

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Umum

Desain struktur gedung Kantor 5 lantai di Yogyakarta menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen. Adapun landasan teori ini akan membahas beberapa dasar teori yang mendukung dalam penyusunan tugas akhir perancangan infrastruktur ini.

2.2 Data Proyek

Data proyek pembangunan struktur gedung perkantoran 5 lantai ini adalah sebagai berikut:

Nama Proyek	: Gedung Kantor 5 Lantai
Alamat Proyek	: Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
Struktur Atap	: Truss
Struktur Bangunan	: Beton Bertulang

2.3 Peraturan Perancangan

SNI 2847-2019	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
SNI 1727-2020	Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
SNI 8900-2020	Panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang
SNI 1729-2020	Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural

2.4 Perencanaan Sistem Struktur

Sistem rangka pemikul momen merupakan salah satu jenis struktur bangunan yang banyak digunakan dalam konstruksi gedung bertingkat. Struktur ini dirancang untuk menahan beban vertikal dan horizontal yang bekerja pada bangunan, termasuk momen lentur yang dihasilkan oleh angin, gempa, atau beban hidup.

Sistem rangka pemikul momen berdasarkan prinsipnya yaitu momen lentur yang dihasilkan oleh beban lateral (seperti angin atau gempa) direspon oleh elemen-elemen struktural seperti balok, kolom, dan dinding geser. Rangka pemikul momen biasanya terdiri dari balok dan kolom yang tersusun secara vertikal dan horizontal,

membentuk jaringan grid yang kuat. Ketika beban lateral diterapkan pada bangunan, momen lentur diatasi oleh komponen-komponen ini, yang kemudian didistribusikan ke fondasi untuk meredam gaya tersebut.

Menurut SNI-1726-2019 SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. SRPM Biasa, disingkat SRPMB/Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF)
2. SRPM Menengah, disingkat SRPMM/Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF)
3. SRPM Khusus, disingkat SRPMK/Special Moment Resisting Frame (SMRF).

Dalam perancangan sebuah struktur bangunan gedung, digunakan beberapa panduan dalam menentukan sistem struktur yang akan digunakan. Adapun panduan yang digunakan dalam perancangan struktur ini ialah SNI 1726:2019. Pada SNI tersebut dijelaskan ada beberapa sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan struktur beton bertulang. Pada perencanaan struktur gedung ini, menggunakan **sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang diterapkan** dengan dinding geser beton bertulang khusus. Latar belakang penggunaan sistem struktur ini karena bangunan ini menggunakan dinding geser beton untuk membantu menahan gaya lateral gempa.

2.5 Preliminary Design

Preliminary Design merupakan tahapan perhitungan awal yang memberikan pedoman pada saat melakukan pemodelan desain. Penulis menggunakan SNI 2847:2019 sebagai acuan Preliminary Design awal, dalam perancangan Gedung Kantor 5 Lantai di Kota Yogyakarta. Dalam Perhitungan Preliminary Design dibawah ini, penulis memberikan salah satu contoh perhitungan saja. Berikut Preliminary design pelat, kolom, dan balok. Karena, Preliminary Design adalah sebuah usaha dalam menentukan kondisi awal sebuah ukuran struktur, maka perlu

trial dan error agar perhitungan menjadi valid, dan tidak menutup kemungkinan untuk berubah secara terus menerus.

Apabila diketahui jenis pelat seperti pada gambar 3.1 maka:

$$L_y = 8000$$

$$L_x = 2500$$

1. Menentukan Tebal Pelat pada Lantai

Dalam menentukan ketebalan yang diinginkan untuk pelat, acuan yang digunakan didasarkan pada SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1 untuk pelat satu arah dan Pasal 8.3.1.2 SNI 2847:2019 untuk pelat dua arah. Berikut adalah contoh perhitungan:

a. Identifikasi Pelat

Tumpuan satu ujung menerus

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{8000}{2500} = 3,2 > 2$$

Sehingga, menggunakan pelat satu arah

b. Menentukan tebal pelat satu arah

Kondisi tumpuan satu ujung menerus

$$h = \frac{L_x}{24} = \frac{2500}{24} = 104,1667$$

diambil, 125 mm

2. Menentukan Dimensi Balok

Panjang bentang antara kolom dengan kolom lainnya, merupakan informasi yang penting dalam menentukan dimensi balok. Tinggi balok (h) ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1, lebar balok akan ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1, perencanaan balok juga harus mempertimbangkan syarat pada SNI 2847:2019, Pasal 18.6.2.1. Perhitungan balok adalah sebagai berikut.

a. Menentukan tinggi minimum balok

$$h = \frac{L}{16} = \frac{8000}{16} = 500 \text{ mm}$$

diambil 550 mm

- b. Menentukan lebar balok minimum

$$b = \frac{1}{2}h = \frac{1}{2} \times 550 \text{ mm} = 275 \text{ mm}$$

diambil 300 mm

Maka, untuk dimensi balok B1 digunakan ukuran 300 x 550 mm.

Cek dimensi penampang kolom SRPMK

Spesifikasi Material :

Selimut Beton = 40 mm

Diameter Sengkang = D10 mm

Diameter Longitudinal = D16 mm

$$d = 550 - 40 - 10 - 16/2 = 492 \text{ mm}$$

$$a. Ln \geq 4d \rightarrow 7600 \geq 4 \times 492 \rightarrow 7600 \geq 1968 \leftrightarrow (\text{Aman})$$

$$b. Bw > 0,3h \rightarrow 300 > 0,3(550) \rightarrow 300 > 165 \leftrightarrow (\text{Aman})$$

3. Menentukan Dimensi Kolom

Untuk menentukan dimensi kolom yang akan dirancang penulis menggunakan acuan:

$$p = b = (2 \times 50) + b \text{ balok terbesar (mm)} = (2 \times 50) + 300 = 400 \text{ mm}$$

Keterangan :

p = Panjang kolom (mm)

b = Lebar kolom (mm)

Didapatkan dimensi kolom 400 x 500 mm, dikarenakan digunakan kolom lingkaran maka, dimensi kolom Ø 650 mm.

Cek penampang kolom SRPMK

$$a. B \leq H$$

$$400 \leq 500 \quad (\text{Aman})$$

$$b. B \geq 300$$

$$400 \geq 300 \quad (\text{Aman})$$

2.6 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

Perhitungan klasifikasi situs tanah berdasarkan pengolahan data N-SPT

berpedoman pada rumus SNI 1726:2019 Pasal 5.4.2 dan perhitungan kuat geser nilai rata-rata (S_u) berdasarkan pada SNI yang sama. Berdasarkan perhitungan data N-SPT yang tertera pada tabel 2.2, didapatkan:

Tabel 2. 1 Data N-SPT

Kedalaman (m)	Ni	di	di/Ni
2	5	2	0,40
4	6	2	0,33
6	25	2	0,08
8	33	2	0,06
10	13	2	0,15
12	20	2	0,10
14	25	2	0,08
16	25	2	0,08
18	59	2	0,03
20	57	2	0,04
22	59	2	0,03
24	59	2	0,03
26	59	2	0,03
28	59	2	0,03
30	59	2	0,03
Total		30	1,53

$$N \text{ rerata} = \frac{\sum di}{\sum \left(\frac{di}{Ni}\right)} = \frac{30}{1,53} = 19,65$$

Maka didapatkan klasifikasi situs SD/tanah sedang.

2.7 Penentuan Sistem Struktur

Mengacu pada SNI 1726:2019 yang mengadopsi Konsep Keselamatan Hidup, konsep ini menyatakan bahwa ketika terjadi gempa besar sesuai dengan zona gempa, struktur bangunan yang dirancang harus mampu menahan kerusakan sesuai

dengan energi gempa yang diserap oleh struktur tersebut. Oleh karena itu, diperlukan penentuan parameter tambahan untuk melengkapi data beban gempa serta parameter lainnya sebagai berikut:

1. Penentuan Kategori Risiko

Tabel 2. 2 Kategori Risiko Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	III

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: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 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.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - 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 Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk	IV

mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.

Sumber : Tabel 3 (SNI 1726 : 2019)

Maka berdasarkan Tabel 3 pada SNI 1726:2019, Gedung DPD Partai di Kota Yogyakarta dikategorikan dalam kategori risiko II, dengan jenis pemanfaatan sebagai Gedung Perkantoran.

2. Penentuan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : Tabel 4 (SNI 1726 : 2019)

Maka berdasarkan Tabel 4 pada SNI 1726:2019, bangunan Gedung DPD Partai di Kota Yogyakarta dengan kategori risiko II termasuk dalam faktor keutamaan gempa dengan nilai 1,0.

3. Penentuan Klasifikasi Situs

Tabel 2. 4 Penentuan Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	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, $PI \leq 20$, 2. Kadar air, $w \leq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u \leq 25$ 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)		

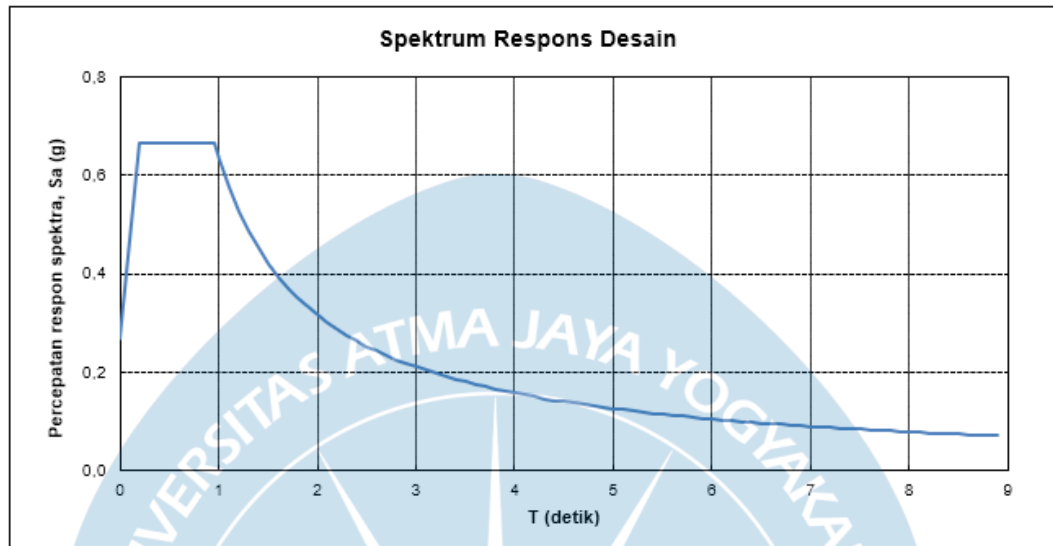
Sumber : Tabel 5 (SNI 1726 : 2019)

Maka berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada bangunan Gedung DPD Partai di Kota Yogyakarta termasuk dalam kelas situs SD (Tanah Sedang)

4. Penentuan Parameter Respon Spektra

Lokasi	: Yogyakarta
Kelas Situs	: SD-Tanah Sedang
S_s	= 1.1070
S_1	= 0.5070
F_a	= 1.0572
F_v	= 1.7930
S_{Ds}	= 0.7802
S_{D1}	= 0.6060
T_0	= 0.1554
T_s	= 0.7768
T_L	= 8

Berikut adalah grafik respons spektrum, dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2. 1 Grafik Respon Spektrum

5. Penentuan Periode Fundamental Gedung

Tabel 2. 5 Penentuan Periode Fundamental Gedung

Tipe struktur	C_t	α
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

Sumber : Tabel 18 (SNI 1726 : 2019)

Mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 18, nilai parameter periode pendekatan C_t dan α yang tercantum pada tabel 2.6. Untuk tipe struktur bangunan Gedung DPD Partai di Kota Yogyakarta yang menggunakan rangka beton pemikul beton, nilai C_t adalah 0,0488 dan nilai α adalah 0,75. Parameter ini digunakan untuk menentukan periode

fundamental pendekatan (T_a) dalam detik dan ketinggian total struktur (h_n) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = \frac{C_t}{h}$$

6. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Tabel 2. 6 Kategori Desain Seismik

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

Sumber : Tabel 8 (SNI 1726 : 2019)

Menurut SNI 1726:2019 Tabel 8 – Kategori Desain Seismik yang tercantum pada tabel 2.7, dengan $S_{DS} = 0,667$ g dan termasuk dalam kategori risiko II, maka desain seismik untuk bangunan Gedung DPD Partai di Kota Yogyakarta adalah kategori D.

7. Penentuan Koefisien Modifikasi Respon (R)

Tabel 2. 7 Penentuan Koefisien Modifikasi respon

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
Sistem Ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang diterapkan								
Dinding Geser beton bertulang khusus	7	2.5	5.5	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber : Tabel 12 (SNI 1726 : 2019)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 Tabel 12 yang mengatur Faktor R, Cd, dan Ω_0 buntuk sistem pemikul gaya seismik, seperti yang dicantumkan dalam tabel 2.8, sistem pemikul gaya seismik bangunan Gedung Kantor 5 Lantai di Kota Yogyakarta adalah rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Oleh karena itu, didapati bahwa nilai R sama dengan 7, Ω_0 b sama dengan 2.5, dan Cd sama dengan 5.5.

2.8 Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan beban struktur sangat penting untuk menetapkan beban yang akan diterapkan saat terjadi gempa di masa mendatang. Dalam melakukan perhitungan beban struktur untuk setiap lantai, tujuannya adalah untuk mendapatkan gaya geser seismik yang terjadi saat gempa terjadi. Penentuan ini mengacu pada pedoman yang ditetapkan dalam standar SNI 1726:2019.

Pembebanan dalam perancangan struktur merujuk pada proses menentukan dan menghitung semua gaya eksternal yang bekerja pada suatu struktur. Pembebanan ini melibatkan identifikasi dan analisis beban-beban yang diterapkan pada struktur, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban lainnya yang relevan sesuai dengan jenis struktur dan lokasi geografisnya.

- **Beban Mati**

Beban Mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang termasuk dinding, lantai, atap plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing dan komponen arsitektural dan struktural lainnya.

Beban Mati pada balok:

- Berat sendiri balok/*Self Weight (SW)*
- Beban mati pada plat
- Berat dinding bata ringan

a. Beban mati pelat lantai:

- Berat sendiri plat
- Beban keramik
- Beban spesi

- Beban *Mekanikal*, Elektrikal, dan Plumbing (*MEP*)
- Beban plafond dan rangka
- b. Beban mati pada pelat atap
 - Berat sendiri plat
 - Beban waterproof
 - Beban plafond dan rangka
 - Baban MEP
 - Beban Hidup

Berdasarkan SNI-1727-2020, Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan yaitu beban angin, bena hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

Beban hidup atap diakibatkan oleh pekerja, peralatan dan material sepanjang tahap pemeliharaan gedung dan juga diakibatkan oleh benda bergerak seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa lainnya yang bukan terkait hunian yang terjadi selama masa layan struktur. Lain dari itu beban hidup yang terkait hunian. Sedangkan berbeda pengertiannya dengan beban hidup pada atap dimana diakibatkan oleh hunian pada atap seperti orang-orang yang berjalan atau berkumpul, furnitur luar ruangan, taman beratap, atau bahkan kegiatan khusus seperti pertemuan atau pesta.

Berikut adalah beban yang bekerja pada gedung kantor 5 lantai:

2.5.1 Beban Gravitasi

- **Beban Hidup (LL)**

Beban hidup merupakan beban yang muncul karena aktivitas manusia atau barang yang bergerak di dalam struktur bangunan. Sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2020 Tabel 4.3 – 1, dalam merancang bangunan Gedung Kantor 5 lantai Partai di Kota Yogyakarta, beban hidup yang diterapkan adalah sebesar 4,79 kN/m², disesuaikan dengan fungsi dari gedung tersebut.

- **Beban Mati (DL)**

Berat sendiri struktur merujuk pada bobot individual dari setiap elemen, seperti balok, kolom, pelat lantai, dan lainnya, yang membentuk bagian integral dari kerangka bangunan. Dalam proses pemodelan, berat sendiri ini akan secara otomatis dihitung berdasarkan karakteristik material dan dimensi dari setiap elemen struktur.

- **Beban Mati Tambahan (SIDL)**

Beban mati tambahan adalah beban yang melekat pada elemen-elemen struktural. Ini meliputi benda-benda seperti peralatan mekanis, perlengkapan listrik, dan material tambahan yang dipasang di atas struktur. Berikut adalah perhitungan Beban Mati Tambahan yang harus dipertimbangkan untuk setiap lantai gedung.

a. **Beban Mati Tambahan (SIDL) pada balok Dinding**

$$\text{Lantai 1} = (\text{berat bata merah}) \times (\text{tinggi lantai-tinggi balok}) = 3,80 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai 2} = (\text{berat bata merah}) \times (\text{tinggi lantai-tinggi balok}) = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai 3} = (\text{berat bata merah}) \times (\text{tinggi lantai-tinggi balok}) = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lantai 4} = (\text{berat bata merah}) \times (\text{tinggi lantai-tinggi balok}) = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

b. **Berat Satuan Lantai**

$$\text{Beban sendiri pelat} = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir} = 0,90 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon, MEP, dll} = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total} = 5,4 \text{ kN/m}^2$$

2.5.2 Beban Gempa

Sesuai ketentuan SNI 1726:2019 mengenai perhitungan beban gempa mulai dari parameter kelas situs sampai pada faktor redundansi, berikut adalah rekap perhitungannya:

Tabel 2. 8 Rekap Beban Gempa

Parameter	Nilai					
Parameter kelas situs	SE (Tanah Sedang)					
Kategori risiko	II					
Faktor Keutamaan (I_e)	1					
Parameter spektrum respons desain	Ss	:	1.1070	S1	:	0.5070
	Fa	:	1.0572	Fv	:	1.7930
	SDS	:	0.7802	SD1	:	v
Kategori desain gempa	D					
Sistem Struktur - Penahan Gaya Lateral	Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus					
Koefisien Modifikasi Respons (R)	7 (arah X & arah Y)					
Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)	5.5 (arah X & arah Y)					
Faktor Kuat Lebih (Ω_o)	2.5					
Faktor redundansi (ρ)	1.3					

Selanjutnya dari data yang ada dilanjutkan dengan perhitungan analisis beban gempa. Berikut tahapan perhitungan analisis beban gempa:

a. Menghitung Periode Fundamental (T)

Berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan 36, formula periode pendekatan untuk periode fundamental adalah sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h$$

Dengan nilai C_t sebesar 0.0488, dan tinggi bangunan (h) yang ditetapkan pada $h = 25,4$ m, nilai T_a yang diperoleh adalah 0.5521 detik.

Selanjutnya adalah menentukan batas atas periode pendekatan dengan rumus sebagai berikut:

$$Cu.Ta$$

Dengan $Cu = 1,4$ dan $Ta = 0,857$ detik. Maka diperoleh nilai $Cu.Ta = 1,199$ detik.

Dari hasil analisis menggunakan ETABS diperoleh periode fundamental (T) untuk arah x dan y, yang kemudian dibuatkan dalam perbandingan sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Periode Fundamental

Arah	$Cu.Ta$ (detik)	$T_{analisis}$ (detik)	Cek
x	0.773	0.773	$Cu.Ta < T_{analisis}$, maka digunakan nilai $T_{analisis}$
y	0.773	0.666	$Cu.Ta < T_{analisis}$, maka digunakan nilai $T_{analisis}$

b. Menghitung Koefisien Respon Seismik (C_s)

Berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan 31, koefisien respon seismik (C_s) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{R \over I_e}$$

Nilai C_s yang dihitung menggunakan rumus di atas tidak boleh melampaui nilai C_s yang dihitung menggunakan rumus berikut:

$$C_s = \frac{SD1}{T_x \frac{R_x}{I_e}}$$

Namun, nilai C_s harus minimal setara dengan C_s yang dihitung menggunakan rumus berikut:

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

Untuk struktur yang terletak di wilayah di mana S_1 setara dengan atau melebihi 0,6g, C_s harus minimal:

$$C_s = \frac{0,5 \times S_1}{\frac{R}{I_e}}$$

Tabel 2. 10 Rekap Perhitungan nilai C_s

Dalam konteks proyek ini, hasil perhitungan koefisien respons seismik (C_s) menghasilkan nilai sebagai berikut:

Rumus	Hasil Perhitungan	
	Arah x	Arah y
$C_s = SDS - \left(\frac{R - I_e}{R} \right)$	0.1115	0.1115
$C_s = SD1 / (T \times (R / I_e))$	0.1120	0.1300
$C_s = SD1 T_L / T^2 (R / I_e)$	0.7284	0.7284
$C_s = 0,044 SDS I_e \geq 0,01$	0.0343	0.0343
$C_s = 0,5 S_1 - \left(\frac{R - I_e}{R} \right)$	0.0362	0.0362

Maka digunakan nilai $C_s = 0,1115$

c. Menghitung Eksponen Struktur Bangunan (k)

Nilai eksponen struktur bangunan dapat ditentukan dengan mengikuti syarat sebagai berikut:

Jika nilai $T < 0,5$, maka nilai $k = 1$

Jika nilai $0,5 < T < 2,5$ maka nilai k ditentukan dengan interpolasi

Jika nilai $T > 2,5$ maka nilai $k = 2$

Pada perhitungan ini sendiri diperoleh nilai $T = 0,954$ yang termasuk dalam syarat $0,5 < T < 2,5$ dengan diperoleh hasil dari interpolasi nilai $k = 1,227$

2.5.3 Kombinasi Pembebanan

Dalam penentuan kombinasi beban ultimit, standar yang diikuti adalah Pasal 4.2.2 dari SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur

Beton untuk Bangunan Gedung. Berikut adalah kombinasi beban yang ditetapkan:

1. $1,4DL$
2. $1,2DL + 1,6DL + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2DL + 1,0W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $0,9DL + 1,0W$

Jika efek dari beban seismik, $E = f(E_v, E_h)$ (pada 0 atau 0) dikombinasikan dengan beban lainnya, maka kombinasi beban seismic yang harus diterapkan adalah:

6. $1,2D + E_v + E_h + L$
7. $0,9D - E_v + E_h$

Sementara untuk kombinasi beban layan, standarnya berdasarkan Pasal 4.2.3 dari SNI 1726:2019. Berikut adalah kombinasi beban layan yang ditetapkan:

1. D
2. $D + L$
3. $D + (Lr \text{ atau } R)$
4. $D + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
5. $D + 0,6 W$
6. $D + 0,75(0,6W) + 0,75L + 0,75(Lr \text{ atau } R)$
7. $0,6D + 0,6W$

Di mana:

D = Beban mati (termasuk berat sendiri struktur dan beban mati tambahan)

L = Beban hidup

Lr = Beban hidup di atas struktur atap

R = Beban hujan

W = Beban angin

ρ = Faktor redundansi

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

Pada perhitungan ini diperoleh kombinasi pembebanan untuk dimasukkan kedalam pemodelan ETABS adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 11 Rekap Kombinasi Pembebanan

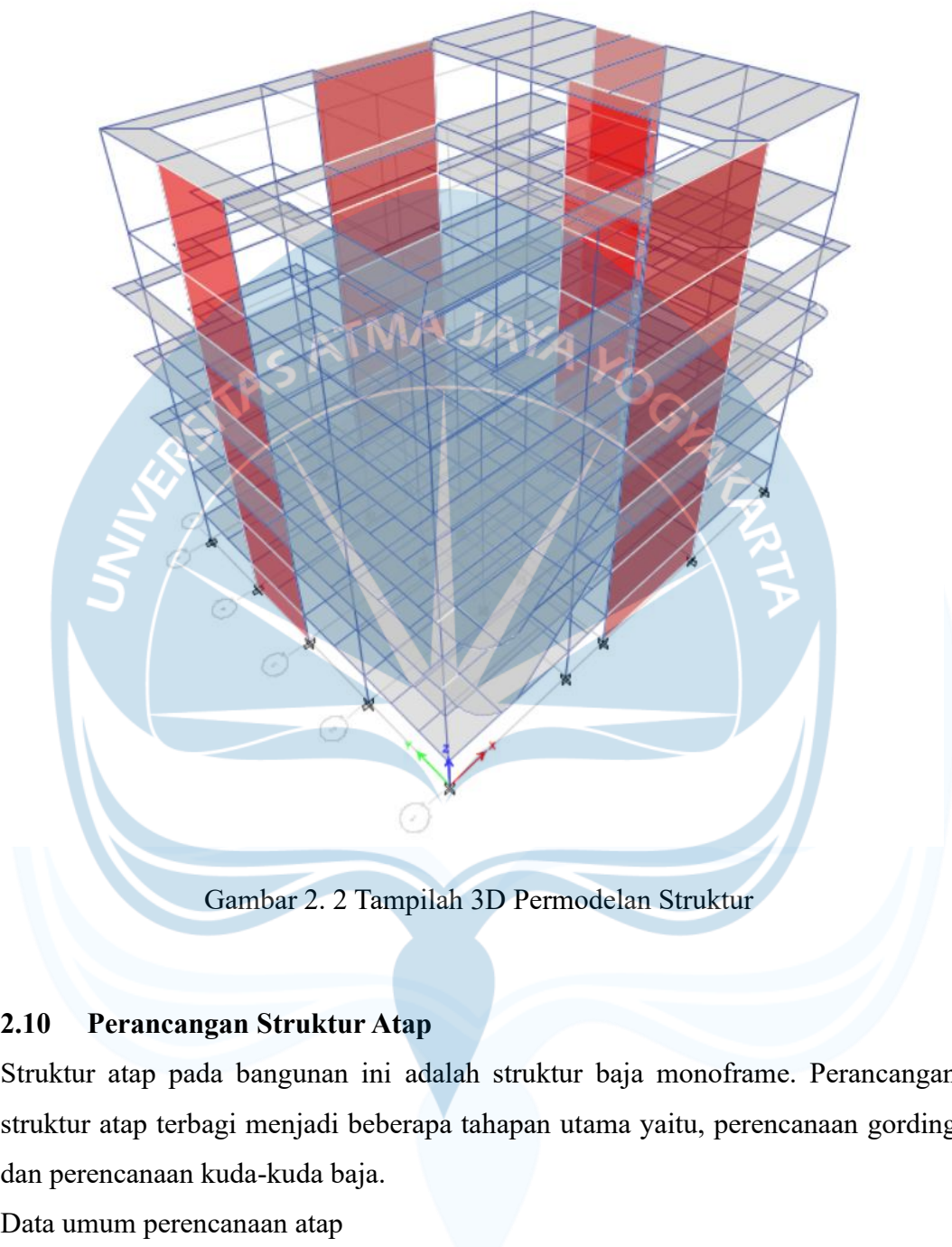
U1	=	1.4	DL	+	1.4	SDL									
U2	=	1.2	DL	+	1.2	SDL	+	1.6	LL						
U3	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	+	1.3	EX	+	0.3900	EY
U4	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	+	1.3	EX	-	0.39	EY
U5	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	-	1.3	EX	+	0.39	EY
U6	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	-	1.3	EX	-	0.39	EY
U7	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	+	0.39	EX	+	1.3	EY
U8	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	+	0.39	EX	-	1.3	EY
U9	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	-	0.39	EX	+	1.3	EY
U10	=	1.3405	DL	+	1.3405	SDL	+	0.5	LLr	-	0.39	EX	-	1.3	EY
U11	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				+	1.3	EX	+	0.39	EY
U12	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				+	1.3	EX	-	0.39	EY
U13	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				-	1.3	EX	+	0.39	EY
U14	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				-	1.3	EX	-	0.39	EY
U15	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				+	0.39	EX	+	1.3	EY
U16	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				+	0.39	EX	-	1.3	EY

U17	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				-	0.39	EX	+	1.3	EY
U18	=	0.7595	DL	+	0.7595	SDL				-	0.39	EX	-	1.3	EY

2.9 Pemodelan Struktur

Permodelan struktur pada gedung ini menggunakan *software* ETABS 2020 dengan memasukan beban-beban yang telah dihitung secara manual sebelumnya. Langkah-langkah pada permodelan struktur dimulai dari mendefenisikan material dan menggambar *section properties* hingga pada analisis *output* gaya dalam pada bangunan. Berikut adalah data-data perancangan yang digunakan pada permodelan struktur gedung kantor 5 lantai:

- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- F_y tulangan : 420 MPa
- F_y sengkang : 280 MPa
- Balok Induk : 550 x 300 mm
- Balok Anak : 500 x 250 mm
- Kolom : 600 mm
- Tebal Pelat Lantai : 125 mm



Gambar 2. 2 Tampilah 3D Permodelan Struktur

2.10 Perancangan Struktur Atap

Struktur atap pada bangunan ini adalah struktur baja monoframe. Perancangan struktur atap terbagi menjadi beberapa tahapan utama yaitu, perencanaan gording dan perencanaan kuda-kuda baja.

Data umum perencanaan atap

Bentang kuda-kuda	: 16 meter
Jarak antar gording (s)	: 2 meter
Jarak antar kuda-kuda utama (L1)	: 2 meter
Jarak antar setengah kuda-kuda	: 4 meter
Kemiringan atap	: 25°

Bahan Gording	: Profil CNP 150x65x20x3
Bahan rangka kuda-kuda	: Profil Baja 2L.50.50.5
Bahan penutup atap	: Spandek
Mutu profil baja	: B-37
Modulus Elastisitas (E)	: 200000 MPa

2.10.1 Perencanaan Gording

Tabel 2. 12 Rekap Dimensi Profil Gording

Dimensi : C150 x 65 x 20 x 3,2							
W (kg/m)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	h (mm)	b (mm)	t (mm)	Z _x (cm ³)	Z _y (cm ³)
7.07	314	51	150	65	3,2	41.8	11.6

2.10.1.1 Perhitungan Pembebanan Gording

A. Beban Mati

- Beban gording = 0.069333 kN/m
- Beban penutup atap = 0.03 kN/m² x 2 m = 0.06006 kN/m
- Beban plafond = 0.196133 kN/m

Dead load (D) rencana gording = 0.32548 kN/m

B. Live load (L) = 1 kN

- Menghitung Momen Arah X

$$\begin{aligned}
 qD &= DL \times \sin(\alpha^\circ) \\
 &= 0.3091 \times \sin(25^\circ) = 0.1306 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 qL &= LL \times \sin(\alpha^\circ) \\
 &= 1 \times \sin(25^\circ) = 0.4226 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{x1,D} &= \frac{1}{8} \times qD \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0.1306 \times 2^2 = 0.0653 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{x1,L} &= \frac{1}{4} \times q_L \times L_1 \\
 &= \frac{1}{4} \times 0,4226 \times 2 = 0,2113 \text{ kN/m} \\
 M_{u,1} &= 1,4 \times M_{x1,D} \\
 (\text{Kombinasi 1}) &= 1,4 \times M_{x1,D} = 0,019 \text{ kNm} \\
 M_{u,2} &= 1,2 \times M_{x1,D} + 1,4 \times M_{x1,L} \\
 (\text{Kombinasi 2}) &= 1,2 \times 0,0653 + 1,4 \times 0,2113 = 0,416 \text{ kNm} \\
 M_{u, \text{Max}} &= 0,416 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Menghitung Momen arah Y

$$\begin{aligned}
 q_D &= DL \times \cos(\alpha^\circ) \\
 &= 0,3091 \times \cos(25^\circ) = 0,2801 \text{ kN/m} \\
 q_L &= LL \times \cos(\alpha^\circ) \\
 &= 1 \times \cos(25^\circ) = 0,9063 \text{ kN/m} \\
 M_{y1,D} &= \frac{1}{8} \times q_D \times L_1 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,1306 \times 2 = 0,1401 \text{ kNm} \\
 M_{y1,L} &= \frac{1}{4} \times q_L \times L_1 \\
 &= \frac{1}{4} \times 0,4226 \times 2 = 0,4531 \text{ kNm} \\
 M_{u,1} &= 1,4 \times M_{x1,D} \\
 (\text{Kombinasi 1}) &= 1,4 \times M_{x1,D} = 0,196 \text{ kNm} \\
 M_{u,2} &= 1,2 \times M_{x1,D} + 1,4 \times M_{x1,L} \\
 (\text{Kombinasi 2}) &= 1,2 \times 0,0653 + 1,4 \times 0,2113 = 0,893 \text{ kNm} \\
 M_{u, \text{Max}} &= 0,893 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

C. Beban angin

- Beban angin kondisi normal = $25 \text{ kg/m} = 0,2452 \text{ kN/m}$
- Angin Tekan

Koefisien angin tekan = $0,1 \text{ kN/m}$

$$W_1 = \text{koef. Angin tekan} \times \text{beban angin} \times \frac{1}{2} \times (2 \times s_1)$$

$$W_1 = 0,1 \times 0,2452 \times \frac{1}{2} \times (2 \times 2)$$

$$W1 = 0,0493 \text{ kN}$$

- Angin Hisap

Koefisien angin hisap = -0,4 kN/m

$$W2 = \text{koef. Angin hisap} \times \text{beban angin} \times \frac{1}{2} \times (2 \times s1)$$

$$W2 = -0,4 \times 0,2452 \times \frac{1}{2} \times (2 \times 2)$$

$$W2 = -0,1961 \text{ kN}$$

Tabel 2. 13 Rekap Pembebanan Gording

REKAP						
Momen	Beban Mati (kNm)	Beban Hidup (kNm)	Beban angin		Kombinasi	
			Tekan (kNm)	Hisap (kNm)	Minimum (kNm)	Maksimum (kNm)
Mx	0.0750	0.2113	0.0245	-0.0980	0.3380	0.4361
My	0.1608	0.4531	-	-	0.918	0.918

2.10.1.2 Kontrol terhadap Tegangan

- Tegangan Minimum

$$Zx = \frac{Mux}{0,9 \times Zx} + \frac{Muy}{0,9 \times Zy}$$

$$Fy = 240 \text{ Mpa}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$Zx = 41800 \text{ mm}^3$$

$$Zy = 11600 \text{ mm}^3$$

$$Zx = \frac{0.3421}{0,9 \times 41800} + \frac{0.902}{0,9 \times 11600} = 86,87$$

$Zx < Fy$, Maka profil aman terhadap tegangan

- Tegangan Maksimum

$$Zx = \frac{Mux}{0,9 \times Zx} + \frac{Muy}{0,9 \times Zy}$$

$$Fy = 240 \text{ Mpa}$$

$$\Phi = 0,9$$

$$Z_x = 41800 \text{ mm}^3$$

$$Z_y = 11600 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = \frac{0.4402}{0,9 \times 41800} + \frac{0.902}{0,9 \times 11600} = 87,19$$

$Z_x < F_y$, Maka profil aman terhadap tegangan

2.10.1.3 Kontrol Terhadap lendutan

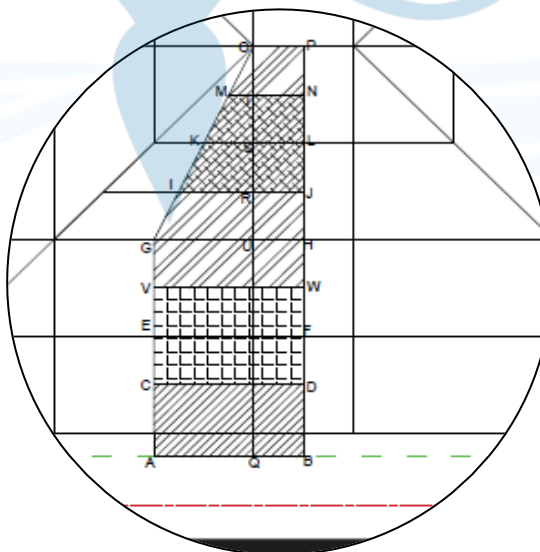
$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{5 \times q D x \times L^4}{384 \times E \times I_y} + \frac{q L x \times L^3}{48 \times E \times I_y} \\ &= \frac{5 \times 0,1375 \times 2000^4}{384 \times 200000 \times 2300000} + \frac{0,422 \times 2000^3}{48 \times 200000 \times 2300000} = 0,21542 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_y &= \frac{5 \times q D y \times L^4}{384 \times E \times I_x} + \frac{q L y \times L^3}{48 \times E \times I_x} \\ &= \frac{5 \times 0,294 \times 2000^4}{384 \times 200000 \times 2260000} + \frac{0,906 \times 2000^3}{48 \times 200000 \times 2260000} = 0,47051 \text{ mm} \end{aligned}$$

2.10.2 Perencanaan kuda-kuda Utama

2.10.2.1 Perhitungan Luasan Setengah kuda-kuda utama

- Perhitungan Luas Atap Kuda -kuda utama

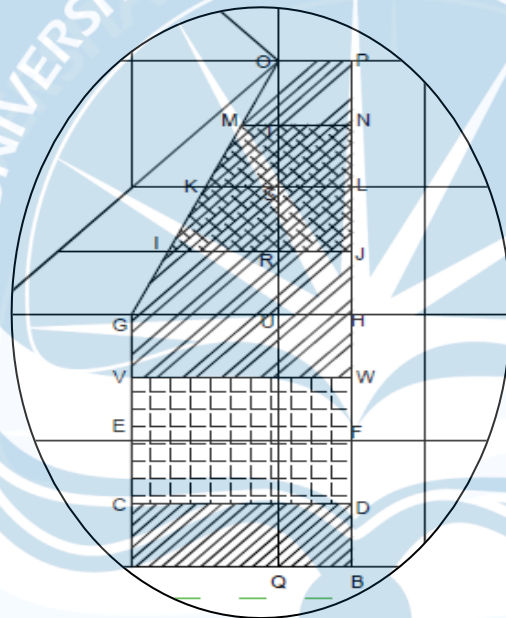


Gambar 2. 3 Area Perhitungan Luas Atap pada KU

Tabel 2. 14 Rekap Luas Area Atap KU

ABCD	6.029057118	m ²
CDVW	5.206755838	m ²
VWIJ	6.344423034	m ²
IJMN	4.413511676	m ²
MNOP	1.655066878	m ²

- Perhitungan Luas Plafond



Gambar 2. 4 Area Perhitungan Luas Plafond pada KU

Tabel 2. 15 Rekap Luas Area Plafon KU

ABCD	3	m ²
CDVW	6	m ²
VWIJ	5.75	m ²
IJMN	4	m ²
MNOP	1.5	m ²

2.10.2.2 Perhitungan pembebanan Kuda-kuda Utama

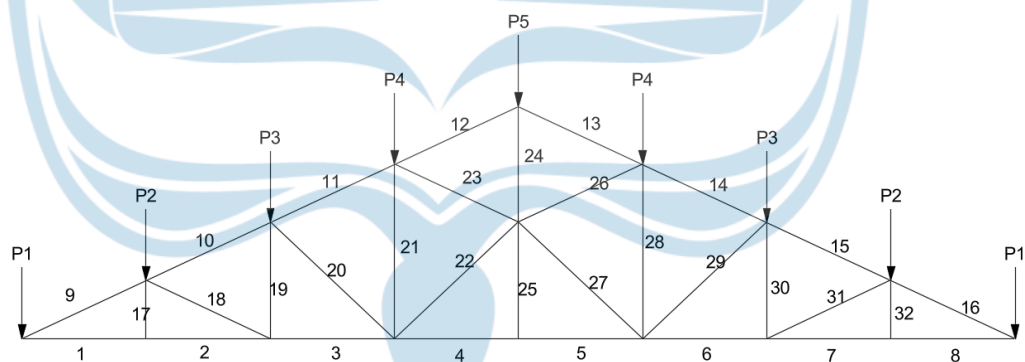
Pada perhitungan pembebanan kuda-kuda utama dihitung beban titik pada setiap pertemuan batang. Terdapat 5 beban titik dimana ada P1, P2, P3, P4 dan P5. Permodelan pada SAP 2000 seperti pada gambar dimana hanya dimodelkan untuk batang atas. Beban pada atap terdapat beban mati, beban hidup dan beban angin. Beban mati terdiri dari beban kuda-kuda, beban gording, beban penutup atap dan beban plafon.

Data-data pembebanan :

Berat gording = 0,06933 kN/m

Jarak antar kuda-kuda = 2 meter

Berat penutup atap = 0,06001 kN/m



Gambar 2. 5 Beban Titik Pada Rangka Kuda-kuda Utama

a) Perhitungan Beban Mati

1. Beban P1

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording EF
= 0,06933 x 3
= 0,20799 kN
- Beban atap = Luasan ABCD x berat atap
= 6,0291 x 0,0300

$$= 0,1809 \text{ kN}$$

- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times \text{panjang batang 1} \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times 2,207 \times 0,3599$
 $= 0,39711 \text{ kN}$

- Beban plafond = Luasan ABCD x berat plafond
 $= 3 \times 0,1961$
 $= 0,5884 \text{ kN}$

2. Beban P2

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording GH
 $= 0,06933 \times 3$
 $= 0,20799 \text{ kN}$

- Beban atap = Luasan CDVW x berat atap
 $= 5,2067 \times 0,0300$
 $= 0,1562 \text{ kN}$

- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times (\text{panjang batang 1+2}) \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times (2,207 + 2,207) \times 0,3599$
 $= 0,79422 \text{ kN}$

- Beban plafond = Luasan CDVW x berat plafond
 $= 6 \times 0,1961$
 $= 1,176 \text{ kN}$

3. Beban P3

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording GH
 $= 0,06933 \times 3$
 $= 0,20799 \text{ kN}$

- Beban atap = Luasan VWIJ x berat atap
 $= 6,3444 \times 0,0300$
 $= 0,19038 \text{ kN}$

- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times (\text{panjang batang 2+3}) \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times (2,207 + 2,207) \times 0,3599$
 $= 0,79422 \text{ kN}$

- Beban plafond = Luasan VWIJ x berat plafond
 $= 5,75 \times 0,1961$
 $= 1,12776 \text{ kN}$

4. Beban P4

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording KL
 $= 0,06933 \times 2$
 $= 0,13866 \text{ kN}$
- Beban atap = Luasan IJMN x berat atap
 $= 4,4135 \times 0,0300$
 $= 0,13244 \text{ kN}$
- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times (\text{panjang batang } 2+3) \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times (2,207 + 2,207) \times 0,3599$
 $= 0,79422 \text{ kN}$
- Beban plafond = Luasan IJMN x berat plafond
 $= 4 \times 0,1961$
 $= 0,7845 \text{ kN}$

5. Beban P5

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording OP
 $= 0,06933 \times 2 \times 1,5$
 $= 0,20799 \text{ kN}$
- Beban atap = Luasan MNOP x berat atap
 $= 1,655 \times 0,0300 \times 2$
 $= 0,09933 \text{ kN}$
- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times (\text{panjang batang } 2+3) \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times (2,207 + 2,207) \times 0,3599$
 $= 0,79422 \text{ kN}$
- Beban plafond = Luasan MNOP x berat plafond
 $= 1,5 \times 2 \times 0,1961$
 $= 0,5884 \text{ kN}$

Tabel 2. 16 Rekap Pembebanan (Dead Load) Kuda-kuda Utama

BEBAN	Beban kuda-kuda	Berat Gording	Berat penutup Atap	Berat Plafon	Jumlah beban (kN)	INPUT SAP	SIDL	DL		SIDL	DL
P1	0,40	0,21	0,18	0,59	1,37	1,37	0,98	0,40	+	-	-
P2	0,79	0,21	0,16	1,18	2,34	2,34	1,54	0,79		-	-
P3	0,79	0,21	0,19	1,13	2,32	2,32	1,53	0,79		-	-
P4	0,79	0,14	0,13	0,78	1,85	1,85	1,06	0,79		-	-
P5	0,79	0,21	0,10	0,59	1,69	1,69	0,90	0,79		0,11	0,72

b) Beban Hidup

$$P1 = P2 = P3 = P4 = P5 = 1 \text{ kN}$$

c) Beban Angin

- Beban angin kondisi normal = $0,2451 \text{ kN/m}^2$

Contoh perhitungan di poin W1 dan W6

$$1. \text{ Koefisien angin tekan} = 0,02\alpha - 0,40$$

$$= (0,02 \times 25^\circ) - 0,4 = 0,1$$

$$\begin{aligned} \text{a. } W1 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin tekan} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times 0,1 \times 0,24451 \\ &= 0,1478 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$2. \text{ Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$\begin{aligned} \text{a. } W6 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin hisap} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times (-0,4) \times 0,24451 \\ &= -0,5912 \end{aligned}$$

Tabel 2. 17 Rekap Beban Kuda-kuda Utama

REKAP BEBAN ANGIN					
Beban Angin	Beban	W cos a (Wy)	Input SAP	W Sin a (Wx)	Input SAP
W1	0.148	0.134	0.134	0.062	0.062
W2	0.128	0.116	0.116	0.054	0.054
W3	0.156	0.141	0.141	0.066	0.066
W4	0.108	0.098	0.098	0.046	0.046
W5	0.041	0.037	0.037	0.017	0.017
W6	-0.591	-0.536	-0.536	-0.250	-0.250
W7	-0.511	-0.463	-0.463	-0.216	-0.216
W8	-0.622	-0.564	-0.564	-0.263	-0.263
W9	-0.433	-0.392	-0.392	-0.183	-0.183
W10	-0.162	-0.147	-0.147	-0.069	-0.069

Analisis gaya dalam pada kuda-kuda utama atap menggunakan *software* **SAP 2000**

Dari perhitungan menggunakan SAP 2000 diperoleh gaya dalam batang pada kuda-kuda utama sebagai berikut:

Tabel 2. 18 Ouput Gaya Dalam Batang menggunakan SAP2000

Nomor batang	P Tarik (+) kN	P Tekan (-) kN	L (m)
1	0.31	-	0,9326
2	2.54	-	1,8652
3	2.77	-	2,7978
4	11.553	-	3,7305
5	2.77	-	2,7978
6	2.54	-	1,8652
7	0.31	-	0,9326
8	31.386	-	2,0

9	31.403	-	2,0
10	26.923	-	2,0
11	19.896	-	2,0
12	19.896	-	2,0
13	26.923	-	2,0
14	31.403	-	2,0
15	31.386	-	2,0
16	-	-34.672	2,207
17	-	-29.751	2,207
18	-	-24.627	2,207
19	-	-17.363	2,207
20	-	-17.363	2,207
21	-	-24.627	2,207
22	-	-29.751	2,207
23	-	-34.672	2,207
24	-	-7.31	2,2068
25	-	3.357	2,7348
26	-	-7.31	2,7348
27	-	3.357	2,2068
28	-	-4.972	2,2068
29	-	-6.423	2,7348
30	-	-4.972	2,7348
31	-	-6.423	2,2068

2.10.2.3 Perencanaan profil kuda-kuda utama

Perencanaan kuda-kuda utama menggunakan profil double angel 2L 50.50.5.

Diketahui:

Lebar sayap profil(b) = 50 mm

Tinggi profil (h) = 50 mm

Tebal badan profil (t)	= 5 mm
A (section area)	= 9,60 cm ²
W (Berat Profil)	= 7,54 kg/m
I _x	= 22,20 cm ⁴
I _y	= 55,41 cm ⁴
i _x	= 1,52 cm
i _y	= 2,40 cm
S _x	= 6,18 cm ³
S _y	= 10,17 cm ³
Tebal Pelat (T)	= 9 mm
F _y	= 240 MPa
F _u	= 370 MPa
Modulus geser baja (G)	= 77200 MPa
Modulus Elastisitas (E)	= 200000 MPa
r ₁	= 6,5 mm
r ₂	= 3,0 mm

1. Perhitungan profil batang tekan

Pada analisis dengan software SAP 2000 didapatkan gaya dalam batang tekan dengan nilai maksimum -23,870 pada batang 1 dan batang 8. Gaya batang dengan nilai maksimum menunjukkan bahwa rangka kuda-kuda dapat menahan beban gravitasi maupun beban lateral maksimal sebesar 23,870 kN.

P _{maks}	= 34,672 kN
L	= 2207 mm
F _y	= 240 MPa

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

- **Periksa kelangsingan penampang**

Pemeriksaan kelangsingan penampang dilakukan sesuai dengan SNI 1729:2020 tabel B4 yaitu

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \frac{E}{\sqrt{f_y}} = \frac{50}{5} \leq 0,45 \frac{200000}{\sqrt{240}} = 10 \leq 12,9904$$

Nilai b/t yang lebih kecil dari nilai rasio lebar terhadap tebal menunjukkan bahwa profil non-langsing.

- **Periksa tekuk lentur sumbu X-X**

Tekuk lentur terjadi ketika batang tekan kehilangan stabilitasnya dan melengkung (deformasi lateral) akibat gaya tekan yang bekerja melebihi batas kritis.

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 2207}{15,20} = 145,1616$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,9659$$

Menghitung tegangan kritis

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(145,1616)^2} = 93,6754$$

Menghitung tekan kritis (Fcr)

Fcr merupakan tegangan tekan kritis yang memperhitungkan kondisi sebenarnya dalam zona tekuk elastis atau inelastis Berdasarkan AISC perhitungan Fcr dibagi menjadi 2 zona yaitu zona Elastis (jika $\frac{KL}{r_x} > 4,71 \sqrt{(E/f_y)}$) dan zona inelastis (jika $\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{(E/f_y)}$). Ketika elemen berada dalam zona elastis maka $F_{cr} = 0,877 \times F_e$. Sedangkan jika elemen mengalami plastis sebelum tekuk maka Fcr dihitung dengan $F_{cr} = 0,658^{f_y/F_e} \times F_y$.

Pada perhitungan nilai $KL/r_x > 4,71 \sqrt{(E/f_y)}$, maka elemen berada pada zona elastis sehingga nilai F_{cr} dapat dihitung sebagai berikut:

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e = 0,877 \times 93,6754$$

$$F_{cr} = 82,1534 \text{ Mpa}$$

Pemeriksaan terhadap tekuk lentur Torsi

$$a = 500 \text{ mm}$$

$$r_{i=ix} = 15,20 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r_i} = \frac{500}{15,20} = 32,8866$$

$$\frac{a}{r_i} < 40, \text{ maka nilai } \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r_y}\right)$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{1 \times 2207}{23,64}\right) = 93,3659$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\frac{KL^2}{r}} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(93,3659)^2} = 226,4400 \text{ MPa}$$

Nilai $\left(\frac{KL}{r}\right)_m < 226,4400$, maka nilai F_{cr} arah sumbu y adalah

$$\begin{aligned} F_{cry} &= \left[0,658^{F_y/F_e}\right] \times F_y \\ &= \left[0,658^{240/226,4400}\right] \times 240 \\ &= 154,0111 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Mencari nilai tekuk lentur dalam arah sumbu z:

$$\begin{aligned} F_{crz} &= \frac{GJ}{A \times r_0} \\ &= \frac{77200 \times 7666,66}{960,4 \times 924,47} \end{aligned}$$

$$= 666,615 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \times 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \\ &= \left(\frac{154,0111 + 666,615}{2 \times 0,854} \right) \times 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 154,0111 \times 666,615 \times 0,854}{(154,0111 + 666,615)^2}} \\ &= 212,0432 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dipilih nilai F_{cr} yang paling kecil yaitu = 82,1533 MPa

- Menghitung Kekuatan Tekan Desain

$$\begin{aligned} \phi_c P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 82,1533 \times 960,4 \\ &= 71010,10 \text{ N} = 71,01 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi_c P_n > P_{umax} = 71,01 > 23,87 \text{ (AMAN)}$$

2. Perhitungan profil batang tarik

$$P_u \text{ Tarik} = 31,403$$

$$L = 2207 \text{ mm}$$

- Cek Kelangsingan Batang Tarik

$$r, \text{ min} = 15,20$$

$$L/r = 2207 / 15,20$$

- Pemeriksaan Leleh Tarik Penampang Bruto

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$A_g = 960,4 \text{ mm}^2$$

$$P_n = F_y \times A_g = 240 \times 960,4 = 230496 \text{ N}$$

$$0,9P_n = 207446,4 \text{ N} = 207,4464 \text{ kN}$$

$$0,9P_n > P_u \text{ Tarik, sehingga } 207,4464 \text{ kN} > 31,403 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN}$$

- **Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto**

Pemeriksaan keruntuhan tarik pada penampang netto (net section) suatu batang tarik baja dilakukan untuk memastikan bahwa batang tersebut mampu menahan gaya tarik tanpa terjadi keruntuhan pada penampang yang paling lemah akibat adanya lubang baut atau pengurangan area lainnya.

$$t \text{ profil} = 5 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ baut} = 12 \text{ mm}$$

$$\varnothing \text{ lubang} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Luas penampang efektif (A}_n\text{)} = A_g - \varnothing \text{ lubang} \times t_{\text{profil}}$$

$$= 960,4 - 14 \times 5$$

$$= 890,4 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan keruntuhan tarik juga mencakup pemeriksaan terhadap fenomena *Lag geser* yang adalah distribusi tegangan geser pada sambungan antara elemen batang tarik dan pelat penghubung (seperti pelat gusset atau pelat sambungan) tidak seragam. Berdasarkan Tabel D.1 pada SNI 1729:2020 Tentang Faktor *Lag Geser* Untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik, sesuai profil yang digunakan yaotu double siku maka nilai faktor *Lag geser* (U) diperoleh dari $1 - \bar{x}/L$, dimana $\bar{x}$ yaitu jarak titik pusat-x dan L merupakan panjang batang tarik.

$$U = \bar{x}/L = 14,1/2207 = 0,9936$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$A_e = A_n \times U = 890,4 \times 0,9936$$

$$= 884,71 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,75 \times F_u \times A_e = 0,75 \times 370 \times 884,71 \\ &= 245507.43 \text{ N} = 245,501 \text{ kN}\end{aligned}$$

$\phi P_n > P_u$ Tarik, $245,501 > 31,403 \text{ kN} \rightarrow$ AMAN, Menunjukkan profil aman terhadap keruntuhan Tarik

2.10.2.4 Perencanaan sambungan

Perencanaan yang menggunakan profil 2L 50x50x5 dan analisis gaya dalam yang didapatkan dari permodelan SAP adalah

$$P_{\text{maks}} = 34,672 \text{ kN (Tekan)}$$

$$= 31,403 \text{ kN (Tarik)}$$

$$\phi \text{ baut} = 12 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ lubang} = 14 \text{ mm}$$

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat tumpu profil} &= 0,75 \times 2,4 \times D_{\text{baut}} \times \text{tebal profil} \times F_u \\ &= 39960 \text{ N} = 39,96 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Geser Baut} &= 0,75 \times F_{nv} \times A_b \\ &= 31554 \text{ N} = 31,554 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jumlah baut

$$\begin{aligned}\text{Batang tekan} &= P_{\text{maks}} / \text{Kuat Geser Baut} \\ &= 1,099 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batang tarik} &= P_{\text{maks}} / \text{Kuat Geser Baut} \\ &= 0,995 \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jarak antar baut

$$\text{Minimum} = 32 \text{ mm}$$

Ideal = 3 x jarak minimum

$$= 3 \times 32 \text{ mm} = 36$$

Dipakai jarak = 40 mm

Jarak Tepi

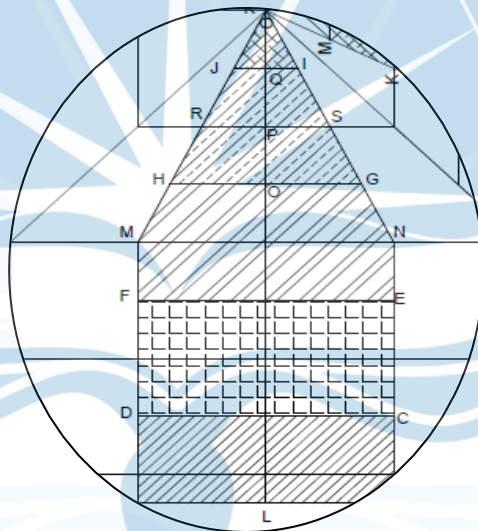
Minimum = 26 mm

Jarak Ideal = 30 mm

2.10.3 Perencanaan Setengah Kuda-kuda

2.10.3.1 Perhitungan Luasan setengah kuda-kuda

- Perhitungan Luas Atap Setengah kuda-kuda

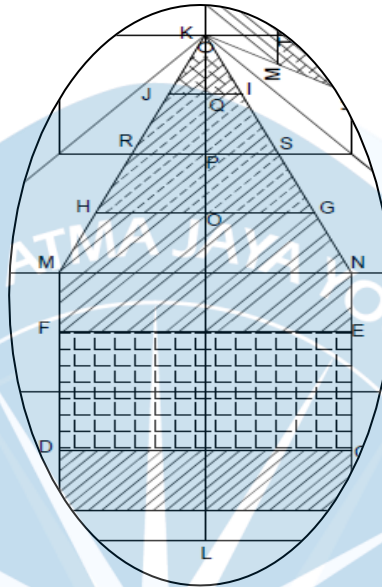


Gambar 2. 6 Area Perhitungan Luas Atap Setengah Kuda-Kuda

Tabel 2. 19 Rekap Luas Area Atap Setengah Kuda-Kuda

ABCD	6.41	m ²
DCEF	8.82	m ²
EFHG	7.91	m ²
GHJI	4	m ²
IJK	0.5	m ²

- Perhitungan Luas Plafond

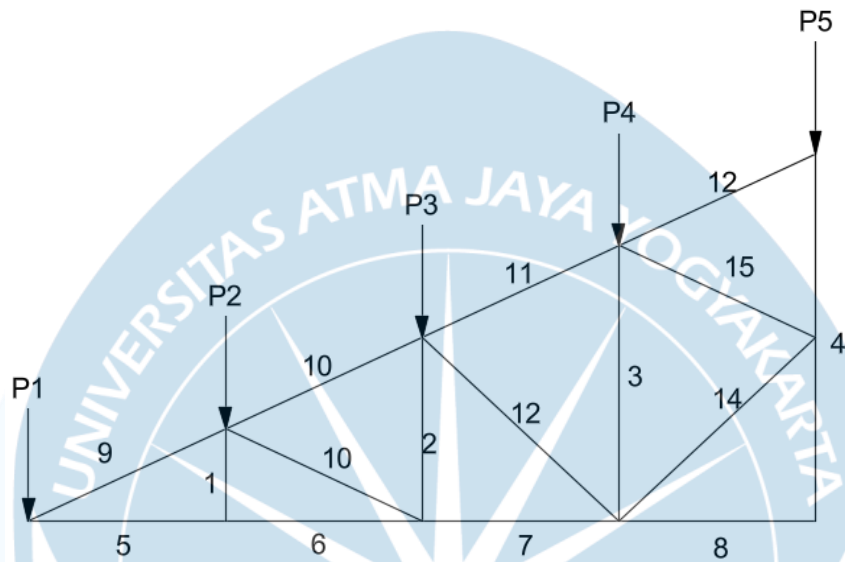


Gambar 2. 7 Area Perhitungan Luas Plafon Setengah Kuda-Kuda

Tabel 2. 20 Rekap Luas Area Plafon Setengah Kuda-kuda

ABCD	4	m ²
DCEF	8	m ²
EFHG	7.5	m ²
GHJI	4	m ²
IJK	0.5	m ²

2.10.3.2 Perhitungan pembebanan setengah kuda-kuda



a) Perhitungan Beban Mati

Contoh perhitungan pada titik P1

1. Beban P1

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording EF
 $= 0,06933 \times 3$
 $= 0,20799 \text{ kN}$
- Beban atap = Luasan ABCD x berat atap
 $= 6,0291 \times 0,0300$
 $= 0,1809 \text{ kN}$
- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times$ panjang batang 1 x berat profil kuda-kuda
 $= \frac{1}{2} \times 2,207 \times 0,3599$
 $= 0,39711 \text{ kN}$
- Beban plafond = Luasan ABCD x berat plafond
 $= 3 \times 0,1961$
 $= 0,5884 \text{ kN}$

Tabel 2. 21 Rekap Pembebanan (Dead Load) Setengah kuda-kuda

BEBAN	Beban kuda-kuda	Berat Gording	Berat penutup Atap	Berat Plafon	Jumlah beban (kN)	INPUT SAP	SIDL	DL		SIDL	LL
P1	0.36	0.67	0.34	0.78	2.16	2.16	1.80	0.36	+	-	-
P2	0.72	0.67	0.47	1.57	3.43	3.43	2.71	0.72		-	-
P3	0.72	0.67	0.42	1.47	3.28	3.28	2.56	0.72		2.37	0.72
P4	0.72	0.34	0.21	0.78	2.05	2.05	1.33	0.72		-	-
P5	0.72	0.00	0.03	0.10	0.84	0.84	0.12	0.72		1.27	0.72

b) Beban Hidup

$$P1 = P2 = P3 = P4 = P5 = 1 \text{ kN}$$

c) Beban Angin

- Beban angin kondisi normal = $0,2451 \text{ kN/m}^2$

Contoh perhitungan di poin W1 dan W6

$$3. \text{ Koefisien angin tekan} = 0,02\alpha - 0,40$$

$$= (0,02 \times 25^\circ) - 0,4 = 0,1$$

$$\begin{aligned} \text{b. } W1 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin tekan} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times 0,1 \times 0,24451 \\ &= 0,1478 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$\begin{aligned} \text{b. } W6 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin hisap} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times (-0,4) \times 0,24451 \\ &= -0,5912 \end{aligned}$$

Tabel 2. 22 Rekap Beban Angin Pada Rangka Atap Setengah Kuda-Kuda

REKAP BEBAN ANGIN					
Beban Angin	Beban	Wcos a (Wy)	Input SAP	W Sin a (Wx)	Input SAP
W1	0.157	0.143	0.143	0.066	0.066

W2	0.216	0.196	0.196	0.091	0.091
W3	0.194	0.176	0.176	0.082	0.082
W4	0.098	0.089	0.089	0.041	0.041
W5	0.012	0.011	0.011	0.005	0.005

Perhitungan Perencanaan profil setengah Kuda-Kuda dan perencanaan sambungan sama seperti pada kuda-kuda utama atap. Dengan menggunakan Profil yang sama yaitu Double Siku 50.50.5.

Tabel 2. 23 Rekap Output Gaya Dalam SAP 200 Untuk Rangka Atap Setengah Kuda-Kuda

Nomor batang	P Tarik (+) kN	P Tekan (-) kN	L (m)
1	0.333	-	0,9326
2	2.889	-	1,8652
3	1.31	-	2,7978
4	3.622	-	3,7305
5	5.139	-	2,0
6	5.136	-	2,0
7	-	-0.138	2,0
8	-	-10.159	2,0
9	-	-8.607	2,207
10	-	-2.818	2,207
11	3.076	-	2,207
12	8.349	-	2,207
13	-	-5.324	2,2068
14	6.623	-	2,7348
15	-	-7.278	2,7348
16	-	-5.828	2,2068

Tabel 2. 24 Rekap Perhitungan Perencanaan profil dan sambungan Setengah kuda-kuda

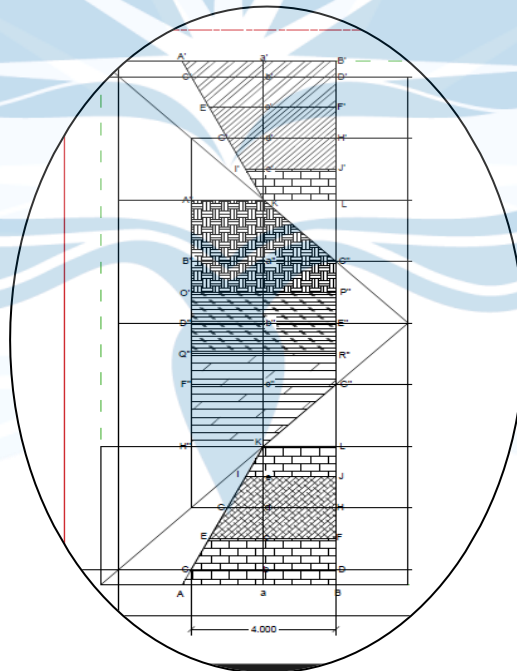
Perencanaan Batang Tekan			
b/t	=	10	
Syarat	=	12,99	
		$10 < 12,99 \rightarrow$	Non Langsing
$\frac{KL}{r_x}$	=	131,55	
$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	=	135,9659	
Tekuk Lentur sumbu X-X			
Fe	=	114,07 MPa	
Fcr	=	99,49 MPa	
Tekuk Lentur Torsi			
Fe	=	253,17 MPa	
Fcy	=	275,74 MPa	
Fcz	=	666,62 MPa	
Fcr	=	222,03 MPa	
$\phi_c P_n$	=	85,99 kN	
$\phi_c P_n > P_u = 85,99 \text{ kN} > 10,159 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN}$			
Perencanaan Batang Tarik			
Kelangsingan Batang Tarik			
L/r	=	$145,16 > 300$	AMAN
Pemeriksaan Leleh Tarik Penampang Bruto			
ϕP_n	=	207,44 kN	
$\phi P_n > P_u = 207,44 \text{ kN} > 8,349 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN}$			
Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto			
ϕP_n	=	245,51 kN	

$\phi P_n > P_u = 245,51 \text{ kN} > 8,349 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN}$			
ϕ Baut	=	12 mm	
ϕ Lubang	=	14 mm	
Jumlah baut batang tekan	=	2 buah	
Jumlah baut batang tarik	=	2 buah	
Jarak antar Baut	=	40 mm	
Jarak Tepi	=	30 mm	

2.10.4 Perencanaan Kuda-kuda Trapesium

2.10.4.1 Perhitungan Luasan kuda-kuda trapesium

- Perhitungan luas Atap kuda-kuda Trapesium



Gambar 2. 8 Area Perhitungan Luas Atap pada Kuda-Kuda Trapesium

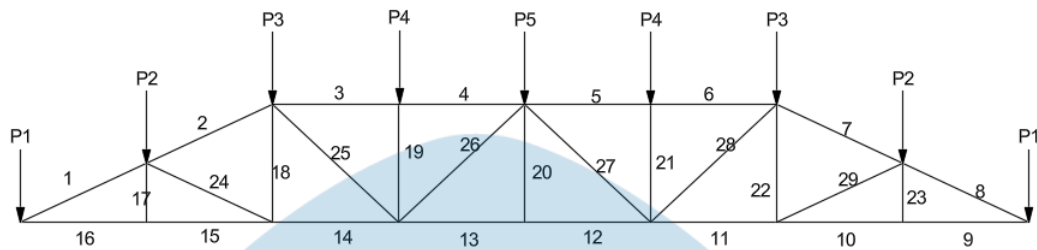
Tabel 2. 25 Rekap Luas Atap Kuda-Kuda Trapesium

Bagian Bawah		
ABEF	6.413	m2
EFIJ	6.620	m2
IJKL	2.483	m2
		m2
Bagian Tengah		
AKBC	9.930	m2
HKQR	9.930	m2
OPQR	8.827	m2

Tabel 2. 26 Rekap Luas Area Plafon Kuda-Kuda Trapesium

1. Bagian Bawah		
ABEF	5.8125	m2
EFIJ	6	m2
IJKL	2.25	m2
		m2
2. Bagian tengah		
AKBC	9	m2
HKQR	9	m2
OPQR	8	m2

2.10.4.2 Perhitungan pembebanan kuda-kuda trapesium



Gambar 2. 9 Beban Titik Pada Rangka Atap Kuda-Kuda Trapesum

a) Perhitungan Beban Mati

Contoh perhitungan pada titik P1

1. Beban P1

- Beban gording = berat profil gording x panjang gording EF
 $= 0,06933 \times 3$
 $= 0,20799 \text{ kN}$
- Beban atap = Luasan ABCD x berat atap
 $= 6,0291 \times 0,0300$
 $= 0,1809 \text{ kN}$
- Beban kuda-kuda = $\frac{1}{2} \times \text{panjang batang 1} \times \text{berat profil kuda-kuda}$
 $= \frac{1}{2} \times 2,207 \times 0,3599$
 $= 0,39711 \text{ kN}$
- Beban plafond = Luasan ABCD x berat plafond
 $= 3 \times 0,1961$
 $= 0,5884 \text{ kN}$

Tabel 2. 27 Rekap Pembebanana (Dead Load) Kuda-kuda Trapesium

BEBAN	Beban kuda-kuda	Berat Gording	Berat penutup Atap	Berat Plafon	Jumlah beban (kN)	INPUT SAP	SIDL	DL		SIDL	LL
P1	0.36	0.67	0.34	1.14	2.51	2.51	2.15	0.360	+		
P2	0.72	0.51	0.35	1.18	2.75	2.75	2.03	0.720			
P3	0.72	0.34	0.13	0.44	1.63	1.63	0.91	0.720		2.56	0.72
P4	0.72	0.67	0.53	1.77	3.69	3.69	2.97	0.720			
P5	0.72	0.34	0.47	1.57	3.09	3.09	2.37	0.720		2.56	0.72

b) Beban Hidup

$$P1 = P2 = P3 = P4 = P5 = 1 \text{ kN}$$

c) Beban Angin

- Beban angin kondisi normal = $0,2451 \text{ kN/m}^2$

Contoh perhitungan di poin W1 dan W6

$$1. \text{ Koefisien angin tekan} = 0,02\alpha - 0,40$$

$$= (0,02 \times 25^\circ) - 0,4 = 0,1$$

$$\begin{aligned} \text{a. } W1 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin tekan} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times 0,1 \times 0,24451 \\ &= 0,1478 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$2. \text{ Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$\begin{aligned} \text{b. } W6 &= \text{Luasan ABCD} \times \text{koefisien angin hisap} \times \text{beban angin} \\ &= 6,0291 \times (-0,4) \times 0,24451 \\ &= -0,5912 \end{aligned}$$

Tabel 2. 28 Rekap Beban Angin Pada Rangka Atap Kuda-kuda Trapesium

REKAP BEBAN ANGIN					
Beban Angin	Beban	W cos a (Wy)	Input SAP	W Sin a (Wx)	Input SAP
W1	0.157	0.143	0.143	0.066	0.066
W2	0.162	0.147	0.147	0.069	0.069
W3	0.061	0.055	0.055	0.026	0.026
W4	0.243	0.221	0.221	0.103	0.103
W5	0.216	0.196	0.196	0.091	0.091
W6	-0.629	-0.570	-0.570	-0.266	-0.266
W7	-0.649	-0.588	-0.588	-0.274	-0.274
W8	-0.243	-0.221	-0.221	-0.103	-0.103
W9	-0.974	-0.883	-0.883	-0.412	-0.412
W10	-0.866	-0.785	-0.785	-0.366	-0.366

Perencanaan Profil kuda-kuda Trapesium dan sambungan

Tabel 2. 29 Rekap Output Gaya Dalam SAP 200 Untuk Rangka Atap Kuda-Kuda Trapesium

Nomor batang	P Tarik (+) kN	P Tekan (-) kN	L (m)
1	5.157	-	0,9326
2	2.889	-	1,8652
3	1.31	-	2,7978
4	3.622	-	3,7305
5	5.139	-	2,0
6	5.136	-	2,0
7	-	-20.523	2,0
8	-	-42.132	2,0
9	-	-12.451	2,207

10	-	-19.245	2,207
11	3.076	-	2,207
12	11.263	-	2,207
13	-	-21.288	2,2068
14	6.623	-	2,7348
15	-	-32.545	2,7348
16	-	-31.888	2,2068

Tabel 2. 30 Rekap Perhitungan Perencanaan profil dan sambungan kuda-kuda

Trapesium

Perencanaan Batang Tekan			
b/t	=	10	
Syarat	=	12,99	
		$10 < 12,99 \rightarrow$	Non Langsing
$\frac{KL}{rx}$	=	98,65	
$4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}}$	=	135,9659	
Tekuk Lentur sumbu X-X			
Fe	=	202,79 MPa	
Fcr	=	146,24 MPa	
Tekuk Lentur Torsi			
Fe	=	401,61 MPa	
Fcy	=	490,20 MPa	
Fcz	=	666,62 MPa	
Fcr	=	352,21 MPa	
ϕcPn	=	126,41 kN	
$\phi cPn > Pu = 126,41 \text{ kN} > 42,132 \text{ kN} \rightarrow \text{AMAN}$			
Perencanaan Batang Tarik			

Kelangsingan Batang Tarik			
L/r	=	122,68 > 300	AMAN
Pemeriksaan Leleh Tarik Penampang Bruto			
0,9Pn	=	207,44 kN	
0,9Pn > Pu = 207,44 kN > 11,26 kN → AMAN			
Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto			
φPn	=	245,22 kN	
φPn > Pu = 245,22 kN > 11,26 kN → AMAN			
ØBaut	=	12 mm	
ØLubang	=	14 mm	
Jumlah baut batang tekan	=	2 buah	
Jumlah baut batang tarik	=	2 buah	
Jarak antar Baut	=	40 mm	
Jarak Tepi	=	30 m	

2.11 Perancangan Tangga

Perancangan tangga yang dirancang merupakan tangga utama. Berikut urutan perancangan sebuah tangga :

2.11.1 Rencana Pembebanan Tangga

Diketahui :

Panjang Tangga	= 3400 mm
Lebar bordes	= 1500 mm
Optrede (O)	= 180 mm
Antrede (A)	= 300 mm
Tebal plat tangga (ht)	= 125 mm
Tinggi antar lantai (H)	= 400 mm
Tinggi bordes	= 2300 mm
Asumsi lebar tangga (Ltg)	= 1000 mm

$$\text{Sudut kemiringan tangga } (\alpha) = \tan \alpha = \frac{O}{A} = 30,96^\circ$$

$$\text{Tinggi beban merata (t)} = \frac{(0,5 \times O \times A)}{\sqrt{O^2 + A^2}} = 0,05 \text{ m}$$

2.11.2 Pembebanan tangga dan bordes

Diketahui:

Berat volume beton = 24

Berat volume ubin = 21

Maka,

Beban qtg:

DL tangga

$$\text{Berat pelat tangga} = h \times \text{berat volume beton} = 0,15 \times 24$$

$$\text{QDL} = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

SDL tangga

$$\text{Berat anak tangga} = t \times \text{berat volume beton} = 0,05 \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat spesi \& keramik} = \text{Berat spesi (50mm)} \times \text{berat volume beton} = 0,05 \times 24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing tangga} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{QSDL} = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

LL tangga

$$\text{Beban hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2 \text{ (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)}$$

Beban qbd:

DL Bordes

$$\text{Berat pelat bordes} = h \times \text{berat volume beton} = 0,15 \times 24 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{QDL} = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

SDL bordes

$$\text{Berat spesi dan keramik} = \text{Spesi (50mm)} \times \text{berat volume beton} = 0,05 \times 24 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

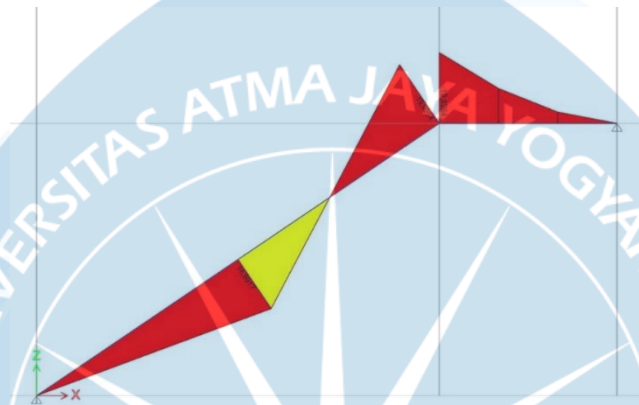
$$\text{Berat railing} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$QSDL = 2,2 \text{ kN/m}^2$$

LL tangga

$$\text{Beban hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2 \text{ (SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1)}$$

Pemodelan tangga dibuat menggunakan ETABS, berikut hasil pemodelan dapat dilihat pada



Gambar 2. 10 Bidang Momen Pada Tangga

2.11.3 Penulangan Tangga dan Bordes

$$f'_c = 25$$

$$F_y = 420$$

$$\text{Asumsi lebar penampang (b)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang (h)} = 125 \text{ mm}$$

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

$$\text{Diameter tulangan pokok} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan bagi} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi efektif (d)} = h - \text{selimut beton} - \left(\frac{1}{2} \times dtul\right) = 125 \text{ mm}$$

Penulangan Tangga

a. Tulangan Tumpuan

$$M_u = 16,8119 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{0,9 \times b \times d^2} = 1,41 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho = 0,003$$

$$A_{s \min} = 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 207 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 1000 \times 125 = 400,533 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{A_s} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{400,533} = 196,088 \text{ mm}$$

Maka digunakan, D10-200

b. Tulangan lapangan

$$M_u = 14,4573 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{0,9 \times b \times d^2} = 1,21 \text{ Mpa}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= 0,003$$

$$A_{s \min} = 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 225 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,003 \times 1000 \times 125 = 342,672 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{A_s} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,15 \text{ mm}$$

Maka digunakan, D10-200

Penulangan Bordes

a. Tulangan Pokok

$$M_u = 16,81$$

$$R_n = 1,41$$

$$\rho = 0,003$$

$$A_{s \min} = 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 225 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d = 0,003 \times 1000 \times 125 = 237,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{A_s} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{237,5} = 196,09 \text{ mm}$$

Maka digunakan, **D10-200**

b. Tulangan bagi

$$A_{s \text{ min}} = 0,0018 \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 225 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times b}{A_s} = \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{225} = 223,402 \text{ mm}$$

Maka digunakan, **D8-150**

Kontrol Gaya Geser:

$$V_u = 22,98 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 1000 \times 125 = 114,11 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot V_c = 0,75 \times 114,11 = 85,58 \text{ kN}$$

$$\text{Check : } V_u < \phi V_c$$

Maka, tidak diperlukan tulangan geser

2.11.3.1 Rekap Penulangan Tangga dan Bordes

Dari hasil perhitungan tulangan tangga dan bordes diatas, didapatkan rekap penulangan sebagai berikut:

Penulangan Tangga	
Tulangan Tumpuan	D10-200
Tulangan Lapangan	D10-200
Tulangan Bagi	D8-150
Penulangan bordes	
Tulangan Tumpuan	D10-200
Tulangan Lapangan	D10-200
Tulangan Bagi	D8-150

2.12 Perancangan Pelat Lantai 1 Arah

Berdasarkan arah momen lentur yang terjadi pelat dibagi menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah (*one way slab*) dan pelat dua arah (*two way slab*).

Pelat satu arah merupakan pelat yang ditumpu pada kedua sisi yang berhadapan dan mengakibatkan momen lentur terjadi pada satu arah. Pelat satu arah merupakan elemen beton bertulang yang berfungsi untuk mentransfer beban ke dua tumpuan yang sejajar. Umumnya, kondisi ini muncul ketika rasio panjang dan lebar pelat lebih dari 2:1 ($L_y/L_x > 2$), sehingga distribusi beban lebih banyak terjadi pada 1 arah saja. (Dr. Achmad Hidayat, 2021).

Pada perancangan pelat satu arah terdapat beberapa tahap yaitu perhitungan beban, penentuan tebal pelat minimum, perhitungan momen ultimate dan perhitungan tulangan pelat. Penentuan tebal pelat minimum diatur pada SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1

Tabel 2. 31 Penentuan Tebal Minimum Pelat

Kondisi Tumpuan	h_{Minimum}
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$
*berlaku untuk beton normal dan $f_y = 420$ Mpa	

Aturan diatas hanya berlaku untuk $f_y = 420$ Mpa, sedangkan untuk kasus lainnya :

- F_y lebih dari 420 Mpa, maka tebal minimum pelatnya dapat dicari dengan persamaan pada tabel 2.2 dan dikalikan dengan $(0.4 + f_y / 700)$.
- Untuk pelat nonprategang yang terbuat dari beton ringan dengan nilai w_c sekitar 1440-1840 kg/m³, persamaan pada tabel 2.2 harus dikalikan dengan nilai terbesar dari:
 - a). $1,65 - 0.0003w_c$
 - b). 1.09

Pelat dengan tumpuan sederhana dan terdiri dari 1 bentangan antara kedua tumpuan (L), maka momen lentur yang timbul akibat beban (q) yang terdistribusi secara merata adalah $M = \frac{qL^2}{8}$. Namun jika tumpuan pelat lebih dari dua maka momen yang terjadi dapat berupa momen positif dan negatif. Hal ini dapat dihitung dengan menggunakan perbedaan koefisien yang sudah diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 6.5.2 pada tabel berikut:

Tabel 2. 32 Koefisien Momen Pelat

Momen	Lokasi	Kondisi	Mu
Positif	Rentang ujung	Ujung tak menerus dan monolit dengan perletakan	$w_u l_n^2/14$
		Ujung tak menerus dan tidak terkekang	$w_u l_n^2/11$
	Bentang tengah	Semua	$w_u l_n^2/16$
Negatif	Muka interior dari pendukung eksterior	Balok menyatu secara monolit dengan balok spandrel pendukung	$w_u l_n^2/24$
		Balok monolit dengan kolom pendukung	$w_u l_n^2/16$
	Muka eksterior dari pendukung interior pertama	Dua bentang	$w_u l_n^2/9$
		Lebih dari dua bentang	$w_u l_n^2/10$
	Muka dari pendukung lainnya	Semua	$w_u l_n^2/11$
	Muka semua pendukung memenuhi (a) dan (b)	(a) Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3m (b) Balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom	$w_u l_n^2/12$

		terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada setiap bentangnya.	
--	--	--	--

2.12.1 Perhitungan Beban

Data didapatkan berdasarkan SNI 8900:2020 tabel 4.4 :

Beban pelat sendiri	$= 0,125 \times 24$	$= 3 \text{ kN/m}^2$
Beban pasir	$= 0,05 \times 18$	$= 0,9 \text{ kN/m}^2$
Beban spesi	$= 0,03 \times 21$	$= 0,63 \text{ kN/m}^2$
Beban keramik	$= 0,02 \times 21$	$= 0,42 \text{ kN/m}^2$
Beban plafond	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	
Beban MEP	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$	
Total beban mati pelat (DL)	$= 5,4 \text{ kN/m}^2$	
Beban hidup	$= 4,79 \text{ kN/m}^2$	
Beban kombinasi	$=$	

$$Qu1 = (1,4 \times 5,4) = 14,44 \text{ kN/m}$$

$$Qu2 = (1,2 \times 5,4) + (1,6 \times 4,79) = 14,44 \text{ kN/m}$$

Dipilih kombinasi beban yang paling besar yaitu 14,44 kN/m

2.12.2 Perencanaan Tebal Minimum pelat

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

$$F_y = 280 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

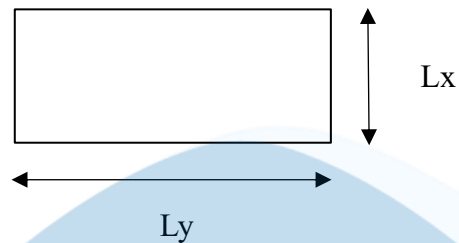
Ukuran dan dimensi asumsi untuk perhitungan:

$$h = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal selimut (Cc)} = 20 \text{ mm}$$

Ø tulangan lentur (d_b) = 10 mm

Ø tulangan susut (d_s) = 10 mm



L_y = bentang terpanjang

L_x = bentang terpendek

Dalam perencanaannya suatu pelat dapat dikategorikan menjadi pelat satu arah bila $l_y/l_x > 2$

- Balok bentang (8000 mm x 2500 mm)
 $\frac{8000}{2500} = 3,2 \sim > 2$ maka, merupakan pelat satu arah

Berdasarkan SNI 2847 Tabel 7.3.1.1 Digunakan 1/24

$$\frac{l_x}{24} = \frac{2500}{24} = 104,1667 \text{ mm} \approx 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif penampang (d)} &= h - c_c - d_s - \frac{d_b}{2} = 95 \text{ mm} \\ &= 125 - 20 - \frac{10}{2} = 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan tebal pelat pada setiap bentang balok diatas, diambil tebal pelat (h) = 125 mm untuk digunakan.

Tabel 2. 33 Rekapitulasi Penentuan Tebal Pelat Minimum

Tipe Pelat	L_x (mm)	L_y (mm)	Tebal (mm)
A	2500	8000	125
B	2000	8000	125
C	1500	6000	125
D	1500	5000	125

2.12.3 Menentukan Momen Ultimit (Mu)

Nilai momen positif dan negatif pada pelat dapat dihitung dengan acuan pada SNI 2847:2019. Dalam menghitung nilai momen positif maupun negatif, terdapat koefisien momen dengan dua bentang atau lebih sebagai berikut:

A. Momen negatif (-)

- Mu-tumpuan (A,G) $= -\frac{Qu \times Ln^2}{24} = \frac{14,4 \times 2200^2}{24} = -2852373 \text{ Nmm}$
 $= -2,85 \text{ kNm}$
- Mu-tumpuan (C1,E2) $= -\frac{Qu \times Ln^2}{10} = \frac{14,4 \times 2200^2}{10} = -6845696 \text{ Nmm}$
 $= -6,85 \text{ kNm}$
- Mu-tumpuan (C2,E1) $= -\frac{Qu \times Ln^2}{11} = \frac{14,4 \times 2200^2}{11} = -6223360 \text{ Nmm}$
 $= -6,223 \text{ kNm}$

B. Momen positif (+)

- Mu-tumpuan (B,F) $= -\frac{Qu \times Ln^2}{14} = \frac{14,4 \times 2200^2}{14} = 4889782 \text{ Nmm}$
 $= 4,89 \text{ kNm}$
- Mu-tumpuan (D) $= -\frac{Qu \times Ln^2}{16} = \frac{14,4 \times 2200^2}{16} = 4278560 \text{ Nmm}$
 $= 4,28 \text{ kNm}$

Dari perhitungan diatas, diambil momen (-) terbesar yaitu $Mu = 6,85 \text{ kN/m}$ untuk daerah tumpuan dan momen (+) terbesar $Mu = 4,89 \text{ kNm}$ untuk daerah lapangan.

2.12.4 Perhitungan tulangan Pelat

$$d = h - cc - ds - \frac{db}{2} = 125 - 20 - \frac{10}{2} = 100 \text{ mm}$$

a. Menghitung gaya geser

$$Vu1 = \frac{1,15 \times Qu \times ln}{2} = \frac{1,15 \times 14,14 \times 2200}{2} = 17892,16 \text{ N}$$

$$Vu1 = 17,892 \text{ kN}$$

$$Vu2 = \frac{1,0 \times Qu \times ln}{2} = \frac{1,0 \times 14,14 \times 2200}{2} = 15558,4,16 \text{ N}$$

$$Vu2 = 15,558 \text{ kN}$$

Maka nilai Vu yang dipakai adalah $Vu1 = 17,892 \text{ kN}$

b. Menghitung kuat geser beton (V_c)

$$\phi = 0,75$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi V_c = \phi \times 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 100 = 63750 \text{ N} \\ &= 63,75 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, pasal 7.5.1.1, untuk setiap kombinasi beban terfaktor yang dipakai, salah satu syarat yang dipenuhi adalah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$63,75 \text{ kN} \geq 17,892 \text{ kN}$$

Koefisien tahanan lentur

$$\phi = 0,9 \text{ (asumsi terkendali tarik)}$$

$$\text{Balok Tumpuan} = k = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{6845696}{0,9 \times 1000 \times 100^2} = 0,285237333$$

$$\text{Balok Lapangan} = k = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{4889782}{0,9 \times 1000 \times 100^2} = 0,427856$$

c. Menghitung tulangan tumpuan (momen negatif)

- Perhitungan rasio penulangan

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{1 - \sqrt{1 - 2k}}{0,85 f_c'}$$

$$\rho = \frac{0,85 \times 25}{280} \times \frac{1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,285}}{0,85 \times 25} = 0,001025$$

$$\rho_{max} = 0,36 \times \frac{f_c' \beta_1}{f_y} = 0,36 \times \frac{25 \times 0,85}{280} = 0,027321$$

$$\rho < \rho_{maks} = 0,001025 < 0,027321 = OK!$$

- Kebutuhan Luas Tulangan Tarik

Berdasarkan tabel 7.6.1.1 SNI:2019, Tipe tulangan dengan batang ulir dan f_y dibawah 420 maka $A_s. min = 0,0020A_g$

$$A_s. req (p.b.d) = 0,001025 \times 1000 \times 100 = 102,5635 \text{ mm}^2$$

$$A_s. min = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$A_s. min > A_s. req$ maka diambil luas tulangan minimum yaitu 250 mm.

$$A_s. req = 250 \text{ mm}$$

$$d. \text{ tulangan tarik} = 10 \text{ mm}$$

$$S = \frac{0,25\pi D^2 b}{A_s. req} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,159 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 3h = 3 \times 125 = 375 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan P10-250

$$d. \text{ tulangan susut} = 10 \text{ mm}$$

$$S = \frac{0,25\pi D^2 b}{A_s. req} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,159 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 5h = 5 \times 125 = 625 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan D10-250

d. Menghitung tulangan lapangan (Momen Positif)

$$\beta_1 = 0,85$$

- Perhitungan rasio penulangan

$$\rho = (0,85 \times f_c') / f_y \times (1 - \sqrt{1 - 2k / (0,85 f_c')})$$

$$\begin{aligned} \rho &= (0,85 \times 25) / 280 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,4278 / (0,85 \times 25)}) \\ &= 0,0015437 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,36 \times \frac{f'c\beta_1}{f_y} = 0,36 \times \frac{25 \times 0,85}{280} = 0,027321$$

$$\rho < \rho_{maks} = 0,0015437 < 0,027321 = OK!$$

- Kebutuhan Luas Tulangan Tarik

Berdasarkan tabel 7.6.1.1 SNI:2019, Tipe tulangan dengan batang ulir

dan f_y dibawah 420 maka $As. min = 0,0020Ag$

$$As. req (p.b.d) = 0,0015437 \times 1000 \times 100 = 154,3758 \text{ mm}^2$$

$$As. min = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}^2$$

$As. min > As. req$ = $As. min < As. req$, maka digunakan luas tulangan minimum yaitu 250 mm.

$$As.req = 250 \text{ mm}$$

$$d \text{ tulangan lentur} = 10 \text{ mm}$$

$$s = \frac{0,25\pi D^2 b}{As.req} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,159 \text{ mm}$$

$$Smaks = 3h = 3 \times 125 = 375 \text{ mm}$$

$$Smaks = 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan D10-300

$$d. \text{ tulangan susut} = 8 \text{ mm}$$

$$s = \frac{0,25\pi D^2 b}{As.req} = \frac{0,25\pi \times 10^2 \times 1000}{250} = 314,159 \text{ mm}$$

$$Smaks = 5h = 5 \times 125 = 625 \text{ mm}$$

$$Smaks = 450 \text{ mm}$$

maka, digunakan D10-300

Tabel 2. 34 Rekapitulasi Perhitungan Pelat 1 Arah

NOMOR PELAT	A		B	
	(-)	(+)	(-)	(+)
Mu (kNm)	6,47	4,62	3,88	2,78
ρ	0,0015	0,0011	0,0009	0,0006
As (mm²)	155,99	111,01	93,27	66,47
Asmin (mm²)	225	225	225	225
As Pakai (mm²)	225	225	225	225
S (Tul.lentur)	250	250	250	250
S (Tul.susut)	250	250	250	250
KODE (Tul.lentur)	D10-250		D10-250	
KODE (Tul.Susut)	D8-250		D8-250	

Tabel lanjutan

NOMOR PELAT	C		D	
	(-)	(+)	(-)	(+)
Mu (kNm)	1,96	1,40	1,96	1,40
ρ	0,0004	0.0003	0,0004	0,0003
As (mm²)	46,85	33,43	46,85	33,43
Asmin (mm²)	225	225	225	225
As Pakai (mm²)	225	225	225	225
S (Tul.lentur)	250	250	250	250
S (Tul.susut)	250	250	250	250
KODE (Tul.lentur)	D10-250		D10-250	
KODE (Tul.Susut)	D8-250		D8-250	

2.13 Perancangan Balok

Spesifikasi desain yang digunakan dalam perencanaan ini mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Standar ini menetapkan berbagai ketentuan mengenai material, dimensi, dan teknik konstruksi yang harus diikuti dalam perancangan balok. Desain balok ini dirancang untuk memastikan kekuatan dan kestabilan struktur bangunan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

2.13.1 Identifikasi Balok Induk

Diketahui data design balok induk yang ditinjau adalah sebagai berikut:

f'_c	=	35	Mpa
F_y	=	420	Mpa
F_{ys}	=	420	Mpa
Bentang bersih (l_n)	=	7000	mm
Lebar balok (b)	=	300	mm
Tinggi balok (h)	=	550	mm
Selimut beton	=	40	mm
Asumsi diameter tulangan menerus	=	D22	
Asumsi diameter tulangan sisipan	=	D19	
Di bawah Asumsi diameter sengkang	=	D10	ini
disajikan Tinggi efektif (d)	=	489	mm

gambar balok yang ditinjau dalam perencanaan ini:

Gambar 3. Balok induk dan anak yang ditinjau pada denah

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan ETABS 20 diperoleh gaya dalam yang bekerja pada balok yang ditinjau adalah sebagai berikut:

2.13.2 Penulangan Lentur Balok Induk

Tumpuan Atas

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{322 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 489^2} = 4,99 \text{ Mpa}$$

Menentukan ρ_{perlu} , ρ_{min} , dan ρ_{maks}

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 30}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,876}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,0131\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)}$$

Menentukan A_{perlu} , A_{min} , dan A_{maks}

$$A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0131 \times 300 \times 489 = 1919,274 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{min}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0033 \times 300 \times 489 = 264 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{maks}} = \rho_{\text{maks}} \cdot b \cdot d = 0,025 \times 300 \times 539 = 5195,63 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{perlu}} > A_{\text{min}} = 1919,274 \text{ mm}^2 > 264 \text{ mm}^2, \text{ maka digunakan } A_{\text{perlu}}$$

Menentukan Kebutuhan Tulangan

$$\begin{aligned}\text{Luas per tulangan menerus} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas per tulangan sisipan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$n \text{ pakai tulangan} = 2$$

menerus

$$n \text{ pakai tulangan sisipan} = 5$$

Menentukan Kebutuhan Luasan Tulangan

$$\text{Aspakai} = n_{\text{pakai}} \times \text{Luas per tulangan} = 2 \times 380,13 = 760,26 \text{ mm}^2$$

$$\text{Alpakai} = n_{\text{pakai}} \times \text{Luas per tulangan} = 5 \times 283,52 = 1417,6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Total} = \text{Aspakai} + \text{Alpakai} = 760,26 + 1417,6 = 2176,8 \text{ mm}^2$$

Aspakai

$$\text{Check} = \text{Aspakai} > \text{Asperlu} = 2176,8 > 1919,274 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Menentukan nilai regangan dan nilai ϕM_n

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{Aspakai} \times f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{2176,8 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} \\ &= 102,43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{102,43}{0,84} \\ &= 128 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} \\ &= \frac{0,003 \cdot (489 - 128)}{121,94} \\ &= 0,0085 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{Aspakai} \times f_y \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) \\ &= \frac{2176,8 \times 420 \times \left(489 - \left(\frac{102,43}{2}\right)\right)}{10^6} \\ &= 400 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 400 = 360 \text{ kNm}$$

$$\text{Check} = \phi M_n > M_u = 360 > 322 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan, 2D22 + 5D19 untuk tulangan tumpuan atas

Tumpuan Bawah

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{233 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 489^2} = 3,61 \text{ Mpa}$$

Menentukan ρ_{perlu} , ρ_{min} , dan ρ_{maks}

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,61}{0,85 \times 35}} \right)$$

$$= 0,0092$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)}$$

Menentukan A_{sperlu} , A_{smin} , dan A_{smaks}

$$A_{\text{sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0092 \times 300 \times 489 = 1349,64 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{smin}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0033 \times 300 \times 489 = 484,11 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{smaks}} = \rho_{\text{maks}} \cdot b \cdot d = 0,025 \times 300 \times 489 = 3667,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{sperlu}} > A_{\text{smin}} = 1349,64 \text{ mm}^2 > 484,11 \text{ mm}^2, \text{ maka digunakan } A_{\text{sperlu}}$$

Menentukan Kebutuhan Tulangan

$$\text{Luas per tulangan menerus} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas per tulangan sisipan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{npakai tulangan menerus} = 2$$

$$\text{npakai tulangan sisipan} = 3$$

Menentukan Kebutuhan Luasan Tulangan

$$\begin{aligned}
\text{Aspakai} &= n_{\text{pakai}} \times \text{Luas per tulangan} = 2 \times 380,13 = 760,26 \text{ mm}^2 \\
\text{Alpakai} &= n_{\text{pakai}} \times \text{Luas per tulangan} = 3 \times 283,52 = 850,56 \text{ mm}^2 \\
\text{Total} &= \text{Aspakai} + \text{Alpakai} = 760,26 + 850,56 = 1610,82 \text{ mm}^2 \\
\text{Aspakai} & \\
\text{Check} &= \text{Aspakai} > \text{Asperlu} = 1610,82 > 1349,64 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

Menentukan nilai regangan dan nilai ϕM_n

$$\begin{aligned}
a &= \frac{\text{Aspakai} \times f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
&= \frac{1610,82 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} \\
&= 75,8 \\
c &= \frac{a}{\beta_1} \\
&= \frac{75,8}{0,84} \\
&= 94,7 \text{ mm} \\
\varepsilon_s &= \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} \\
&= \frac{0,003 \cdot (489 - 94,7)}{94,7} \\
&= 0,0125 \\
M_n &= \text{Aspakai} \times f_y \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) \\
&= \frac{1610,82 \times 420 \times \left(489 - \left(\frac{94,7}{2}\right)\right)}{10^6} \\
&= 305 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0,9 \times M_n = 0,9 \times 350 = 275 \text{ kNm} \\
\text{Check} &= \phi M_n > M_u = 275 > 233 \text{ kNm} \text{ (OK)}
\end{aligned}$$

Maka digunakan, **2D22 + 3D19** untuk tulangan tumpuan bawah

Lapangan Bawah

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{167 \times 10^6}{0,9 \cdot 300 \cdot 489^2} = 2,59$$

Menentukan ρ_{perlu} , ρ_{min} , dan ρ_{maks}

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f_{rc}}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{rc}}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 35}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,59}{0,85 \times 35}} \right)$$

$$= 0,0065$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019 Pasal 18.6.3.1)}$$

Menentukan A_{perlu} , A_{min} , dan A_{maks}

$$A_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0065 \times 300 \times 489 = 950,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{min}} = \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d = 0,0033 \times 300 \times 489 = 484,11 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{maks}} = \rho_{\text{maks}} \cdot b \cdot d = 0,025 \times 300 \times 489 = 3667,5 \text{ mm}^2$$

$A_{\text{perlu}} > A_{\text{min}} = 950,25 \text{ mm}^2 > 484,11 \text{ mm}^2$, maka digunakan A_{perlu}

Menentukan Kebutuhan Tulangan

$$\text{Luas per tulangan menerus} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas per tulangan sisipan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{npakai tulangan} = 2$$

menerus

$$\text{npakai tulangan sisipan} = 1$$

Menentukan Kebutuhan Luasan Tulangan

$$A_{\text{pakai}} = \text{npakai} \times \text{Luas per tulangan} = 2 \times 380,13 = 760,26 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{pakai}} = \text{npakai} \times \text{Luas per tulangan} = 1 \times 283,52 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Total} = A_{\text{pakai}} + A_{\text{pakai}} = 760,26 + 283,52 = 1043,78 \text{ mm}^2$$

Aspakai

$$\text{Check} = \text{Aspakai} > \text{Asperlu} = 1043,78 > 283,52 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Menentukan nilai regangan dan nilai ϕM_n

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{Aspakai} \times f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{1043,78 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} \\ &= 49,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{49,1}{0,84} \\ &= 61,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003 \cdot (d - c)}{c} \\ &= \frac{0,003 \cdot (489 - 61,4)}{61,4} \\ &= 0,0209 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \text{Aspakai} \times f_y \times \left(d - \left(\frac{a}{2}\right)\right) \\ &= \frac{1043,78 \times 420 \times \left(489 - \left(\frac{61,4}{2}\right)\right)}{10^6} \\ &= 305 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 305 = 360 \text{ kNm}$$

$$\text{Check} = \phi M_n > M_u = 360 > 233 \text{ kNm} \quad \text{(OK)}$$

Maka digunakan, **2D22 + 1D19** untuk tulangan lapangan bawah

2.13.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Geser Balok Induk

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan ETABS 20 diperoleh gaya geser yang bekerja pada balok yang ditinjau adalah sebagai berikut:

Tabel Nilai gaya geser pada balok dari hasil analisis ETABS

Vu tumpuan	217,43	kN
Vu lapangan	170,07	kN
Vg tumpuan	94,7	kN

Dimana Vu didapatkan dari input kombinasi envelope (U1-U18) dan Vg dari kombinasi gravitasi (1 DL + 1 SDL + 1 LL)

Tumpuan

Menghitung Momen Probabilitas (Mpr)

Tumpuan Kiri Negatif

$$\begin{aligned}
 apr &= \frac{1,25 \times Aspakai \times fy}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{1,25 \times 2176,8 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} \\
 &= 128,04 \text{ mm} = 130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^- &= 1,25 \times Aspakai \times fy \times d - \left(\frac{apr}{2} \right) \\
 &= \frac{1,25 \times 2176,8 \times 420 \times (489 - (\frac{130}{2}))}{10^6} \\
 &= 485,67 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tumpuan Kiri
Positif

$$\begin{aligned}
 a_{pr} &= \frac{1,25 \times A_{spakai} \times f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{1,25 \times 1610 \times 420}{0,85 \times 35 \times 300} \\
 &= 94,70 \text{ mm} \\
 M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_{spakai} \times f_y \times d - \left(\frac{a_{pr}}{2}\right) \\
 &= \frac{1,25 \times 1610 \times 420 \times (489 - (\frac{94,70}{2}))}{10^6} \\
 &= 373,31 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Geser Desain (Ve)

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{l_n} = \frac{485,67 + 373,31}{7,000} = 122,711 \text{ kN} \\
 V_e &= V_g + V_{pr} = 94,7 + 122,711 = 217,411 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung Tahanan Geser Beton

Pasal 18.6.5.2 pada SNI 2847:2019 menjelaskan mengenai tulangan transversal yang harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ jika kedua syarat a dan b dibawah ini terpenuhi.

a. Gaya geser akibat gempa mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut. Dimana dalam perhitungan ini,

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &> 1/2 V_e \\
 122,711 &> 1/2 \times 217,411 \text{ kN} \\
 122,71 \text{ kN} &> 108,7055 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \cdot f'_c / 20$

$$\begin{aligned}
 P_u &< A_g \cdot f'_c / 20 \\
 30,71 \text{ kN} &< \frac{300 \times 600 \times 30}{20} \\
 30,71 \text{ kN} &< 270 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan ini, syarat a) dan syarat b) memenuhi sehingga V_c tidak perlu

diperhitungkan.

$$V_c = 0$$

Menghitung Kebutuhan Luasan dan Jarak Tulangan

Asumsi spasi yang digunakan = 100 mm

Check syarat spasi sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.4:

a. $S_{maks\ 1} = d/4 = 489/4 = 122,25\text{ mm}$

b. $S_{maks\ 2} = 6d_b = 6 \times 22 = 132\text{ mm}$

c. $S_{maks\ 3} = 150\text{ mm}$

Maka, jarak 100 mm dapat digunakan

$$A_{v\ min1} = \frac{0,062 \times \sqrt{f'_c} \times b \times s}{f_y} = \frac{0,062 \times \sqrt{35} \times 300 \times 100}{420} = 24,25\text{ mm}^2$$

$$A_{v\ min2} = \frac{0,35 \times b \times s}{f_y} = \frac{0,35 \times 300 \times 100}{420} = 25\text{ mm}^2$$

Dipakai nilai A_v min terbesar yaitu, $A_{v\ min2} = 25\text{ mm}^2$

$$A_{vpakai} = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 235,61\text{ mm}^2$$

$$\text{Check} = A_{vpakai} > A_{v\ min} = 235,61 > 25\text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$V_{s\ min1} = \frac{A_{v\ min1} \times f_y \times d}{s} = \frac{24,25 \times 420 \times 489}{100} = 54,89\text{ kN}$$

$$V_{s\ min2} = \frac{A_{v\ min2} \times f_y \times d}{s} = \frac{25 \times 420 \times 489}{100} = 56,59\text{ kN}$$

$$V_{s\ maks} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 0,66 \times \sqrt{35} \times 300 \times 489 = 533,61\text{ kN}$$

$$V_{spakai} = \frac{A_{vpakai} \times f_y \times d}{s} = \frac{235,61 \times 420 \times 489}{100} = 532,38\text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_{spakai} = 0 + 532,38 = 532,38\text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 532,38 = 372,67\text{ kN}$$

$$\text{Check} = V_u < \phi V_n = 230,24\text{ kN} < 372,67\text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Maka digunakan, **2D10-100** untuk tulangan sengkang di daerah tumpuan.

Lapangan

Asumsi spasi yang digunakan = 150 mm

Check syarat spasi sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.4.6:

$$d. \text{ Smaks} = d/2 = 539/2 = 269,5 \text{ mm}$$

Maka, jarak 150 mm dapat digunakan

$$A_{v \text{ min1}} = \frac{0,062 \times \sqrt{f'_c} \times b \times s}{f_y} = \frac{0,062 \times \sqrt{30} \times 300 \times 150}{420} = 36,38 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ min2}} = \frac{0,35 \times b \times s}{f_y} = \frac{0,35 \times 300 \times 150}{420} = 37,5 \text{ mm}^2$$

Dipakai nilai A_v min terbesar yaitu, $A_{v \text{ min2}} = 37,5 \text{ mm}^2$

$$A_{v \text{ pakai}} = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\text{Check} = A_{v \text{ pakai}} > A_{v \text{ min}} = 157,08 > 37,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$V_{s \text{ min1}} = \frac{A_{v \text{ min1}} \times f_y \times d}{s} = \frac{36,38 \times 420 \times 539}{100} = 82,35 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ min2}} = \frac{A_{v \text{ min2}} \times f_y \times d}{s} = \frac{37,5 \times 420 \times 539}{100} = 84,89 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 539 = 533,61 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 539 = 150,56 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ pakai}} = \frac{A_{v \text{ pakai}} \times f_y \times d}{s} = \frac{157,08 \times 420 \times 539}{100} = 355,60 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_{s \text{ pakai}} = 150,56 + 355,60 = 506,16 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 506,16 = 379,62 \text{ kN}$$

$$V_u = V_e = 368,19 \text{ kN}$$

$$\text{Check} = V_u < \phi V_n = 368,19 \text{ kN} < 379,62 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

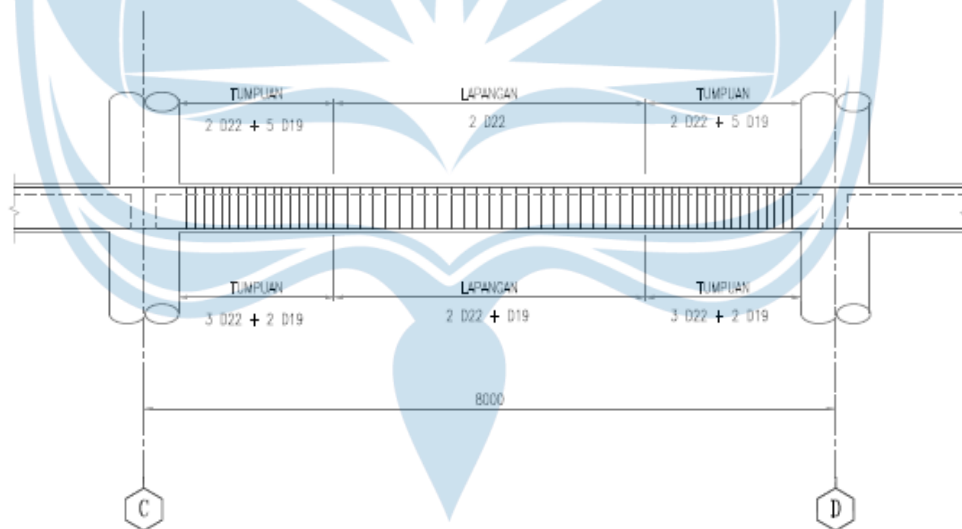
Maka digunakan, **2D10-150** untuk tulangan sengkang di daerah lapangan.

3.7.1.3 Rekap Penulangan Balok Induk

Berikut hasil rekapan penulangan balok B1, dapat dilihat pada

Lokasi		Tulangan Lentur	Tulangan Geser
Tumpuan Kiri	Atas	2D22+5D19	2D10-100
	Bawah	2D22+3D19	
Lapangan	Atas	2D22	2D10-150
	Bawah	2D22+1D19	
Tumpuan Kanan	Atas	2D22+5D19	2D10-100
	Bawah	2D22+3D19	

Detail Penulangan



POTONGAN BALOK B1 (LANTAI 1)

SKALA 1 : 100

Sumber : Dokumen Pribadi

2.14 Perancangan Kolom SRPMK

Identifikasi Kolom

Diketahui data kolom yang ditinjau merupakan kolom K1 dengan diameter 600 dilantai basemen rincian kolom adalah sebagai berikut:

f'_c	= 30	Mpa
F_y	= 420	Mpa
F_u	= 525	Mpa
F_{ys}	= 520	Mpa
Diameter (mm)	= 600 mm	
Selimut beton (Cc)	= 40	mm
Tinggi kolom (1)	=	
Tinggi bersih kolom (ln)	=	
Tinggi kolom atas (1 atas)	=	
b balok	=	
h balok	=	
β_1	=	
Asumsi diameter tulangan	= 25	mm
Asumsi diameter sengkang	= 13	mm
Diameter efektif kolom	= 537,5	mm

Berdasarkan hasil analisis struktur kolom dari ETABS

Output gaya dalam kolom yang didapatkan dari pemodelan menggunakan ETABS dan di input pada aplikasi sPcolumn sebagai berikut:

- P_u = 4458.448 kN
- M_x = 6.649 kNm
- M_y = 8.564 kNm
- V_u = 53.751 kN
- N_u = 0.0573 kN

2.14.1 Pemeriksaan Syarat Kolom

Berdasarkan peraturan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2 kolom harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- Dimensi terkecil tidak kurang dari 300 mm
Kolom : 800 mm > 300 mm → memenuhi syarat
- Rasio dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 0,4

2.14.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal

1. Asumsi Tulangan 18D25

Berdasarkan ketentuan SNI 2847:2019 pada pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal A_s tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak boleh lebih dari $0,06A_g$. Sehingga ketentuan rasio tulangan longitudinal adalah $0,01 < \rho < 0,06$

A_g	=	$\frac{1}{4} \pi \cdot D^2$	=	$\frac{1}{4} \pi \cdot 600^2$	= 282743.33 mm ²
A_s	=	$n \times \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$	=	$18 \times \frac{1}{4} \pi \cdot 600^2$	= 8835.73 mm ²
ρ	=	$\frac{A_s}{A_g}$	=	$\frac{8835.73}{282743.33}$	= 0.03125
ρ_{min}	=	$\frac{0,01 \times A_g}{A_g}$	=	0,01	
ρ_{maks}	=	$\frac{0,06 \times A_g}{A_g}$	=	0,06	
Syarat	=	$0,01 < 0,03125 < 0,06 \rightarrow$ Memenuhi syarat			

2. Ketentuan Strong Column Weak Beams (SCWB)

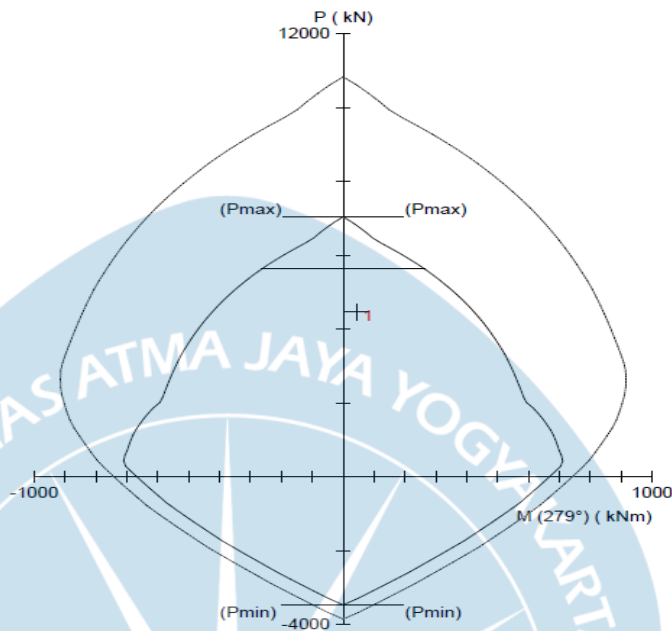
Pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2 terdapat ketentuan untuk kekuatan lentur kolom harus memenuhi syarat:

$$\sum M_{nk} \geq 1,2 \sum M_{nb} \rightarrow 2 \times M_{nk} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+)$$

Momen kolom berdasarkan output SPColumn

- $M_{nk} X = 6.56 \text{ kNm}$
- $M_{nk} Y = 419,81 \text{ kNm}$

- $\Sigma M_{nk} = 426,37 \text{ kNm}$



Gambar 2. 11 Hasil Analisis SpColumn Kolom K1 Lantai Basement
Momen balok

- $M_n^- (\text{tekan}) = 376.909 \text{ kNm}$
- $M_n^+ (\text{tarik}) = 235.860 \text{ kNm}$

Cek SCWB

$$= 2 \times M_{nk} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+)$$

$$= 2 \times 426,37 \geq 1,2 \times (376.909 + 235.860)$$

$$= 852.74 \geq 735.323032 \rightarrow \text{AMAN}$$

2.13.3 Perhitungan Tulangan Transversal

Data perhitungan:

- Diameter tulangan (d_s) = 10 mm
- Luas Tulangan Spiral (A_{sp}) = $\frac{1}{4} \times \pi d_s^2 = \frac{1}{4} \times \pi 10^2$
= 78.54 mm²
- Diameter core (D_c) = $D - C_c = 600 - 40$
= 560 mm
- Diameter bersih (d') = $D - C_c - d_s - \frac{1}{2} \times db$
= $600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 25$
= 537.5 mm
- Jarak lilitan spiral (s) = 50 (Asumsi)
- Luas Kotor (A_g) = 282743.4 mm²
- Luas Core (A_c) = $\frac{1}{4} \times \pi D_c^2 = \frac{1}{4} \times \pi 560^2$
= 246300.864 mm²

Menghitung rasio tulangan transversal:

- $\rho_{s, \text{ actual}} = \frac{4 \times A_{sp}}{D_c \times s} = \frac{4 \times 78.54}{560 \times 50} = 0.0112$
- $\rho_{s, \text{ min1}} = 0.45 \times \left(\left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y} \right) \right)$
= $0.45 \times \left(\left(\frac{282743.4}{246300.8} - 1 \right) \times \left(\frac{30}{420} \right) \right)$
= 0.0047
- $\rho_{s, \text{ min2}} = 0.12 \times \left(\frac{f_{c'}}{f_y} \right) = 0.00857$

Dari perhitungan nilai $\rho_{s, \text{ actual}} = 0.0112 > 0.0047 > 0.00857 \rightarrow \text{AMAN}$

Cek Spasi tulangan Sengkang spiral

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.7.3

Tulangan spiral terdiri dari tulangan atau kawat menerus dengan spasi sama dengan soasi bersih sesuai dengan:

- Setidaknya lebih besar dari 25 mm dan $(4/3)d_{gg}$
- Tidak lebih dari 75 mm

Asumsi spasi tulangan (s) = 50 mm

S_{min} = 25 mm

S_{max} = 75 mm

Maka asumsi spasi tulangan = 50 mm memenuhi syarat.

Perhitungan tulangan geser

Kapasitas geser beton (V_c)

$$V_c = \alpha \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d_s$$

$$V_c = 0,75 \times 1 \times \sqrt{30} \times 600 \times (600 - 40 - \frac{25}{2})$$

$$V_c = 1349450 \text{ N} = 1349,450 \text{ kN}$$

$$V_u = 1245788 \text{ N} = 1245,788 \text{ kN}$$

Kapasitas tulangan geser (V_s)

$V_c > V_u$, maka AMAN!

2.15 Penulangan Dinding Geser

Dinding geser pada Gedung ini dipasang pada keempat sisi dengan dimensi 250x8600 mm dan 250x5600 mm.

Data Perencanaan dinding ini adalah:

$$f_c' = 30$$

$$f_y = 240$$

$$\Phi = 0,75$$

Output gaya pada dinding geser

P	V2	V3	T	M2	M3
-2931.622	2583.079	222.614		-11.916	7874.149

2.15.1 Perhitungan Tulangan dinding geser

Lapis Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.2, baja tulangan vertical dan horizontal masing masing harus dipasang sebanyak dua lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja lebih besar dari $0,17 A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f'c}$

$$A_{cv} = 8600 \times 250 = 2150000 \text{ mm}^2$$

Beton normal $\lambda = 1$, maka:

$0,17 A_{cv} \times \lambda \times \sqrt{f'c}$	$< V_u/\phi$
$0,17 \times 2150000 \times 1 \times \sqrt{30}$	$< 3444,106 \text{ kN}$
2001926 N	$< 3444,106 \text{ kN}$
2001,926 kN	$< 3444,106 \text{ kN}$

Karena nilai beban terfaktor lebih besar maka, diperlukan 2 lapis tulangan.

Kebutuhan tulangan longitudinal

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.10.2, rasio tulangan longitudinal minimum adalah 0,25% atau 0,0025 dan spasi maksimum untuk tulangan adalah 450 mm. Diasumsikan untuk spasi tulangan (s) pada dinding geser adalah 250 mm. Maka dari itu didapatkan untuk rasio tulangan longitudinal pada bagian badan dinding geser adalah sebaga berikut:

$$\rho_l = n_{lapis} \times \frac{\left(\frac{\pi}{4} \times d^2\right)}{(tw \times s)}$$

$$\rho_l = 2 \times \frac{\left(\frac{\pi}{4} \times 25^2\right)}{(250 \times 250)}$$

$$\rho_l = 1,571 \% = 0.01571 \geq \rho_{1min} \rightarrow \text{AMAN}$$

Digunakan $\rho_l = 0,01571$

Luas tulangan dan jumlah tulangan

$$A_{st} = \rho \times b \times h = 0,01571 \times 250 \times 8600 = 33772.12 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{st}}{0,25 \times \pi \times D^2} = \frac{33772.12}{0,25 \times \pi \times 25^2} = 68,8 \approx 70$$

Maka digunakan tulangan **70D25**

Menghitung spasi tulangan longitudinal (arah x dan arah y)

$$x = \frac{250 - (2 \times 40 + 2 \times 13 + 2 \times 25)}{2 - 1} = 94$$

$$y = \frac{7400 - (2 \times 40 + 2 \times 13 + 38 \times 25)}{38 - 1} = 171,46$$

Nilai spasi arah x maupun arah y sudah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari 450 mm

Perhitungan tulangan geser

Perencanaan tulangan geser sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 18.10.4.1, dengan rumus kuat geser nominalnya adalah:

$$V_n = A_{cv} \times (a_c \times \lambda \times \sqrt{f_c'} + \rho_t \times f_y)$$

Nilai V_n tidak boleh lebih dari $0,66 A_{cv} \sqrt{f_c'}$ dimana A_{cv} adalah luas bruto penampang dinding yang dibatasi tebal badan dan panjang penampang.

$$\frac{hw}{lw} = \frac{25400}{8600} = 2.9535 > 2, \text{ maka nilai } \alpha_c = 0,17$$

Rasio tulangan transversal (ρ_t)

$$\begin{aligned} \rho_t &= n_{lapis} \times \frac{\pi/4 \times dt^2}{tw \times s} \\ &= 2 \times \frac{\pi/4 \times 25^2}{250 \times 200} = 1,963 \% \geq \rho_{1min} \rightarrow \text{AMAN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} \times (a_c \times f_c'^{0,5} + \rho_t \times f_y) \\ &= 2150000 \times (0,17 \times 30^{0,5} + 1,963\% \times 420) \\ &= 19732289 \text{ N} = 19732,289 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{n, \max} = 0,66 \times A_{cv} \times \sqrt{f'c} = 0,66 \times 2150000 \times \sqrt{30}$$

$$= 7772183 \text{ N} = 7772,183 \text{ kN}$$

Karena $V_n > V_{n, \max}$ maka dipakai $V_{n, \max} = 7772,183 \text{ kN}$

$$V_u/\phi = 3444,106 \text{ kN}$$

$$V_{n, \text{pakai}} \geq V_u/\phi \rightarrow 7772,183 \geq 3444,106 \rightarrow \text{AMAN}$$

Kebutuhan *Boundary Element*

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.10.6.3 boundary element dibutuhkan Dimana nilai tegangan tekan maksimum melebihi $0,2f'c$ dan tidak dibutuhkan jika tegangan maksimum elemen kurang dari $0,15 f'c$. Untuk perhitungan ini tegangan di tinjau dalam 6 kondisi.

$$\frac{P_u}{A_g} + \left(\frac{M_u}{I_g} + \frac{L}{2} \right)$$

Keterangan

A_g = Luas penampang total

$$= 250 \times 7400 + 2 \times (0,25 \times \pi \times d^2)$$

$$= 2415486.678 \text{ mm}^2$$

I_g = Inersia penampang

$$= \frac{1}{12} \times tw \times ln^3 + 2 \times \left[\frac{\pi}{64} \times d^4 + \frac{1}{4} \pi d^2 \times \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right]$$

$$= \frac{1}{12} \times 250 \times 7400^3 + 2 \times \left[\frac{\pi}{64} \times 600^4 + \frac{1}{4} \pi 600 \times \left(\frac{8000}{2} \right)^2 \right]$$

$$= 1,60 \times 10^{17}$$

Contoh perhitungan tegangan pada kondisi 1 dan 2

$$\text{Kondisi 1} = \frac{25.607}{2415486.678} + \left(\frac{1211.917}{1,60 \times 10^{17}} + \frac{8000}{2} \right) = 0,011 \text{ MPa}$$

$$\text{Kondisi 2} = \frac{2931.622}{2415486.678} + \left(\frac{7874.149}{1,60 \times 10^{17}} + \frac{8000}{2} \right) = 1,214 \text{ MPa}$$

Kondisi	P	M2	M3	$\frac{Pu}{Ag} + \left(\frac{Mu}{Ig} + \frac{L}{2}\right)$
P max	-25.607	15.079	1211.917	0.011
P min	-2931.622	-11.916	7874.149	1.214
M2 Max	-2284.350	28.513	855.846	0.946
M2 Min	-2500.018	-26.534	122.758	1.035
M3 Max	-2134.810	-5.267	12016.051	0.884
M3 Min	-1581.374	-6.654	-11174.474	0.655

Dari perhitungan diatas didapatkan tegangan maksimum berada pda kondisi dua Dimana nilai P berada pada kondisi tekan maksimum yaitu 1,214. Sesuai syarat dari SNI 2847:2019 maka

$$0,2 Fc' < 1,214$$

$0,2 (30) < 1,214 \rightarrow 6 > 1,214$, karena nilai tegangan maksimum tidak melebihi syaratnya, maka perancangan tidak membutuhkan *Boundary Element*.