot A)}{\sqrt{O^2 \cdot A^2}} = \frac{(0,5 \cdot 200 \cdot 280)}{\sqrt{200^2 \cdot 280^2}} = 81,37 \text{ mm}$$

$$h = htg + t'$$

$$= 150 + 81,37$$

$$= 231,37 \text{ mm}$$

$$h' = 284,34 \text{ mm}$$

Preliminary Desain Tangga 2

Diketahui:

$$\text{Panjang Tangga} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar bordes} = 2480 \text{ mm}$$

$$\text{Optrede (O)} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Antrede (A)} = 280 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat tangga (htg)} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi antar lantai (het)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat bordes} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Kemiringan tangga} = 35,537^\circ$$

Tinggi beban merata tangga

$$t' = \frac{(0,5 \cdot O \cdot A)}{\sqrt{O^2 \cdot A^2}} = \frac{(0,5 \cdot 200 \cdot 280)}{\sqrt{200^2 \cdot 280^2}} = 81,37 \text{ mm}$$

$$h = htg + t'$$

$$= 150 + 81,37$$

$$= 231,37 \text{ mm}$$

$$h' = 284,34 \text{ mm}$$

2. Pembebanan Tangga

Pembebanan tangga tipe 1

$$\text{Berat volume beton} = 24$$

$$\text{Berat volume ubin} = 21$$

Maka didapatkan hasil :

Beban qtg :

$$\text{Berat pelat + anak tangga} = \frac{284,34}{1000} \times 24 = 6,82 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat spesi} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing (diperkirakan)} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sum \text{Beban } qtg = 8,48 \text{ kN/m}^2$$

Beban qbd :

Berat pelat + anak tangga = $0,15 \times 24 = 3,60 \text{ kN/m}^2$

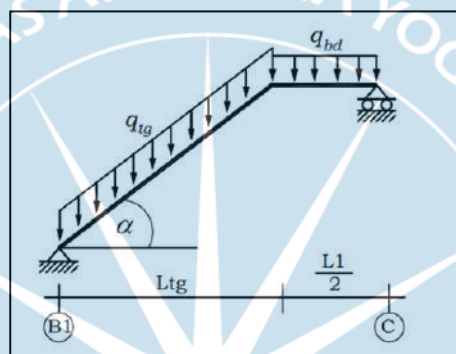
Berat spesi = $0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$

Berat ubin = $0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$

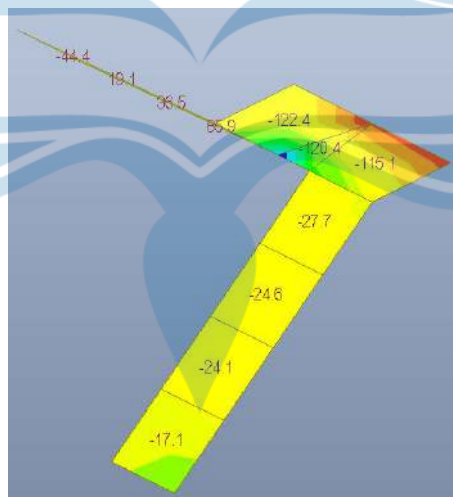
Berat railing (diperkirakan) = 1 kN/m^2

Beban hidup = $4,79 \text{ kN/m}^2$

$$\sum \text{Beban } qbd = 5,26 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 2.20 Beban Merata Tangga



Gambar 2.21 Pemodelan tangga dengan midas gen

Pembebanan tangga tipe 2

Berat volume beton = 24

Berat volume ubin = 21

Maka didapatkan hasil :

Beban q_{tg} :

$$\text{Berat pelat + anak tangga} = \frac{284,34}{1000} \times 24 = 6,82 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat spesi} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing (diperkirakan)} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sum \text{Beban } q_{tg} = 8,48 \text{ kN/m}^2$$

Beban q_{bd} :

$$\text{Berat pelat + anak tangga} = 0,15 \times 24 = 3,60 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat spesi} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing (diperkirakan)} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sum \text{Beban } q_{bd} = 5,26 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

3. Penulangan Tangga

Penulangan Tangga 1

Berdasarkan kombinasi beban terbesar

$$M_{u1} = 85,90 \text{ kNm}$$

$$M_{u2} = 101,80 \text{ kNm}$$

Dipilih 101,80 kNm

$$V_{u1} = 49,10 \text{ kN}$$

$$V_{u2} = 58,50 \text{ kN}$$

Dipilih 58,50 kN

Direncanakan tulangan pokok D16, $A_s = 201,06 \text{ mm}^2$

Direncanakan tulangan susut P8, $A_s = 50,27$

F_y tulangan pokok = 420 MPa

F_y tulangan susut = 280 MPa

$B = 1000 \text{ mm}$

$$d = h_{tg} - p - (1/2, \phi)$$

$$= 150 - 25 - (0,5, 16) = 117 \text{ mm} = 0,117 \text{ m}$$

Rencana Penulangan Tumpuan

$$Mu_x = 0,5 \times 101,80 = 50,90 \text{ kNm} = 50900000 \text{ Nmm}$$

$$\rho = \frac{0,85f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 50900000}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot 117^2}}\right)$$

$$= 0,0107968$$

$$As_{\text{min}} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0107968 \times 1000 \times 117 = 1263,23 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{As} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{1263,23} = 159,17 \text{ mm}$$

Digunakan D16 - 100

Cek gaya geser :

$$Vc = 0,17 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 117 = 108,94 \text{ kN}$$

$$\phi Vc = 0,75 Vc = 0,75 \times 108,94 = 81,71 \text{ kN}$$

Tulangan Susut

$$As_{\text{min}} = 300 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{50,27 \cdot 1000}{300} = 167,55 \text{ mm}$$

Tulangan susut P8-150

Rencana Penulangan Lapangan

$$Mu_x = 0,8 \times 101,80 = 81,44 \text{ kNm} = 81440000 \text{ Nmm}$$

$$D = h - p - \left(\frac{1}{2} \cdot \phi\right)$$

$$= 150 - 25 - (0,5 \cdot 16) = 117 \text{ mm} = 0,117 \text{ m}$$

$$\rho = \frac{0,85f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7 \cdot \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 81440000}{1,7 \cdot 0,9 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot 117^2}}\right)$$

$$= 0,0185827$$

$$As_{\text{min}} = 0,002bh = 0,002 \times 1000 \times 150 = 300 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0185827 \times 1000 \times 117 = 2174,17 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{As} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{2174,17} = 92,48 \text{ mm}$$

Digunakan D16-80

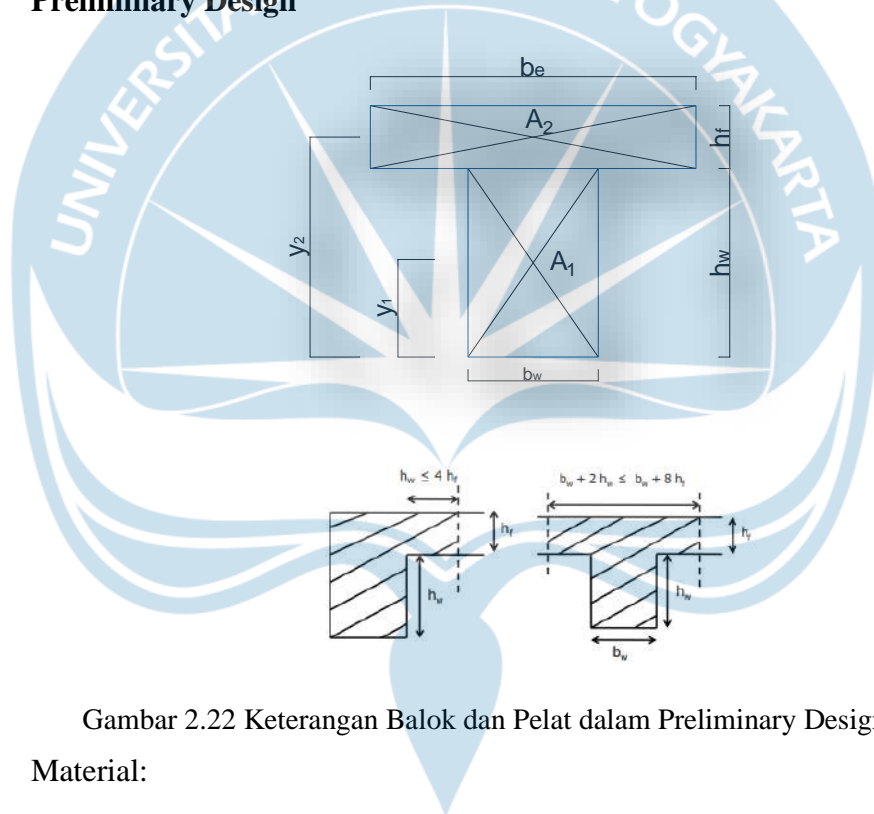
Tulangan Susut

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 300 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{50,27 \cdot 1000}{300} = 167,55 \text{ mm} \\ \text{Tulangan susut P8-150} \end{aligned}$$

2.10 Perancangan Pelat

Desain pelat lantai dilakukan berdasarkan SNI 2847-2019 dan PBI 1971 untuk menghitung momen, Pada BAB ini disajikan langkah-langkah perhitungan/desain pelat lantai tipe A (tebal 200 mm), Selanjutnya desain pelat lantai tipe yang lainnya dilakukan dengan langkah perhitungan yang sama.

1. Preliminary Design



Gambar 2.22 Keterangan Balok dan Pelat dalam Preliminary Design

Material:

$$\begin{aligned} f'_c &= 30 \text{ MPa} \\ f_y &= 420 \text{ MPa} \\ E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{30} = 25,743 \text{ MPa} \\ F_y &= 420 \text{ MPa} \\ b_w &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$ht = 550 \text{ mm}$$

$$hf = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}hw &= ht - hf \\ &= 550 - 200 \\ &= 350 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}be\ 1 &= bw + 2 \times hw \\ &= 400 + 2 \times 350 \\ &= 1100 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}be\ 2 &= bw + 8 \times hf \\ &= 400 + 8 \times 200 \\ &= 2000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$be\ use = 1100 \text{ mm}$$

2. Identifikasi & kontrol ketebalan pelat

Pelat Tipe E

$$Lx = 8000 \text{ mm}$$

$$Ly = 9250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}Ly/Lx &= 9250/8000 \\ &= 1,15625\end{aligned}$$

$$Ly/Lx \leq 2 \text{ maka pelat 2 arah}$$

$$\begin{aligned}Ln\ x &= Lx - bw \\ &= 8000 - 400 \\ &= 7600 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Ln\ y &= Ly - bw \\ &= 9250 - 400 \\ &= 8850 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$I_n = 8850 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat } x} &= 1/12 \times L_x \times h_f^3 \\ &= 1/12 \times 8000 \times 200^3 \\ &= 5333333333 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat } y} &= 1/12 \times L_y \times h_f^3 \\ &= 1/12 \times 9250 \times 200^3 \\ &= 6166666667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= I_{\text{balok}} / I_{\text{pelat } x} \\ &= 8632638889 / 5333333333 \\ &= 1,618619792 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= I_{\text{balok}} / I_{\text{pelat } y} \\ &= 8632638889 / 6166666667 \\ &= 1,399887387 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{fm} &= (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \\ &= (1,618619792 + 1,399887387) / 2 \\ &= 1,50925259 \quad (\alpha_{fm} < 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= L_n y / L_n x \\ &= 8850 / 7600 \\ &= 1,164 \end{aligned}$$

$$h_{\text{min}} = 177,7884563 \text{ mm}$$

$$h_{\text{min}} < h_f$$

$$143,7329722 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$$

(Aman)

Pelat Tipe J

$$L_x = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_y &= 9250 \text{ mm} \\
 L_y/L_x &= 9250/4000 \\
 &= 2,3125 \\
 L_y/L_x &\geq 2 \text{ maka pelat 1 arah} \\
 L_n x &= L_x - b_w \\
 &= 4000 - 400 \\
 &= 3600 \text{ mm} \\
 L_n y &= L_y - b_w \\
 &= 9250 - 400 \\
 &= 8850 \text{ mm} \\
 I_n &= 8850 \text{ mm} \\
 I_{\text{pelat } x} &= 1/12 \times L_x \times h_f^3 \\
 &= 1/12 \times 3600 \times 200^3 \\
 &= 2666666667 \text{ mm}^4 \\
 I_{\text{pelat } y} &= 1/12 \times L_y \times h_f^3 \\
 &= 1/12 \times 9250 \times 200^3 \\
 &= 6166666667 \text{ mm}^4 \\
 \alpha 1 &= I_{\text{balok}}/I_{\text{pelat } x} \\
 &= 8632638889/2666666667 \\
 &= 3,237239583 \text{ mm}^4 \\
 \alpha 2 &= I_{\text{balok}}/I_{\text{pelat } y} \\
 &= 8632638889/6166666667 \\
 &= 1,399887387 \text{ mm}^4 \\
 \alpha_{\text{fm}} &= (\alpha 1 + \alpha 2)/2 \\
 &= (3,237239583 + 1,399887387)/2
 \end{aligned}$$

$$= 2,318563485 (\alpha_{fm} > 2)$$

$$\beta = \ln y / \ln x$$

$$= 8850 / 3600$$

$$= 2,458$$

$$h_{\min} = 167,483871 \text{ mm}$$

$$h_{\min} < h_f$$

$$167,483871 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$$

(Aman)

3. Desain Pelat Lantai

Desain pelat lantai dilakukan berdasarkan SNI 284 7:2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Pada bab ini disajikan prosedur perhitungan/desain pelat lantai tipe II (tebal 200 mm). Selanjutnya desain pelat lantai tipe lainnya dilakukan dengan prosedur perhitungan yang sama. Perhitungan Tebal Plat dan Tulangan Negatif.

Tabel 2. 19 Data Pelat Lantai

Bentang	Ly (m)	Lx (m)	Ly/Lx	Fc (MPa)	Fy (MPa)	Jenis Plat	Tebal Plat asumsi (mm)
E	9,25	8,0	1,16	25	420	Plat 2 Arah	200
J	8,00	5,50	1,45	25	420	Plat 1 Arah	200

Bentang	bw (mm)	hb (mm)	ha (mm)	bw+2h b	bw+8h a	Luas bagian sayap	Luas bagian badan	Total	Y bar	Ib
---------	------------	------------	------------	------------	------------	-------------------------	-------------------------	-------	-------	----

E	400	177,78	200	755,56	2000	$14 \cdot 10^4$	$22 \cdot 10^4$	$36 \cdot 10^4$	343,056	8632638889
J	300	139,56	200	579,12	1900	$10,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$30,5 \cdot 10^4$	355,328	6945508880

Momen inersia panjang I (mm ⁴)	α_{fd}	Momen inersia pendek I (mm ⁴)	α_{fs}	α_{fm}	β	h min	H pakai
$5,3 \cdot 10^9$	1,62	$6,16 \cdot 10^9$	1,40	1,51	1,16	177,79	200
$3,6 \cdot 10^9$	1,89	$5,3 \cdot 10^9$	1,30	1,60	1,48	139,56	200

Perhitungan Pelat Lantai 2 arah

PLAT LANTAI E

L_y	9250	M_{lx}
L_x	8000	M_{tx}
ht	200	M_{ly}
L_y/L_x	1,156	M_{ty}

Beban Plat Lantai

Berat Sendiri Plat Lantai = $7,18 \text{ kN/m}^2$

Berat Finishing Lantai = $0,41 \text{ kN/m}^2$

Berat Keramik = $0,48 \text{ kN/m}^2$

Berat Spesi = $0,69 \text{ kN/m}^2$

Berat Plafon = 0,2 kN/m²
 Berat Instalasi ME = 0,2 kN/m²
 Total Beban Mati = 9,16 kN/m²

Pembebanan Plat

q_d (beban mati) = 9,16 kN/m²
 q_l (beban hidup) = 4,79 kN/m²
 q_u = 18,656 kN/m²

Tebal Minimum Pelat :	
Mutu beton kolom dan balok (f_c) =	25 Mpa
Mutu beton pelat (f_{cs}') =	25 Mpa
Mutu baja tulangan (F_y) =	420 Mpa
Modulus Elastisitas Beton (E_c) =	23500 Mpa
Modulus Elastisitas Pelat (E_{cs}) =	23500 Mpa
Koefesien F_y =	0,8
Tebal Pelat =	120 mm
Tebal Selimut (t_s) =	20 mm
Diameter tulangan lentur =	10 mm
Diameter tulangan susut =	8 mm

Gambar 2.23 Syarat Minimum Pelat

Arah Memanjang	
L ₂ /L ₁	1,156
α_{fm}	1,51
$\alpha_{fm.l2/l1}$	1,745074463

Tabel 2.20 Koefisien Lajur Kolom dan Lajur Tengah

$\alpha_1 l_2 / l_1$	l_2 / l_1		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan

Perhitungan Koefisien

Koefisien (+ & -) = 0,70 (lajur kolom)
 = 0,30 (lajur tengah)

Pada Lajur Kolom

$$-0,65 \times \text{Mol} \times \text{Koef} + \text{M}+ = 667,8070059 \text{ kNm}$$

$$-0,65 \times \text{Mol} \times \text{Koef} - \text{M}- = 569,4339544 \text{ kNm}$$

Pada Lajur Tengah

$$-0,35 \times \text{Mol} \times \text{Koef} + \text{M}+ = 151,8262082 \text{ kNm}$$

$$-0,35 \times \text{Mol} \times \text{Koef} - \text{M}- = 151,8262082 \text{ kNm}$$

Tabel 2.21 Bagian Momen Lajur Kolom Mu pada Balok

$a_2 l_2 / l_1$	Koefisien distribusi
0	0
$\geq 1,0$	0,85

Catatan: Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan.

Digunakan Koefisien Distribusi sebesar 0,85

Keterangan	Negatif	Positif	Satuan
M balok	484,0188612	567,635955	kNm
M pelat (lk)	85,415	100,171	kNm
M balok + pelat	569,4339544	667,8070059	kNm
M lajur tengah	151,826	151,826	kNm

Arah Memendek	
L_2/L_1	1,156
α_{fm}	1,51
$\alpha_{fm} \cdot L_2/L_1$	1,745074463

$$\text{Koefisien (+ \& -)} = 0,70 \text{ (lajur kolom)}$$

$$= 0,30 \text{ (lajur tengah)}$$

Pada Lajur Kolom

$$-0,65 \times \text{Mol} \times \text{Koef} + \text{M}+ = 569,4339544 \text{ kNm}$$

$$-0,65 \times \text{Mol} \times \text{Koef} - \text{M}- = 569,4339544 \text{ kNm}$$

Pada Lajur Tengah

$$-0,35 \times \text{Mol} \times \text{Koef} + \text{M}+ = 129,4610529 \text{ kNm}$$

$$-0,35 \times \text{Mol} \times \text{Koef} - \text{M}- = 129,4610529 \text{ kNm}$$

Digunakan Koefisien Distribusi sebesar 0,85

Keterangan	Negatif	Positif	Satuan
M balok	484,0188612	484,0188612	kNm
M pelat (lk)	85,415	85,415	kNm
M balok + pelat	569,4339544	569,4339544	kNm
M lajur tengah	129,461	129,461	kNm

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memanjang pada Lajur Tengah (-)

b pelat = 1000 mm

t pelat = 200 mm

D. Tulangan = 19 mm

Selimit Beton = 20 mm

dy = 151,5 mm

f'c = 30 Mpa

Fy = 420 Mpa

Mu (lt-) = 151,83 kNm

$$\rho = \frac{0,85f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f'cbd^2}} \right]$$

= 0,0212014

As = 3212,02 mm²

As min 1 = 360 mm²

As min 2 = 280 mm²

As min use = 360 mm²

$$S = S = \frac{0,25\pi d^2 b}{As}$$

= 88,27 mm

S use = 90 mm

S use < 3h

90 < 600 (AMAN)

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memanjang pada Lajur Tengah (+)

b pelat = 1000 mm

t pelat = 200 mm

D. Tulangan = 19 mm

Selimit Beton = 20 mm

$$\begin{aligned} d_y &= 151,5 \text{ mm} \\ f'_c &= 30 \text{ Mpa} \\ F_y &= 420 \text{ Mpa} \\ \mu (l_t+) &= 151,83 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\mu}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= 0,0212014 \end{aligned}$$

$$A_s = 3212,02 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 360 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 280 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min use}} = 360 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} S &= S = \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s} \\ &= 88,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{ use}} = 90 \text{ mm}$$

$$S_{\text{ use}} < 3h$$

$$90 < 600 \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memendek Lajur Tengah (-)

$$b_{\text{ pelat}} = 1000 \text{ mm}$$

$$t_{\text{ pelat}} = 200 \text{ mm}$$

$$D_{\text{ Tulangan}} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$d_x = 151,5 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\mu (l_t-) = 129,46 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4\mu}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right] \\ &= 0,0136127 \end{aligned}$$

$$A_s = 2062,32 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 360 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 280 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min use}} = 360 \text{ mm}^2$$

$$S = S = \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s}$$

$$= 137,48 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} = 140 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} < 3h$$

$$140 < 600 \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memendek pada Lajur Tengah (+)

$$b \text{ pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$t \text{ pelat} = 200 \text{ mm}$$

$$D. \text{ Tulangan} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$d_x = 170,5 \text{ mm}$$

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

$$F_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$M_u \text{ (lt-)} = 129,46 \text{ kNm}$$

$$\rho = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}} \right]$$

$$= 0,0136127$$

$$A_s = 2062,32 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 360 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 280 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min use}} = 360 \text{ mm}^2$$

$$S = S = \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s}$$

$$= 137,48 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} = 140 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} < 3h$$

$$140 < 600 \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memanjang pada Lajur Kolom (-)

$$b \text{ pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$t \text{ pelat} = 200 \text{ mm}$$

$$D. \text{ Tulangan} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$d_y = 151,5 \text{ mm}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

$$Fy = 420 \text{ Mpa}$$

$$Mu \text{ (lk-)} = 85,42 \text{ kNm}$$

$$\rho = \rho = \frac{0,85f'c}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f'cbd^2}} \right]$$

$$= 0,0108068$$

$$As = 1637,23 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min 1} = 360 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min 2} = 280 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min use} = 360 \text{ mm}^2$$

$$S = S = \frac{0,25\pi d^2 b}{As}$$

$$= 173,18 \text{ mm}$$

$$S \text{ use} = 180 \text{ mm}$$

$$S \text{ use} < 3h$$

$$180 < 600 \text{ (AMAN)}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memanjang pada Lajur Kolom (+)

$$b \text{ pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$t \text{ pelat} = 200 \text{ mm}$$

$$D. \text{ Tulangan} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$dy = 151,5 \text{ mm}$$

$$f'c = 30 \text{ Mpa}$$

$$Fy = 420 \text{ Mpa}$$

$$Mu \text{ (lk-)} = 85,42 \text{ kNm}$$

$$\rho = \rho = \frac{0,85f'c}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f'cbd^2}} \right]$$

$$= 0,0108068$$

$$As = 1637,23 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min 1} = 360 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min 2} = 280 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min use} = 360 \text{ mm}^2$$

$$S = S = \frac{0,25\pi d^2 b}{As}$$

$= 173,18 \text{ mm}$
 S use $= 180 \text{ mm}$
 S use $< 3h$
 $180 < 600$ (AMAN)

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memendek pada Lajur Kolom (-)

b pelat $= 1000 \text{ mm}$

t pelat $= 200 \text{ mm}$

D. Tulangan $= 19 \text{ mm}$

Selimut Beton $= 20 \text{ mm}$

dx $= 170,5 \text{ mm}$

f'c $= 30 \text{ Mpa}$

Fy $= 420 \text{ Mpa}$

Mu (lk-) $= 85,42 \text{ kNm}$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f'c b d^2}} \right]$$

$$= 0,0083468$$

As $= 1264,55 \text{ mm}^2$

As min 1 $= 360 \text{ mm}^2$

As min 2 $= 280 \text{ mm}^2$

As min use $= 360 \text{ mm}^2$

$$S = \frac{0,25\pi d^2 b}{As}$$

$$= 224,21 \text{ mm}$$

S use $= 230 \text{ mm}$

S use $< 3h$

$230 < 600$ (AMAN)

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memendek pada Lajur Kolom (+)

b pelat $= 1000 \text{ mm}$

t pelat $= 200 \text{ mm}$

D. Tulangan $= 19 \text{ mm}$

Selimut Beton $= 20 \text{ mm}$

dx $= 170,5 \text{ mm}$

f'c $= 30 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 F_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 M_u \text{ (lk-)} &= 85,42 \text{ kNm} \\
 \rho &= \rho = \frac{0,85f'c}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'c b d^2}} \right] \\
 &= 0,0083468 \\
 A_s &= 1264,55 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min 1} &= 360 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min 2} &= 280 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min use} &= 360 \text{ mm}^2 \\
 S &= S = \frac{0,25\pi d^2 b}{A_s} \\
 &= 224,21 \text{ mm} \\
 S \text{ use} &= 230 \text{ mm} \\
 S \text{ use} &< 3h \\
 230 &< 600 \text{ (AMAN)}
 \end{aligned}$$

Rekap	Arah Memanjang				Arah Memendek			
	Lajur Tengah		Lajur Kolom		Lajur Tengah		Lajur Kolom	
	M -	M +	M -	M +	M -	M +	M -	M +
Mu	151,8 2	151,8 2	85,42	85,42	129,46	129,46	85,42	85,42
ρ	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
As	3212,02	3212,02	1674,40	1674,40	2062,32	2062,32	1285,40	1285,40
As min	360	360	360	360	360	360	360	360
S	90	90	180	180	140	140	230	230
Digunakan	D19 - 50	D19 - 50	D19 - 150	D19 - 150	D19 - 100	D19 - 100	D19 - 200	D19 - 200

Perhitungan Pelat Lantai 1 arah

PLAT LANTAI J

Ly	9250	Mlx
Lx	4000	Mtx

ht	200	Mly
Ly/Lx	2,31	Mty

Analisis Beban Plat Lantai

Berat Sendiri	= 4,01952 kN/ m ²
Berat Finishing	= 1,1 kN/m ²
Berat Plafon	= 0,2 kN/m ²
Berat Instalasi ME	= 0,5 kN/m ²
Total Beban Mati	= Berat Sendiri Plat Lantai + Berat Finishing + Berat Plafon + Berat Instalasi ME
	= 5,81952 kN/m ²
qd (beban mati)	= 5,81952 kN/m ²
ql (beban hidup)	= 4,79 kN/m ²
qu	= 14,647424 kN/m ²
LL	= 4,79 kN/m ²
LL < 3DL (Aman)	
qu 1	= 1,4 x Total DL
	= 1,4 x 5,81952
	= 8,147328 kN/m ²
qu 2	= 1,2 x Total DL + 1,6 x LL
	= 1,2 X 5,81952 + 1,6 X 4,79
	= 14,647424 kN/m ²
qu (dipilih)	= 14,647424 kN/m ²
M -	= 1/11 X qu X ln ²
	= -17257328,6 Nmm (Tumpuan)
M +	= 1/16 X qu X ln ²

$$= 11864413,44 \text{ Nmm (Lapangan)}$$

$$V_u = 1,15 \times q_u \times l_n/2$$

$$= 30320,16768 \text{ N}$$

Kuat Geser Beton

$$b \text{ pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$h \text{ pelat} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$D_s = 175 \text{ mm}$$

$$\phi V_c = 122210,5956 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u \text{ (Aman)}$$

Koefisien Tahanan Lentur

$$K_1 = 0,626 \text{ (Tumpuan)}$$

$$K_2 = 0,430 \text{ (Lapangan)}$$

Rasio Penulangan

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho \text{ (tumpuan)} = 0,001510$$

$$\rho \text{ maks} = 0,018579$$

$$\rho \text{ (Lapangan)} = 0,001034$$

$$\rho \text{ maks} = 0,018579$$

Kebutuhan Tulangan – Tumpuan

$$A_s = 264,166 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min 1} = 315 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min 2} = 245 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min use} = 315 \text{ mm}^2$$

$$S = 249,33 \text{ mm}$$

$$S \text{ use} = 250 \text{ mm}$$

$$S \text{ use} < 3h \text{ Aman}$$

Digunakan D10 – 350 Tulangan Tarik

$$S = 249,33 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} = 250 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} < 3h \text{ Aman}$$

Digunakan D10 – 350 Tulangan Bagi

Kebutuhan Tulangan – Lapangan

$$A_s = 180,896 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 315 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 245 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min use}} = 315 \text{ mm}^2$$

$$S = 249,33 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} = 250 \text{ mm}$$

$$S_{\text{use}} < 3h \text{ Aman}$$

Digunakan D10 – 350 Tulangan Tarik

Rekap	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
k	0,626	0,430	0,626
Mu	-17257328,64	11864413,44	-17257329
ρ	0,001510	0,001034	0,001510
As	264,166	180,896	264,166
As min	315	315	315
S	250	250	250
Digunakan (tarik)	D10 - 350	D10 - 350	D10 - 350
Digunakan (bagi)	D10 - 350	-	D10 - 350

2.11 Perancangan Balok dan Kolom

2.11.1 Perancangan Balok Induk 1

Desain penulangan balok direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847=2019 dengan gaya dalam dari hasil pemodelan struktur pada software.

Contoh perhitungan menggunakan Balok Induk 1 dengan data:

1. Panjang balok (L) = 8000 mm
2. Lebar balok (b) = 400 mm
3. Tinggi balok (h) = 550 mm

4. Panjang tumpuan $= 2 \times 1/4L = 2 \times 1/4 \times 8000 = 4000 \text{ mm}$
5. Diameter Tul Longitudinal (db) $= 22 \text{ mm}$
6. Diameter Tul Pinggang (dbt) $= 10 \text{ mm}$
7. Diameter Tul Sengkang (ds) $= 10 \text{ mm}$
8. Selimut bersih (cc) $= 40 \text{ mm}$
9. Tinggi efektif balok (d) $= h - cc - ds - db/2$
 $= 550 - 40 - 10 - 22/2 = 489 \text{ mm}$
10. Kuat tekan beton (fc') $= 30 \text{ MPa}$
11. Kuat Leleh Tul Longitudinal (fy) $= 420 \text{ MPa}$
12. Kuat Leleh Tul Transversal (fy) $= 280 \text{ MPa}$
13. β_1 $= 0,85$
14. Panjang kolom (c1) $= 500 \text{ mm}$
15. Lebar Kolom (c2) $= 500 \text{ mm}$
16. L_n $= L - c1 = 8000 - 5000 = 3000 \text{ mm}$
17. λ $= 1$, karena tidak menggunakan beton ringan

Gaya Dalam Balok, output dari software MidasGen

1. M_u , tumpuan (-) $= -524,5 \text{ kN-m}$
2. M_u , tumpuan (+) $= 524,5 \text{ kN-m}$
3. M_u , lapangan (-) $= -292,17 \text{ kN-m}$
4. M_u , lapangan (-) $= 283,95 \text{ kN-m}$
5. V_u , tumpuan $= 259,580 \text{ kN}$
6. V_u , lapangan $= 259,580 \text{ kN}$
7. V_g $= 232,190 \text{ kN}$

a. **Penulangan Lentur Balok Daerah Tumpuan**

Tumpuan Negatif

- | | | |
|---------|-----------------|-----|
| M_u^- | $= 524,5$ | kNm |
| a | $= 135,6576059$ | mm |
| c | $= 159,5971834$ | mm |
| c max | $= 183,375$ | mm |

Menggunakan $\phi = 0.9$

$$e_s = e_t = 0,006$$

$e_t > 0,005$, maka terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan:

$$A_s \text{ perlu} = 3294,541857 \text{ mm}^2$$

$$n = 8,666820194 \text{ buah}$$

$$\text{(Dibulatkan)} = 9 \text{ buah}$$

$$\text{Digunakan } 9D22$$

Cek terhadap as min dan as max=

$$A_s \text{ pakai} = 3421,1944 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ pakai} \geq A_s \text{ perlu}$, maka OK

$$A_s \text{ min 1} = 637,7055491 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min 2} = 652 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ pakai} \geq A_s \text{ min}$, maka OK

$$A_s \text{ max} = 4890 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ pakai} \leq A_s \text{ max}$, maka OK

$$M_n = 605181587,1 \text{ Nmm}$$

$$= 605,181 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 544,663428 \text{ kNm}$$

$\phi M_n \geq M_u$, maka OK

Tumpuan Positif

$$M_u^- = 524,5 \text{ kNm}$$

$$a = 135,6576059 \text{ mm}$$

$$c = 159,5971834 \text{ mm}$$

$$c \text{ max} = 183,375 \text{ mm}$$

Menggunakan $\phi = 0.9$

$$e_s = e_t = 0,006$$

$e_t > 0,005$, maka terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan=

$$A_s \text{ perlu} = 3294,541857 \text{ mm}^2$$

$$n = 8,666820194 \text{ buah}$$

(Dibulatkan) = 9 buah
Digunakan 9D22

Cek terhadap as min dan as max=

As.pakai = 3421,1944 mm²

As.pakai ≥ As.perlu, maka OK

As min 1 = 637,7055491 mm²

As min 2 = 652 mm²

As.pakai ≥ As.min, maka OK

As max = 4890 mm²

As pakai ≤ As max, maka OK

Mn = 605181587,1 Nmm

= 605,181 kNm

φMn = 544,663428 kNm

φMn ≥ Mu, maka OK

b. **Penulangan Lentur Balok Daerah Lapangan**

Lapangan Negatif

Mu⁻ = 292,17 kNm

a = 70,1117032 mm

c = 82,4843567 mm

c max = 183,375 mm

Menggunakan φ= 0.9

es = et = 0,015

et > 0,005, maka terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan=

As perlu = 1702,71279 mm²

n = 4,4792588 buah

(Dibulatkan) = 5 buah

Digunakan 5D22

Cek terhadap as min dan as max=

As.pakai = 1900,66356 mm²

As.pakai \geq As.perlu, maka OK

$$\text{As min 1} = 637,7055491 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min 2} = 652 \text{ mm}^2$$

As.pakai \geq As.min, maka OK

$$\text{As max} = 4890 \text{ mm}^2$$

As pakai \leq As max, maka OK

$$\text{Mn} = 362373941,6 \text{ Nmm}$$

$$= 362,373 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{Mn} = 326,137 \text{ kNm}$$

$\phi \text{Mn} \geq \text{Mu}$, maka OK

Lapangan Positif

$$\text{Mu} = 283,95 \text{ kNm}$$

$$a = 67,9795077 \text{ mm}$$

$$c = 79,9758915 \text{ mm}$$

$$c \text{ max} = 183,375 \text{ mm}$$

Menggunakan $\phi = 0.9$

$$e_s = e_t = 0,015$$

$e_t > 0,005$, maka terkendali tarik

Menghitung kebutuhan tulangan=

$$\text{As perlu} = 1650,9309 \text{ mm}^2$$

$$n = 4,34303824 \text{ buah}$$

$$\text{(Dibulatkan)} = 5 \text{ buah}$$

Digunakan 5D22

Cek terhadap as min dan as max=

$$\text{As.pakai} = 1900,66356 \text{ mm}^2$$

As.pakai \geq As.perlu, maka OK

$$\text{As min 1} = 637,7055491 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min 2} = 652 \text{ mm}^2$$

As.pakai \geq As.min, maka OK

$$\text{As max} = 4890 \text{ mm}^2$$

As pakai \leq As max, maka OK

$$\begin{aligned}
 M_n &= 36324984,7 \quad \text{Nmm} \\
 &= 363,225 \quad \text{kNm} \\
 \phi M_n &= 326,902 \quad \text{kNm} \\
 \phi M_n &\geq M_u, \text{ maka OK}
 \end{aligned}$$

c. **Perhitungan Momen Probabilitas**

Momen ujung tumpuan kiri kanan negatif

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan} & \quad 9D22 \\
 A_s \text{ tulangan} & = 3421,19 \quad \text{mm}^2 \\
 A_{pr} & = 176,091 \quad \text{mm} \\
 M_{pr} & = 720165328 \quad \text{Nmm} \\
 & = 720,165 \quad \text{kNm}
 \end{aligned}$$

Momen ujung tumpuan kiri kanan positif

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan} & \quad 9D22 \\
 A_s \text{ tulangan} & = 3421,19 \quad \text{mm}^2 \\
 A_{pr} & = 176,091 \quad \text{mm} \\
 M_{pr} & = 720165328 \quad \text{Nmm} \\
 & = 720,165 \quad \text{kNm}
 \end{aligned}$$

Gaya Geser Akibat beban Gravitasi

$$V_g = 232,90 \quad \text{kN}$$

Gaya Geser Gempa Akibat Sendi Elastis=

$$V_{e1} = V_{e2} = 192,044 \quad \text{kN}$$

Gaya geser desain=

$$V_e = 424,234 \quad \text{kN}$$

$$\frac{1}{2} V_e = 212,117 \quad \text{kN}$$

Gaya geser gempa > 50% Gaya geser desain, maka OK. Dapat dilakukan perhitungan tulangan geser.

d. **Perhitungan Tulangan Geser Tumpuan**

$$V_c = 0$$

$$V_u = 424,234 \quad \text{kN}$$

$$V_s = 424,234/0,75 = 565,645 \quad \text{kN}$$

Asumsi menggunakan tulangan sengkang 2 kaki diameter 10

$$n = 2$$

$$A_v = 2 \times 0,25\pi \times 10^2 = 157,07696327 \text{ mm}$$

Syarat=

$$d/4 = 489/4 = 122,25 \text{ mm}$$

$$6db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

150 mm

Digunakan sengkang pada tumpuan 2D10-100

e. **Perhitungan Tulangan Geser Lapangan**

$$V_c = 178,557 \text{ kN}$$

$$V_u = 259,580 \text{ kN}$$

$$V_s = \left(\frac{259,580}{0,75} \right) - 178,557 = 565,645 \text{ kN}$$

Asumsi menggunakan tulangan sengkang 2 kaki diameter 10

$$n = 2$$

$$A_v = 2 \times 0,25\pi \times 10^2 = 157,07696327 \text{ mm}$$

Syarat=

$$d/4 = 489/4 = 122,25 \text{ mm}$$

$$6db = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

150 mm

Digunakan sengkang pada tumpuan 2D10-100

2.11.2 Perancangan Balok Anak 1

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan balok anak SRPMK:

Ukuran Balok Anak 1	= 300	x 450	mm
Bentang	= 8000		mm
F'c	= 30		MPa
Fy Tulangan Utama	= 420		MPa
Fy Tulangan Sengkang	= 280		MPa
Selimut beton	= 40		mm
Diameter Tulangan Utama	= 22		mm
Diameter Sengkang	= 10		mm
d	= 389		mm
β	= 0,85		

Mu Tumpuan	= 341,09	kNm
Mu Lapangan	= 165,46	kNm
Vu Tumpuan	= 162,78	kN
Vu Lapangan	= 162,78	kN

a. Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan

a	= 160,4416	mm
c	= 188,7548	mm
c max	= 145,8750	mm
Ø	= 0,9	
As perlu	= 4130,6196	mm ²
n	= 10,8718	buah
(dibulatkan menjadi)	= 11	buah
As min	= 389,0000	mm ²
Digunakan As	= 4130,6196	mm ²
As Max	= 2550,7286	mm ²
Digunakan As Perlu	= 4130,6196	mm ²

b. Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan

a	= 67,6636	mm
c	= 79,6042	mm
c max	= 145,8750	mm
Ø	= 0,9	
As perlu	= 1253,5152	mm ²
n	= 3,2992	buah
	= 4	buah
As min	= 389,0000	mm ²
Digunakan As	= 1253,5152	mm ²
As Max	= 2550,7286	mm ²
Digunakan As Perlu	= 1253,5152	mm ²

c. Perhitungan Tulangan Geser Tumpuan

ØVc	= 81497,009	N
ØVc	= 81,4970	kN
ØVs	= 81,2830	kN

$$V_s = 108,3773 \text{ kN}$$

Menghitung Batasan dimensi penampang:

$$V_s (N) < 0,66 \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$1083773 \text{ N} < 421866,8682 \text{ N (OK)}$$

Menghitung Spasi Sengkang:

$$s = 157,8665 \text{ mm}$$

Cek Spasi Sengkang di daerah tumpuan:

$$V_s (N) < 0,33 \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$1083773 \text{ N} < 210933,4341 \text{ N (OK)}$$

$$s < d/2$$

$$157,8665 \text{ mm} < 194,5 \text{ mm (OK)}$$

Ditetapkan sengkang 2D10-100

d. Perhitungan Tulangan Geser Lapangan

$$\emptyset V_c = 81497,009 \text{ N}$$

$$\emptyset V_c = 81,4970 \text{ kN}$$

$$\emptyset V_s = 81,2830 \text{ kN}$$

$$V_s = 108,3773 \text{ kN}$$

Menghitung Batasan dimensi penampang:

$$V_s (N) < 0,66 \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$1083773 \text{ N} < 421866,8682 \text{ N (OK)}$$

Menghitung Spasi Sengkang:

$$s = 157,8665 \text{ mm}$$

Cek Spasi Sengkang di daerah tumpuan:

$$V_s (N) < 0,33 \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$1083773 \text{ N} < 210933,4341 \text{ N (OK)}$$

$$s < d/2$$

$$157,8665 \text{ mm} < 194,5 \text{ mm (OK)}$$

Ditetapkan sengkang 2D10-150

2.11.3 Perancangan Kolom 1

Data Kolom terhadap Balok Induk 1:

Tabel 2.22 Properti Material dan Penampang Kolom

Parameter	Pasal Referensi	Nilai	Satuan
	SNI 2847:2019		
Properti Material dan Penampang			
Panjang/Tinggi Kolom, L		4000	mm
Sisi Pendek Kolom, b		500	mm
Sisi Panjang Kolom, h		500	mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b		32	mm
Diameter Tulangan Sengkang, d_s		10	mm
Selimit Bersih, c_c		40	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'		30	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y		420	MPa
Tinggi Balok, hb		550	mm
L_n		3450	mm

Design Longitudinal:

Tabel 2.23 Syarat Gaya dan Geometri

Syarat Gaya dan Geometri			
Parameter	Pasal Referensi	Nilai	Satuan
	SNI 2847:2019		

Syarat Gaya Aksial	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.7.1	OK	$P_u > 0.1 A_g f_c' ?$
Syarat Sisi Terpendek	18.7.2.1	OK	$b \geq 300$ mm ?
Syarat Rasio Dimensi Penampang	18.7.2.1	OK	$b/h \geq 0.4 ?$

Tabel 2.24 Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur Kolom

Pengecekan Terhadap Gaya Dalam Aksial-Lentur (Menggunakan SP Column).			
Parameter	Pasal Referensi	Nilai	Satuan
	SNI 2847:2019		
Jumlah Tulangan, n	Input	18	
Luas Tulangan Longitudinal, A_s	$n * \pi/4 * d_b^2$	14476,5	mm ²
Rasio Tulangan, ρ	$A_s / (b * h)$	5,79%	
Cek ρ_{min} dan ρ_{max}	$1\% \leq \rho \leq 6\%$	OK	

Tabel 2.25 Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)

Pengecekan Strong Column - Weak Beam (SCWB)			
Parameter	Pasal	Nilai	Satuan

	Referensi		
	SNI 2847:2019		
Momen Nominal Kolom, M_{nc}		1189,052421	kN m
M_n^- Tumpuan Balok		524,500	kN m
M_n^+ Tumpuan Balok		524,500	kN m
Cek SCWB	18.7.3.2	$2 * M_{nc} \geq 1.2 * (M_n^- + M_n^+)$	OK

Design Transversal:

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Nilai	Satuan
	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang				
Panjang/Tinggi Kolom, L			4000	mm
Sisi Pendek Kolom, b			500	mm
Sisi Panjang Kolom, h			500	mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			32	mm
Diameter Tulangan			10	mm

Sengkang, d_s				
Selimit Bersih, c_c			40	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'			30	MPa
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y			420	MPa
Tinggi Balok, h_b			550	mm
L_n			3450	mm

Tabel 2.26 Panjang Zona Sendi Plastis

Panjang Zona Sendi Plastis				
l_{o1}	18.7.5.1	h	500	mm
l_{o2}	18.7.5.1	$L_n / 6$	575,0	mm
l_{o3}	18.7.5.1	450 mm	450	mm
l_o	18.7.5.1	Max (l_{o1} ; l_{o2} ; l_{o3})	575	mm

Tabel 2.27 Perhitungan Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

Parameter	Pasal Referensi	Persamaan	Nilai	Satuan
	SNI 2847:2019			
Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan				
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n_1			3	
Jumlah Kaki Sisi			3	

Panjang, n2				
Spasi, s			50	mm
Spasi Kaki Terbesar, x _i max	R18.7.5.2		235	mm
A _{sh} 1		$n * \pi / 4 * d_s^2$	235,619	mm ²
A _{sh} 2		$n * \pi / 4 * d_s^2$	235,619	mm ²
A _{sh} / s, 1			4,712	mm ² / mm
A _{sh} / s, 2			4,712	mm ² / mm
Confinement/Kekangan Zona Sendi Plastis				
Lebar Penampang Inti Beton, b _c	R18.7.5.2	$b - 2c_c$	420	mm
Panjang Penampang Inti Beton, h _c	R18.7.5.2	$h - 2c_c$	420	mm
Luas Penampang Kolom, A _g		$b * h$	250000	mm ²
Luas Penampang Inti Beton, A _{ch}		$b_c * h_c$	176400	mm ²
Sisi Pendek/Sumbu Lemah				
A _{sh} /s min, 1	18.7.5.4	$0.3 (b_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	3,755	mm ²
A _{sh} /s min, 2	18.7.5.4	$0.09 * b_c * f_c' / f_y$	2,700	mm ²
Cek A _{sh} /s 1		A _{sh} /s 1 >= A _{sh} /s min ?	OK	
Sisi Pendek/Sumbu Kuat				

A_{sh}/s min, 1	18.7.5.4	$0.3 (h_c * f_c' / f_y) * (A_g / A_{ch} - 1)$	3,755	mm^2
A_{sh}/s min, 2	18.7.5.4	$0.09 * h_c * f_c' / f_y$	2,700	mm^2
Cek A_{sh}/s 2		A_{sh}/s 2 \geq A_{sh}/s min ?	OK	
Cek Spasi				
$S_{max,1}$	18.7.5.3	$b / 4$	125	mm
$S_{max,2}$	18.7.5.3	$6 * d_b$	192	mm
h_x	18.7.5.3	X_i max	235	mm
$S_{max,3} = S_o$	18.7.5.3	$100 \leq 100 + (350 - h_x) / 3 \leq 150$	138,333	mm
S_{max}	18.7.5.3	Min ($S_{max,1}$, $S_{max,2}$, $S_{max,3}$)	125,000	mm
Cek Spasi			OK	
Kuat Geser Zona Sendi Plastis				
Gaya Geser Desain (Perlu input dari SP Column dengan $f_{pr} = 1.25 f_y$)				
M_{pr} Kolom		Di ambil nilai terbesar)	1033,28	kN m
V_{u1}	18.7.6.1	$2 * M_{pr}$ Kolom / L_n	5992002,39	N
Gaya Geser Hasil Analisis Struktur				

V_{u2} , Sumbu Lemah	Gaya Dalam	365950	N	
V_{u2} , Sumbu Kuat	Gaya Dalam	276180	N	
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah				
V_u		Max (V_{u1} , V_{u2})	369950	N
ϕ	Tabel 21.2.1		0,75	
V_c	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	202055	N
V_s Perlu	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	285878	N
A_s/s Perlu	22.5.10.5.3	$V_s / (f_y * d)$; $d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	1,5683	mm ² / mm
A_s/s Min 1	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} h / f_y$	0,4043	mm ² / mm
A_s/s Min 2	10.6.2.2	$0.35 h / f_y$	0,4167	mm ² / mm
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		Max (V_{u1} , V_{u2})	276180	N
ϕ	Tabel 21.2.1		0,75	
		$0.17 (1 + N_u / (14$		

V_c	22.5.6.1	$A_g] (f_c')^{0.5} b d;$ d $= h - c_c - d_s - d_b$ $/2$	202055	N
V_s Perlu	22.5.10.1	$V_u / \phi - V_c$	166185	N
A_s/s Perlu	22.5.10.5.3	$V_s / (f_y * d); d$ $=$ $h - c_c - d_s - d_b /$ 2	0,2742	$mm^2 /$ mm
A_s/s Min 1	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b /$ f_y	0,4043	$mm^2 /$ mm
A_s/s Min 2	10.6.2.2	$0.35 b / f_y$	0,4167	$mm^2 /$ mm
Cek A_s/s	$A_{sh} / s \geq \text{Max} (A_s/s \text{ Perlu},$ $A_s/s \text{ Min}) ?$		OK	

Tabel 2.28 Perhitungan Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Lapangan

Tulangan Transversal Luar Zona Sendi Plastis/Lapangan				
Jumlah Kaki Sisi Pendek, n1			2	
Jumlah Kaki Sisi Panjang, n2			2	
Spasi, s			100	mm
A_v Sumbu Lemah		$n * \pi/4 * d_s^2$	157,080	mm^2
A_v Sumbu Kuat		$n * \pi/4 * d_s^2$	157,080	mm^2
Confinement/Kekangan Luar Zona Sendi Plastis				
Spasi max 1	18.7.5.5	$6 d_b$	192	mm
Spasi max 2	18.7.5.5	150 mm	150	mm
Cek Spasi	Spasi \leq Spasi Max ?		OK	

Kuat Geser Luar Zona Sendi Plastis				
Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah				
V_u		Gaya Dalam	365950	N
ϕ	Tabel 21.2.1		0,75	
V_c	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5}$ $h d; d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	202055	N
V_s Perlu	22.5.10.1	$\text{Max} (V_u / \phi - V_c; 0)$	285878	
A_v/s Perlu	22.5.10.5.3	$V_s / (f_y * d); d = b - c_c - d_s - d_b / 2$	1,5683	
A_s/s Min 1	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b / f_y$	0,4043	mm^2 / mm
A_s/s Min 2	10.6.2.2	$0.35 b / f_y$	0,4167	mm^2 / mm
Cek A_s/s	$A_v/s \geq A_v/s$ Perlu ?		OK	
Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat				
V_u		Gaya Dalam	276180	N
ϕ	Tabel 21.2.1		0,75	
V_c	22.5.6.1	$0.17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5}$ $b d; d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	202055	N
V_s Perlu	22.5.10.1	$\text{Max} (V_u / \phi - V_c; 0)$	166185	
A_v/s Perlu	22.5.10.5.3	$V_s / (f_y * d); d = h - c_c - d_s - d_b / 2$	0,9117	
A_s/s Min 1	10.6.2.2	$0.062 (f_c')^{0.5} b / f_y$	0,4043	mm^2 / mm
A_s/s Min 2	10.6.2.2	$0.35 b / f_y$	0,4167	mm^2 / mm
Cek A_s/s	$A_v/s \geq A_v/s$ Perlu ?		OK	

Tabel 2.29 Rekap Pengecekan dan Perancangan Kolom

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	18 D32
Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan	
Sumbu Lemah	3D10-50
Sumbu Kuat	3D10-50
Tulangan Transversal/Senggang Lapangan	
Sumbu Lemah	2D10-100
Sumbu Kuat	2D10-100

2.11.4 Hubungan Balok Kolom

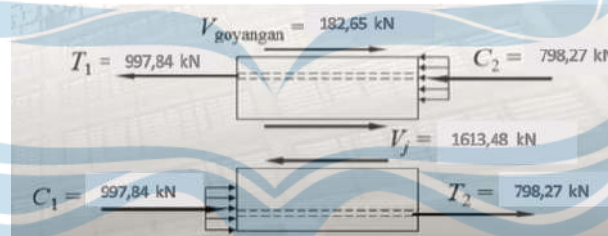
Ditinjau pada joint balok-kolom lantai 1 massa 1

Tabel 2.30 Perhitungan Hubungan Balok-Kolom Lantai 1 Massa 1

Luas Efektif Joint, A_j		
Tinggi Joint, h	500	mm
Lebar balok, b	400	mm
x	50	mm
Lebar joint efektif, b 1	900	mm
Lebar joint efektif, b 2	500	mm
Lebar joint efektif, b	500	mm
Luas Joint efektif, A_j	250000	mm ²
Desain Transversal		
Ash/s	2,356	mm ² / mm
spasi, s	150	mm
Ash perlu	353,4	mm ²
Ash desain	398,1969	mm ²
Dipasang	3D13-100	OK
Kuat Geser		

Vu	182,65	kN
HBK kiri :		
Luas Tul.atas balok, As	1900,664	mm ²
Gaya tarik, T 1	997,8484	kN
Gaya Tekan, C 1	997,8484	kN
HBK kanan :		
Luas Tul.atas balok, As	1520,531	mm ²
Gaya tarik, T 2	798,2787	kN
Gaya Tekan, C 2	798,2787	kN
Geser pada joint, Vj	1613,48	kN
Kuat Geser HBK (di kekang empat sisi)		
Kuat geser nominal, Vn	2327,821	kN
ϕV_n	1978,648	kN
Cek kuat geser	OK	

Kesimpulan: Dipasang 3D13-100mm pada daerah Hubungan Balok-Kolom



Gambar 2.24 Geser dalam Hubungan Balok Kolom