

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Pendahuluan

Perancangan struktur atas merupakan perancangan struktur yang berada di atas muka tanah. Perancangan ini melibatkan perancangan atap, balok, kolom, dan pelat lantai. Bangunan yang akan dirancang dalam laporan ini merupakan bangunan parkir mobil yang berlokasi di Jalan Pabringan Malioboro Yogyakarta. Bangunan ini direncanakan memiliki 5 lantai dengan luas total 16.141,45 m².

Perancangan bangunan ini menggunakan SNI 1729-2015 (Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural), 1726-2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non-gedung), 1727-2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Penjelasan), dan 2847-2019 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan) sebagai acuan.

2.2 Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahap awal dalam merancang bangunan untuk memperkirakan dimensi dan membentuk layout struktur bangunan. Layout bangunan berfungsi untuk mengilustrasikan lokasi kolom, balok, pelat lantai, dan rangka atap bangunan.

Tahapan memperkirakan dimensi dan mutu yang akan digunakan harus menggunakan dasar acuan yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan. Menentukan dimensi dan mutu bahan diatur secara jelas dalam SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Dalam tahapan perancangan ini, digunakan kajian data dan acuan yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI).

2.2.1 Ketentuan Mutu Beton

Berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan pada Tabel 19.2.1.1 mengenai Batasan Nilai f_c' , diatur mengenai jenis beton dan nilai f_c' minimum serta nilai f_c' maksimum. Berikut informasi pada Tabel 2.1 Batasan Nilai f_c' .

Tabel 2.1 Batasan Nilai f_c'

Kegunaan	Jenis beton	Nilai f_c' minimum (Mpa)	Nilai f_c' Maks (Mpa)
Umum	Berat normal dan berat ringan	17	Tidak ada Batasan
Sistem rangka pemikul momen khusus dan dinding structural khusus	Berat normal	21	Tidak ada batasan
	Berat ringan	21	35

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 19.2.1.1

Pada perancangan bangunan ini, digunakan mutu beton $f_c' = 25$ MPa dengan jenis beton normal.

2.2.2 Ketentuan Tebal Selimut Beton

Terdapat beberapa ketentuan untuk tebal selimut beton yang digunakan sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019 pada Tabel 20.6.1.3.1 mengenai Ketebalan Selimut Beton untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang yang Dicur di tempat. Berikut informasi pada Tabel 2.2 Ketebalan Selimut Beton.

Tabel 2.2 Ketebalan Selimut Beton

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75
terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Semua	Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk dan dinding	Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
kontak dengan tanah	Balok, kolom, pedestal dan batang tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 20.6.1.3.1

2.2.3 Ketentuan Mutu Baja Tulangan

Berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan Tabel 20.2.2.4a mengenai Tulangan Ulir Nonprategang, diatur f_y dan f_{yt} maksimum yang diizinkan untuk digunakan dalam perhitungan desain.

Pada perancangan bangunan ini, digunakan mutu $f_y = 420$ MPa untuk tulangan longitudinal/utama, dan $f_{ys} = 280$ MPa untuk tulangan sengkang/begel.

Berikut informasi pada Tabel 2.3 Tulangan Ulir Nonprategang.

Tabel 2.3 Tulangan Ulir Nonprategang

Penggunaan	Aplikasi	fy atau fyt maks. Yang diizinkan untuk perhitungan desain, (MPa)	Spesifikasi ASTM yang sesuai			
			Batang ulir	Kawat ulit	Kawat yang dilas	Batang ulir yang dilas
Lentur; gaya aksial; dan susut dan suhu	Sistem seismik khusus	420	Mengacu pada 20.2.2.5	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	A184M
	lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
Kekangan lateral dari batang lonogitudinal atau kekangan	Sistem seismik khusus	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	Spiral	700	A615M, A706M, A955M, A996M, A1035M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
	Lainnya	550	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
Geser	Sistem seismik khusus	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan
	Spiral	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan
	geser friksi	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M Kawat las polos	Tidak diizinkan
	Senggang, senggang ikat, senggang pengekang	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M Kawat las ulir	Tidak diizinkan
		550	Tidak diizinkan	Tidak diizinkan		Tidak diizinkan
Torsi	Longitudinal dan transversal	420	A615M, A706M, A955M, A996M	A1064M, A1022M	A1064M, A1022M	Tidak diizinkan

Sumber: SNI 2847:2019 Tabel 20.2.2.4a Tulangan Ulir Nonprategang

2.2.4 Ketentuan Pelat Lantai

Pelat lantai terbagi menjadi 2 jenis, yaitu pelat lantai satu arah dan pelat lantai dua arah.

a) Pelat satu arah

Pelat satu arah merupakan pelat yang mengalami lentur satu arah. Perbandingan sisi panjang dan lebar pelat ini nilainya >2 .

b) Pelat dua arah

Pelat dua arah merupakan pelat yang mengalami lentur dua arah. Perbandingan sisi terpanjang dan sisi terpendek dari pelat ini nilainya ≤ 2 .

Pada perancangan bangunan ini, digunakan pelat satu arah saja pada seluruh gedung.

2.2.5 Ketentuan Balok

Berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan pada Pasal 9.3.1 Tinggi balok minimum dan Tabel 9.3.1.1, dijelaskan ketentuan dan diatur mengenai tinggi minimum balok nonprategang. Berikut informasi pada Tabel 2.4 Tinggi Minimum Balok Nonprategang.

Tabel 2.4 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi perlekatan	Minimum h (1)
Perlekatan sederhana	1/16
Menerus satu sisi	1/18.5
Menerus dua sisi	1/21
Kantilever	1/8

Sumber : SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.3.1.1.1, untuk f_y lebih dari 420 MPa, persamaan pada **Error! Reference source not found.** harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Untuk mendapatkan balok yang lebih kaku, mengurangi penggunaan baja tulangan, lebih leluasa dalam pemasangan tulangan, dan mendapatkan faktor reduksi $\phi \geq 0.9$, maka pada perancangan bangunan ini digunakan perkiraan tinggi balok seperti pada Tabel 2.5 Tinggi Minimum Balok yang

Digunakan. Hal tersebut dilakukan mengingat harga baja tulangan jauh lebih mahal dari pada beton.

Tabel 2.5 Tinggi Minimum Balok yang Digunakan

Kondisi Perlekatan	Minimum h
Perlekatan sederhana	L/12
Menerus satu sisi	L/15
Menerus dua sisi	L/15
Kantilever	L/6

Tinggi balok ditetapkan dengan pembulatan ke kelipatan 50 mm di atasnya. Setelah tinggi balok ditetapkan, selanjutnya menentukan nilai b dengan ketentuan $0,5h < b < 0,75h$.

Batasan regangan minimum dan tualngan maksimum diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 9.3.3.1 khusus untuk balok nonprategang dengan ketentuan $P_u < 0,10f_c' A_g$, ϵ_r sekurang kurangnya 0,004.

Pengaruh dari pembatasan ini adalah untuk membatasi rasio tulangan dalam balok nonprategang untuk mengurangi perilaku getas lentur jika terjadi kelebihan beban. Batasan ini tidak berlaku untuk balok prategang. Pada perancangan bangunan ini, digunakan balok nonprategang.

2.2.6 Ketentuan Kolom

Terdapat 3 kategori kolom beton berdasarkan bentuk penampang:

1. Kolom persegi

Kolom persegi adalah kolom dengan tulangan memanjang tersebar membentuk geometri segiempat.

2. Kolom spiral

Kolom spiral adalah kolom dengan tulangan memanjang tersebar membentuk geometri lingkaran.

3. Kolom komposit

Kolom komposit adalah kolom dengan kombinasi antara beton dengan baja profil struktural.

Berdasarkan SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan pada pasal 10.3.1 Batasan dimensi, dijelaskan bahwa ukuran minimum eksplisit pada kolom tidak ditentukan sehingga penggunaan kolom beton bertulang dengan penampang kecil luntuk struktur dengan beban ringan diizinkan, seperti rumah tinggal dengan lantai rendah dan bangunan kantor sederhana. Jika penampang kecil dipakai, diperlukan ketelitian pekerjaan lebih baik, dan tegangan susut meningkat secara signifikan.

Maka persamaan berikut digunakan untuk menentukan luas kolom persegi dan kebutuhan tulangan yang digunakan.

$$A_g = \frac{P_u}{0,3 \times \phi \times f_c'} \quad (2.2.1)$$

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \quad (2.2.2)$$

Dengan ρ diberikan batasan $0,01 \leq \rho \leq 0,06$ untuk struktur beton tahan gempa.

Pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, diatur bahwa kolom harus memenuhi 2 syarat berikut:

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300mm.
- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurusnya tidak kurang dari 0,4.

Pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, diatur mengenai kekuatan lentur kolom harus memenuhi:

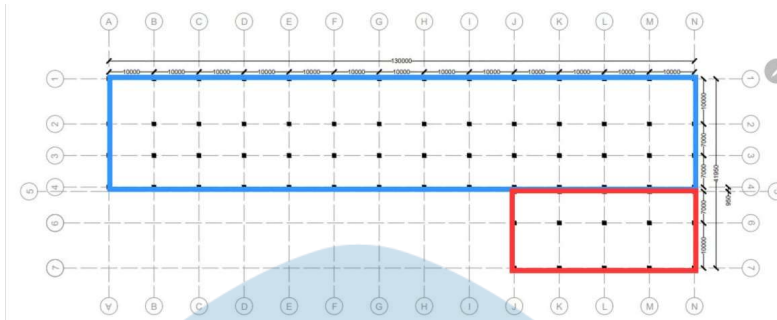
$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2.2.3)$$

Hal tersebut untuk memenuhi konsep *Strong Column Weak Beam* yang dimana kolom dirancang lebih kuat dari balok. Hal tersebut untuk mengurangi kemungkinan gagalnya kolom karena kegagalan kolom dapat menyebabkan runtuhnya bangunan.

2.2.7 Dilatasi Bangunan

Dilatasi bangunan atau pemisahan struktur adalah garis atau sambungan pada sebuah bangunan yang memiliki perbedaan sistem struktur. Dilatasi bangunan biasanya digunakan pada bangunan yang mempunyai layout yang rumit seperti H, T, X, L, U, dan lainnya.

Pada Gedung Parkir Pabrangan ini memiliki layout letter L, sehingga ada kemungkinan terjadinya masalah berupa *Reentrant Corner*. *Reentrant Corner* adalah masalah yang terjadi ketika bangunan memiliki ketidakberaturan struktur yang dapat mengakibatkan kerusakan berupa *Reentrant crack* akibat gedung terbentur satu sama lain atau terpisah satu sama lain akibat gaya lateral oleh gempa. Hal ini dapat dicegah dengan beberapa solusi salah satunya memberi *reinforcement* pada *reentrant corner* untuk mencegah terjadinya keruntuhan pada sudut bangunan. Solusi lainnya adalah dengan memisahkan struktur bangunan agar bangunan memiliki sistem struktur yang berbeda. Hal ini mencegah terjadinya kerusakan karena gedung dipisah dan memiliki sistem struktur yang berbeda sehingga perilaku dan sifat struktur tidak sama. Pada bangunan ini dilakukan dilatasi pada bagian seperti pada Gambar 2.1 Dilatasi Bangunan dibawah ini.



Gambar 2.1 Dilatasi Bangunan

Metode dilatasi yang digunakan adalah dilatasi 2 kolom. Bangunan didilatasi sejauh 15 cm berdasarkan simpangan antar lantai yang didapat dalam simulasi pemodelan menggunakan alat bantu ETABS 18.

Melakukan dilatasi memiliki beberapa pengaruh. Salah satunya adalah bangunan yang terpisah harus disambung dengan menggunakan bahan karet elastomer Polychloroprene sebagai bantalan pada bagian yang didilatasi agar dapat meredam efek terjadinya benturan. Pengaruh yang lain adalah waktu getar alami T gedung menjadi berbeda dengan gedung yang didilatasi, maka hal ini perlu diperhatikan dan diwaspadai.

2.2.8 Pengaruh Tangga pada Kekakuan Struktur

Tangga memiliki pengaruh pada kekakuan struktur. Elemen struktur tangga mengakibatkan struktur semakin kaku. Hal ini menghasilkan periode alami struktur yang berkurang karena kekakuan struktur meningkat. Pemodelan struktur gedung menggunakan tangga juga akan menghasilkan nilai *displacement* struktur yang kecil akibat kekakuan struktur yang meningkat karena tangga ikut menopang beban lateral. Bila elemen struktur tangga dipilih untuk tidak dimodelkan akan menghasilkan *displacement* yang lebih besar dan mendekati *limit state* sehingga desain bangunan akan lebih konservatif terhadap beban gempa. Namun karena tangga ikut menahan beban gempa dan dapat berperilaku seperti *bracing*, perlu berhati-hati dalam analisis sifat struktur tersebut.

2.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan merupakan salah satu faktor utama dalam perancangan struktur. Perencanaan struktur dirancang berdasarkan beban yang bekerja pada struktur tersebut, sehingga pembebanan yang tidak sesuai dapat berakibat fatal pada kekuatan bangunan. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur ditimbulkan secara langsung oleh gaya-gaya alamiah dan buatan manusia. Sebuah bangunan secara umum dinilai kuat, aman dan stabil apabila mampu menahan beban yang diberikan berupa beban gravitasi (*dead load* dan *live load*) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

a. Beban mati (*Dead load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Beban mati dijelaskan dalam SNI 1727:2013 pasal 3.1.

b. Beban hidup (*Live load*)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup dijelaskan dalam SNI 1727:2013 pasal 4.1.

2.3.1 Kuat Perlu

Beban yang bekerja pada struktur bangunan meliputi beban hidup (*live load*), beban mati (*dead load*), dan beban gempa (*earthquake load*) harus dihitung dengan faktor pengali untuk mendapatkan kekuatan atau kuat perlu yang akan ditahan oleh struktur. Dalam perancangan, kuat perlu ditentukan sebagai beberapa kombinasi-kombinasi beban yang diatur dalam SNI. Terdapat banyak jenis kombinasi, namun dalam pembahasan ini dipakai beberapa yakni:

$$1. U = 1,4 D \quad (2.3.1)$$

$$2. U = 1,2 D + 1,6 L \quad (2.3.2)$$

$$3. U = 1,2 D + 1,3 W + 0,5 L \quad (2.3.3)$$

$$4. U = 1,35 D + 1,0 L - 0,39 E_x - 1,30 E_y \quad (2.3.4)$$

$$5. U = 1,35 D + 1,0 L - 0,39 E_x + 1,30 E_y \quad (2.3.5)$$

$$6. U = 1,35 D + 1,0 L + 0,39 E_x - 1,30 E_y \quad (2.3.6)$$

$$7. U = 1,35 D + 1,0 L + 0,39 E_x + 1,30 E_y \quad (2.3.7)$$

$$8. U = 1,35 D + 1,0 L - 1,30 E_x - 0,39 E_y \quad (2.3.8)$$

$$9. U = 1,35 D + 1,0 L - 1,30 E_x + 0,39 E_y \quad (2.3.9)$$

$$10. U = 1,35 D + 1,0 L + 1,30 E_x - 0,39 E_y \quad (2.3.10)$$

$$11. U = 1,35 D + 1,0 L + 1,30 E_x + 0,39 E_y \quad (2.3.11)$$

2.3.2 Pembebanan

Atap Beban yang dipakai dalam perancangan atap yakni:

a. Beban mati

Berat sendiri : 0,035 kN/m

Berat atap : 0,367 kN/m

Dead load : 0,402 kN/m

b. Beban hidup

Beban hidup atap merupakan beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material.

Pada umumnya digunakan beban *live load* sebesar 1,0 kN/m.

c. Beban angin

Beban angin digunakan 35 kg/m².

2.3.3 Pembebanan Tangga

Beban yang dipakai dalam perancangan atap yakni:

a. Beban mati tangga

Berat sendiri	: 3,38 kN/m ²
Berat anak tangga	: 2,22 kN/m ²
Finishing	: 0,50 kN/m ²
Berat railing (diperkira)	: 1,00 kN/m ²
<i>Dead load</i>	: 7,10 kN/m ²

b. Beban mati bordes

Berat sendiri	: 2,88 kN/m ²
Berat railing (diperkira)	: 1,00 kN/m ²
<i>Dead load</i>	: 3,88 kN/m ²

c. Beban hidup

Beban hidup didapatkan sesuai ketentuan SNI 1727:2013 Tabel 4-1 sebesar 1,92 kN/m².

2.3.4 Pembebanan Ramp Mobil

Beban yang dipakai dalam perancangan atap yakni:

a. Beban mati

Berat sendiri	: 4,01 kN/m ²
Finishing	: 0,50 kN/m ²
Berat railing (diperkira)	: 0,50 kN/m ²
<i>Dead load</i>	: 5,01 kN/m ²

b. Beban hidup

Beban hidup didapatkan sesuai ketentuan SNI 1727:2013 Tabel 4-1 sebesar 1,92 kN/m².

2.3.5 Pembebanan Pelat

Beban yang dipakai dalam perancangan atap yakni:

a. Beban mati

Berat sendiri	: 2,88 kN/m ²
Finishing	: 0,50 kN/m ²
Berat mobil (diperkira)	: 0,20 kN/m ²
<i>Dead load</i>	: 3,58 kN/m ²

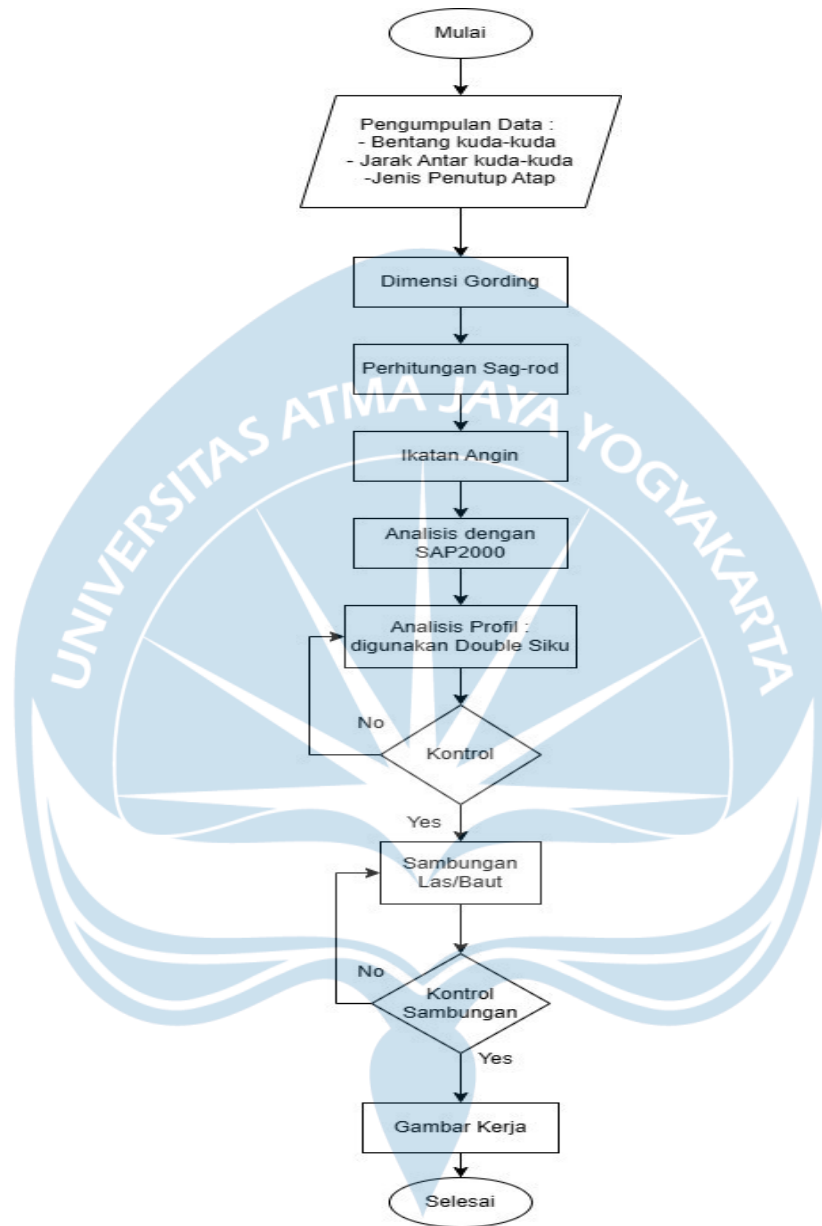
b. Beban hidup

Beban hidup didapatkan sesuai ketentuan SNI 1727:2013 Tabel 4-1 sebesar 1,92 kN/m².

2.4 Perancangan Struktur Atap

Struktur atap merupakan bagian bangunan yang memiliki fungsi untuk menahan atau mengalirkan beban-beban yang berasal dari atap. Struktur rangka atap terbagi menjadi rangka atap dan penopang rangka atap. Rangka atap memiliki fungsi untuk menahan beban dari bahan penutup atap sehingga umumnya berupa susunan balok-balok, baik dari kayu, bambu atau baja yang disusun secara vertikal dan horizontal (kecuali pada struktur atap dak beton). Berdasarkan proses inilah maka muncul istilah gording dan reng. Susunan rangka atap dapat menghasilkan lekukan pada atap dan menciptakan bentuk atap tertentu. Penopang rangka atap adalah balok kayu yang disusun membentuk segitiga yang disebut dengan kuda-kuda. Kuda-kuda di bawah rangka atap berfungsi untuk menyangga rangka atap. Sebagai pengaku, bagian atas kuda-kuda disambungkan pada balok bubungan, sementara kedua kakinya dihubungkan dengan kolom struktur untuk mengalirkan beban ke tanah.

Atap pada Gedung parkir ini adalah atap baja yang berfungsi sebagai atap tangga darurat dan juga lift terdapat 2 atap dengan ukuran yang berbeda yaitu (10x17) m dan (10 x 24) m dibawah ini adalah perhitungan atap dengan ukuran (10x17) m. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat Flowchart Perencanaan Atap yang dilakukan. Diagram aliran dapat diperhatikan pada Gambar 2.2 Flowchart Perencanaan Atap dibawah ini.



Gambar 2.2 Flowchart Perencanaan Atap

2.4.1 Rencana Gording

Rencana atap pada bangunan merupakan bagian yang sangat penting, mengingat fungsi dan estetika bangunan yang bersangkutan. Dalam perencanaan atap perlu dipertimbangkan lebih dulu perencanaan gording dari atap tersebut. Gording merupakan bagian dari atap yang diletakan di atas beberapa kuda-kuda

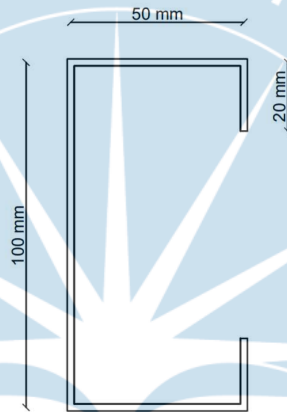
dengan tugas menahan beban atap dan perkayuannya. Menurut Haryanto (2008), untuk merencanakan gording perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

1. Jarak gording mendatar untuk atap genteng atau sirap antara 1800 mm sampai maksimum 2500 mm, sedang untuk atap seng atau asbes antara 1000 sampai 1300 mm.
2. Bentang gording ditentukan oleh jarak antar kuda-kuda, sebaiknya jarak kuda-kuda sama dengan jarak kolom struktur. Tetapi kalau tidak memungkinkan jarak kuda-kuda diambil antara 2500 mm sampai 4000 mm untuk atap genteng atau sirap. Untuk atap seng atau asbes jarak kuda-kuda bisa diambil sampai 6000mm.
3. Jumlah sag rod atau batang tarik penahan beban arah sumbu lemah gording ditentukan oleh bentang gording (jarak kuda-kuda). Jarak sag rod ini bisa diambil maksimum 2000 mm.
4. Batang ikatan angin dipasang dengan bentuk silang diantara kuda-kuda. Ikatan angin ini tidak perlu dipasang pada setiap kuda-kuda, tetapi dapat dipasang selang-seling. Setelah denah rencana atap dibuat, kemudian direncanakan gording seperti dijelaskan gambar berikut.

Atap pada bangunan merupakan bagian yang sangat penting mengingat fungsi dan estetika bangunan yang bersangkutan. Dalam merencanakan atap perlu dipertimbangkan lebih dulu perencanaan gording dari atap tersebut, dengan diketahui gambar desain atap, denah rencana atap, dan gording sebagai berikut.

Bentuk atap	= Pelana
Kemiringan atap (α)	= 27°
Jarak kuda-kuda (L_1)	= 3,4 meter
Jarak Gording (a)	= 1,67 meter
Berat Atap	= 20 kg/m^2 = $0,196 \text{ kN/m}^2$
Jenis Gording	= BJ-37
Fy	= 240 N/mm^2

E	= 200.000 kN/m ²
Berat gording	= 3,56 kg/m
W _x	= 14,3 x 10 ⁻⁶ cm ³
W _y	= 5,4 x 10 ⁻⁶ cm ³
I _x	= 71 x 10 ⁻⁸ cm ⁴
I _y	= 23 x 10 ⁻⁸ cm ⁴
Jarak Gording (miring)	= 1,87 m
Wind Load	= 35 kg/m ²



Gambar 2.4.1.1 Profile Gording

2.4.1.1 Perhitungan Beban

Dalam merencanakan gording, beban-beban yang mempengaruhi adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (Dead Load), yang meliputi berat penutup atap, berat sendiri pada gording, penggantung, serta berat pada sag rod.
2. Beban hidup (Live Load), yang meliputi beban terpusat dan beban air hujan.
3. Beban angin (Wind Load), yang meliputi beban angin tekan dan beban angin hisap.

Berikut adalah perhitungan beban-beban berdasarkan penjelasan diatas yang mempengaruhi atap:

Dead Load

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= \frac{\text{Berat gording} \times \text{Gravitasi}}{1000} \\ &= \frac{3,56 \times 9,8}{1000} \\ &= 0,035 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= \frac{a \times \cos(\alpha)}{\text{berat atap}} \\ &= \frac{1,79 \times \cos(27^\circ)}{0,196} \\ &= 0,367 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Deal Load (q)} &= \text{Berat sendiri} + \text{Berat atap} \\ &= 0,035 + 0,367 \\ &= 0,402 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Live Load

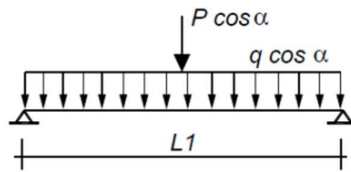
Beban pekerja P diambil sebesar 1,0 kN sebagai beban live.

Wind Load

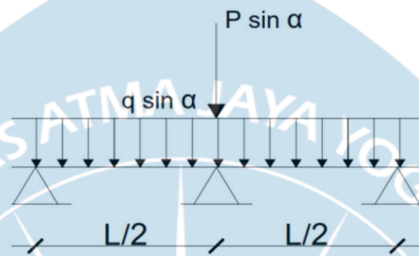
$$\begin{aligned}\text{Beban angin (w)} &= \frac{\text{Angin} \times \text{Jarak Gording} \times \text{Gravitasi}}{1000} \\ &= \frac{35 \times 1,87 \times 9,8}{1000} \\ &= 0,642 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

2.4.1.2 Perhitungan Momen Gording

Gaya momen adalah gaya dalam yang menahan lentur sumbu batang, sehingga harus dilakukan perhitungan momen untuk mengetahui berapa kekuatan batang untuk menahan beban pada Gambar 2.3 Beban Gording Arah Sumbu 3 dan Gambar 2.4 Beban Gording Arah Sumbu 2 dengan 3 Gording dapat dilihat beban gording kepada batang dan berikut adalah perhitungannya.



Gambar 2.3 Beban Gording Arah Sumbu 3



Gambar 2.4 Beban Gording Arah Sumbu 2 dengan 3 Gording

$$\begin{aligned}
 M_{3,D} &= \frac{1}{8} \times q \cos(L1)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,402 \times \cos 27^\circ \times 3,4^2 \\
 &= 0,52 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,D} &= \frac{1}{8} \times q \sin \left(\frac{L1}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,402 \times \sin 27^\circ \times \left(\frac{3,4}{3}\right)^2 \\
 &= 0,01 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,L} &= \frac{1}{4} \times p \cos(L1)^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 27^\circ \times (3,4^2) \\
 &= 0,76 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,L} &= \frac{1}{4} \times p \sin \left(\frac{L1}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 27^\circ \times \left(\frac{3,4}{3}\right)^2 \\
 &= 0,08 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,w} &= \frac{1}{8} \times w \cos(L1)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,642 \times \cos 27^\circ \times (3,4^2) \\
 &= 0,73 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,w} &= \frac{1}{8} \times w \sin \left(\frac{L1}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,642 \times \sin 27^\circ \times \left(\frac{3,4}{3}\right)^2 \\
 &= 0,02 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,U} &= 1,4 M_{3,D} \\
 &= 1,4 \times 0,52 \\
 &= 0,72 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,U} &= 1,2 M_{3,D} + 1,6 M_{3,L} \\
 &= (1,2 \times 0,52) + (1,6 \times 0,76) \\
 &= 1,83 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,U} &= 1,2 M_{3,D} + 1,3 W_{ka} + 0,5 M_{3,L} \\
 &= (1,2 \times 0,52) + (1,3 \times 0,73) + (0,5 \times 0,76) \\
 &= 2,07 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,U} &= 1,4 M_{2,D} \\
 &= 1,4 \times 0,01 \\
 &= 0,01 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{2,U} &= 1,2 M_{2,D} + 1,6 M_{2,L} \\
 &= (1,2 \times 0,01) + (1,6 \times 0,08) \\
 &= 0,14 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{2,U} &= 1,2 M_{2,D} + 1,3 W_{ka} + 0,5 M_{2,L} \\
&= (1,2 \times 0,01) + (1,3 \times 0,73) + (0,5 \times 0,08) \\
&= 0,07 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Perhitungan diatas digunakan nilai $M_{3,U}$ dan $M_{2,U}$ yang terbesar, yaitu $M_{3,U} = 2,07 \text{ kNm}$ dan $M_{2,U} = 0,14 \text{ kNm}$.

2.4.1.3 Cek Tegangan pada Profil C

Menghitung tegangan pada gording, dalam elemen structural pada perencanaan atap, tegangan akibat beban kerja harus diperhitungkan beban kerja tidak boleh melampaui tegangan ijin yang telah ditentukan. Rumus dan perhitungan yang digunakan untuk kontrol tegangan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
f_b &= \frac{M_{3,U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,U}}{\phi W_2} < F_y \\
&= \frac{2,07}{0,9 \times 14,3 \times 10^{-6}} + \frac{0,14}{0,9 \times 14,3 \times 10^{-6}} \\
&= 189,07 \text{ MPa} < 240 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Nilai $\phi = 0,9$ untuk lentur dan geser, dapat dilihat dari perhitungan diatas nilai $f_b = 189,07 < F_y = 240 \text{ Mpa}$ maka baja yang digunakan aman dan dapat digunakan.

2.4.1.4 Cek Defleksi Gording

Defleksi adalah kelenturan pada gording, defleksi diperhitungkan untuk mendapatkan suatu konstruksi gording yang kokoh dan mampu menerima beban sesuai dengan rancangan berikut rumus dan perhitungan deflesi gording.

$$\begin{aligned}
\delta_2 &= \frac{5}{384} \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{84} \frac{p \cos \alpha (L_1)^3}{EI} \\
&= \frac{5}{384} \frac{0,402 \cos 27^\circ (3000)^4}{200.000 \times 710.000} + \frac{1}{84} \frac{1 \sin 2^\circ (3000)^3}{200.000 \times 710.000} \\
&= 4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_3 &= \frac{5}{384} \frac{q \cos \alpha (L1)^4}{EI} + \frac{1}{84} \frac{p \sin \alpha (L1)^3}{EI} \\ &= \frac{5}{384} \frac{0,402 \sin 27^\circ (3000)^4}{200.000 \times 710.000} + \frac{1}{84} \frac{1 \text{ si}^\circ (3000)^3}{200.000 \times 710.000} \\ &= 0.012\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} \\ &= \sqrt{0,04977^2 + 2,55622^2} \leq \frac{1}{240} \times 3000 \\ &= 4 \text{ mm} \leq 14,2 \text{ mm}\end{aligned}$$

Defleksi yang terjadi pada gording yaitu 4 mm sedangkan batas defleksi yang diijinkan pada gording atap ini adalah 14,2 mm, sehingga jarak antar gording dapat digunakan.

2.4.1.5 Rencana Sag-rod

Sag-rod adalah batas besi bulat yang terbuat dari tulangan polos dengan kedua ujung memiliki ulir dan baut sehingga posisi bisa digeser. Sag-rod sendiri berfungsi sebagai pengikat atau penghubung antar gording sehingga gording menjadi lebih kuat. Pada Gedung parkir pabrangan di Malioboro Yogyakarta, direncanakan jumlah gording di bawah nok = 5 baris dan berikut adalah rumus beserta perhitungannya.

$$\begin{aligned}F_{t,D} &= n \left(\frac{L1}{3} q \sin \alpha \right) \\ &= 5 \times \left(\frac{3,4}{3} \times 0,402 \sin 27^\circ \right) \\ &= 1,03 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{t,L} &= \left(\frac{n}{3} p \sin \alpha \right) \\ &= \left(\frac{5}{3} \times 1 \times \sin 27^\circ \right) \\ &= 1,13 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kombinasi beban:

$$\begin{aligned}F_{t,U} &= 1,4 F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 1,03 \\ &= 1,45 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{t,U} &= 1,2 F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= (1,2 \times 1,03) + (1,6 \times 1,13) \\ &= 3,06 \text{ kN}\end{aligned}$$

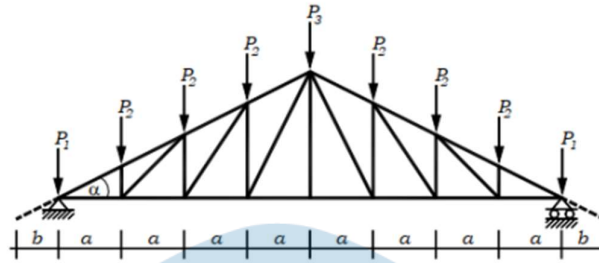
Berdasarkan Perhitungan kombinasi beban diatas digunakan nilai $F_{t,U}$ yang terbesar, yaitu $F_{t,U} = 3,06 \text{ kN}$, kemudian dapat dihitung luas penampang sag-rod dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}Asr &= \frac{Ft \times 10^3}{\phi Fy} \\ &= \frac{3,06 \times 10^3}{0,9 \times 240} \\ &= 14,146 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas batang sag-rod yang dibutuhkan adalah $14,146 \text{ mm}^2$

2.4.2 Perencanaan Kuda-Kuda

Perencanaan kuda-kuda dilaksanakan setelah dimensi gording, sag-rod dan lainnya telah direncanakan, Untuk merencanakan beban kuda-kuda dapat dilakukan setelah dimensi gording, sag rod dan lainnya ditentukan. Dengan melihat denah rencana atap dapat dibuat bagan kuda-kuda seperti ditunjukkan Gambar 2.5 Bagan Rencana Kuda-Kuda (Haryanto,2008). Lebar tritisan diambil sebesar b , yang besarnya bervariasi antara 750 mm sampai dengan 1250 mm. 45 Beban-beban P1, P2 dan P3 dihitung sesuai dengan jarak gording (lebar atap yang didukung) dan panjang gording (jarak antara kuda-kuda).



Gambar 2.5 Bagan Rencana Kuda-Kuda (Haryanto,2008)

Diketahui data kuda-kuda sebagai berikut:

Kemiringan atap (α) = 27°

Berat kuda-kuda = 0,5 kN/m

b = 1 m

a = 1,87 m

L1 = 3 m

Berat Gording = 0,402 kN/m

Berat atap = 0,35 kN/m

Berikut ini adalah tabel persamaan yang digunakan untuk menentukan beban P1, P2 dan P3.

Tabel 2.6 Menentukan P1, P2, dan P3

Beban P1	Berat sendiri kuda-kuda	$\frac{a}{2} \times \text{berat kuda-kuda}$
	Berat gording	$L1 \times \text{berat gording per m'}$
	Berat atap	$\frac{(\frac{a}{2}+b)}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$
Berat P2	Berat sendiri kuda-kuda	$a \times \text{berat kuda-kuda}$
	Berat gording	$L1 \times \text{berat gording per m'}$
	Berat atap	$\frac{a}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$

Tabel 2.7 Menentukan P1, P2, dan P3 (Lanjutan)

Berat P3	Berat sendiri kuda-kuda	$2 \times a \times \text{berat kuda-kuda}$
	Berat gording	$L1 \times \text{berat gording per m'}$
	Berat atap	$\frac{a}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$

Beban P1

$$\text{Berat sendiri} = \frac{a}{2} \times \text{berat kuda-kuda}$$

$$= \frac{1,67}{2} \times 0,5$$

$$= 0,41 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L1 \times \text{berat gording per m'}$$

$$= 3,4 \times 0,035$$

$$= 0,12 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{\left(\frac{1,67}{2} + 1\right)}{\cos 27^\circ} \times 3,4 \times 0,402$$

$$= 2,56 \text{ kN}$$

$$\text{Total beban P1} = 3,10 \text{ kN}$$

Beban P2

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

$$= 1,67 \times 0,5$$

$$= 0,83 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L1 \times \text{berat gording per m'}$$

$$= 3,4 \times 0,035$$

$$= 1,25 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{a}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times 3,4 \times 0,402$$

$$= 3,40 \text{ kN}$$

$$\text{Total Beban P2} = 4,41 \text{ kN}$$

Beban P3

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

$$= 1,67 \times 0,5$$

$$= 0,83 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = 2 \times L1 \times \text{berat gording per m'}$$

$$= 2 \times 3,4 \times 0,035$$

$$= 0,24 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{a}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap}$$

$$= \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times 3,4 \times 0,402$$

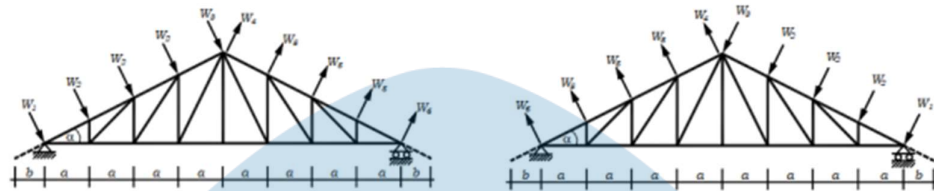
$$= 2,33 \text{ kN}$$

$$\text{Total Beban P3} = 3,40 \text{ kN}$$

2.4.2.1 Perhitungan Beban Angin

Beban angin dibedakan menjadi 2, yaitu beban angin dari kiri dan kanan pada joint. Setiap beban angin memuat angin tiup (Cti) dan angin isap (Cis). Beban angin diperhitungkan, baik dari tiupan ke arah kiri maupun tiupan ke arah kanan. Tiupan menimbulkan gaya tekan pada sisi kuda-kuda yang langsung terkena angin, dan gaya hisapan pada sisi kuda-kuda yang tidak langsung terkena angin. Gaya tekan dan gaya hisapan tersebut diperhitungkan memiliki arah tegak lurus dengan

bidang atap. Untuk beban angin ditentukan koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dalam Peraturan Pembebanan, dan dijelaskan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Ilustrasi Beban Angin dari Kiri dan Kanan pada Joint

Besarnya W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 dan W_6 dihitung sesuai dengan besar tiupan angin (Q_w), koefisien beban angin (C_{ti} atau C_{is}) yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 Nilai Koefisien Angin Tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}), jarak gording (lebar atap 48 yang didukung) dan panjang gording (jarak antara kuda-kuda), perhitungan beban-beban pada W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 dan W_6 dijelaskan pada persamaan berikut.

Tabel 2.8 Persamaan untuk perhitungan Beban Angin

Beban W_1	$\frac{(\frac{a}{2} + b)}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L_1 \times Q_w$
Beban W_2	$\frac{a}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L_1 \times Q_w$
Beban W_3	$\frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L_1 \times Q_w$
Beban W_4	$\frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{is} \times L_1 \times Q_w$
Beban W_5	$\frac{a}{\cos \alpha} \times c_{is} \times L_1 \times Q_w$
Beban W_6	$\frac{(\frac{a}{2} + b)}{\cos \alpha} \times c_{is} \times L_1 \times Q_w$

Tabel 2.9 Nilai Koefisien Angin Tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is})

Arah Angin	h/L	Di sisi angin datang								Di sisi angin pergi		
		Sudut, θ (derajat)								Sudut, θ (derajat)		
		10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a	0,4	0,018	-0,3	-0,5	-0,6
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	0,0 ^a	0,018	-0,5	-0,5	-0,6
	$\geq 1,0$	-1,3 ^b	-1,0	-0,7	-0,5	-0,3	-0,2	0,0 ^a	0,018	-0,7	-0,6	-0,6
Arah Angin	h/L	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang				C_p						

Data untuk menentukan koefisien angin:

$$\text{Kemiringan atap } (\alpha) = 27^\circ$$

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$L = 17 \text{ m}$$

$$h/L = 0,15$$

Berdasarkan data diatas nilai $c_{ti} = 0,3$ dan $c_{is} = -0,6$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W1 &= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L1 \times Qw \\ &= \frac{\left(\frac{1,67}{2}+1\right)}{\cos 27^\circ} \times 0,3 \times 3,4 \times 0,642 \\ &= 0,73 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W2 &= \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L1 \times Qw \\ &= \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times 0,3 \times 3,4 \times 0,642 \\ &= 0,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W3 &= \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{ti} \times L1 \times Qw \\ &= \frac{1}{2} \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times 0,3 \times 3,4 \times 0,642 \\ &= 0,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{is} \times L1 \times Qw \\ &= \frac{1}{2} \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times -0,6 \times 3,4 \times 0,642 \\ &= -0,67 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Beban } W5 = \frac{a}{\cos \alpha} \times c_{is} \times L1 \times Qw$$

$$= \frac{1,67}{\cos 27^\circ} \times -0,6 \times 3,4 \times 0,642$$

$$= -1,34 \text{ kN}$$

Beban W6

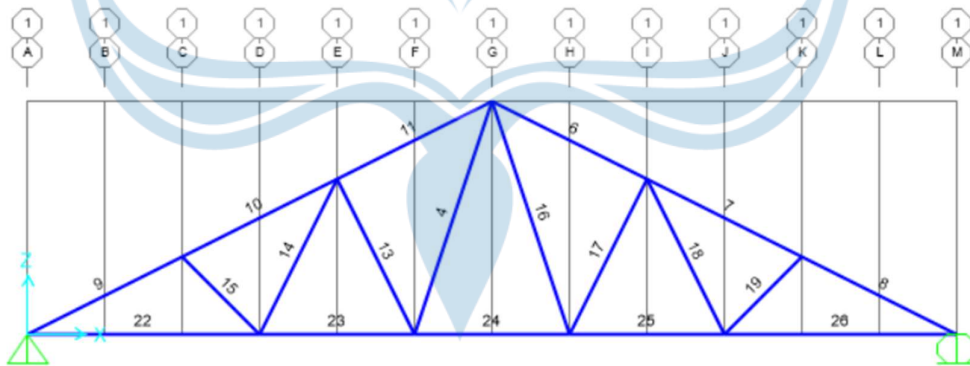
$$= \frac{\left(\frac{a}{2}+b\right)}{\cos \alpha} \times \text{cis} \times L1 \times Qw$$

$$= \frac{\left(\frac{1,67}{2}+1\right)}{\cos 27^\circ} \times -0,6 \times 3,4 \times 0,642$$

$$= -1,47 \text{ kN}$$

2.4.2.2 Perencanaan Elemen Kuda-Kuda

Pada perencanaan elemen kuda-kuda ada dua hal yang perlu diperhatikan. Pertama adalah perencanaan elemen tarik (tanda positif), dan perencanaan elemen tekan (tanda negatif). Untuk merencanakan elemen kuda-kuda membutuhkan bantuan software SAP2000 untuk mendapatkan output pada gaya tekan dan gaya tarik pada tiap elemennya. Tabel 2.10 merupakan hasil Output gaya dalam Gedung pakiran pabringan di Malioboro Yogyakarta. Gambar 2.7 merupakan desain rangka atap kuda-kuda yang digunakan pada bangunan ini.



Gambar 2.7 Kuda kuda atap setelah dimodelkan di SAP 2000

Tabel 2.10 Gaya dalam Kuda-Kuda

no batang	panjang (mm)	1.4 D (kN)	1.2D + 1.6L (kN)	1.2DL +1.3Wki+0.5L (kN)	1.2DL +1.3Wka+0.5L (kN)
4	2635,26	10.12	8.674	10.405	6.305
6	1863,42	-27.307	-23.406	-20.803	-23.486
7	1863,42	-35.313	-30.268	-27.327	-30.976
8	1863,42	-40.757	-34.934	-32.059	-35.711
9	1863,42	-40.842	-35.007	-33.848	-31.857
10	1863,42	-35.399	-30.342	-29.26	-27.255
11	1863,42	-27.394	-23.48	-22.378	-21.339
13	1863,36	-10.222	-8.761	-10.624	-6.269
14	1863,42	5.912	5.068	5.951	3.538
15	1178,49	-6.909	-5.922	-7.054	-4.004
16	2635,26	10.119	8.673	5.586	9.686
17	1863,36	-10.222	-8.761	-5.46	-9.817
18	1863,42	5.912	5.067	3.389	5.803
19	1178,49	-6.909	-5.922	-3.771	-6.834
22	2500	36.491	31.278	39.563	26.842
23	1666,67	29.019	24.873	31.718	22.229
24	1666,67	21.318	18.273	23.22	16.982
25	1666,67	29.019	24.873	26.849	23.864
26	2500	36.491	31.278	30.732	30.994

Berdasarkan pemodelan dengan SAP2000 didapat data tabel diatas, dari data tabel diatas dicari gaya tekan dan Tarik terbesar yaitu:

Gaya tekan maks: -40,84 kN dan Gaya Tarik maks: 39,563 kN

Data untuk menentukan Elemen kuda-kuda:

$$A_g = 480,2 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_x = 11100 \text{ cm}^4$$

$$r_x = r_y = 15,2 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 14,2 \text{ mm}$$

$$T_p = 10 \text{ mm}$$

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

$$E = 200.000 \text{ MPa}$$

Sebuah komponen struktur tekan dibebani beban aksial tekan sehingga terjadi tekuk terhadap keseluruhan elemen tersebut (bukan tekuk lokal), maka ada tiga macam potensi tekuk yang mungkin terjadi:

1. Tekuk lentur. Dapat terjadi pada semua penampang
2. Tekuk torsi. Tekuk torsi hanya terjadi pada elemen-elemen yang langsing dengan sumbu simetri ganda. Contoh: penampang cruciform
3. Tekuk lentur torsi. Tekuk lentur torsi dapat terjadi pada penampang – penampang dengan satu sumbu simetri saja seperti profil kanal, T, siku ganda dan siku tunggal sama kaki. Di samping itu juga dapat terjadi pada penampang – penampang tanpa sumbu simetri seperti profil siku tunggal tak sama kaki dan profil Z.

Berdasarkan SNI 1729:2015, tekuk lentur dapat memengaruhi kekuatan tekan nominal (P_n) dari suatu komponen struktur tekan. P_n ditentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur. Rumus perhitungan P_n dapat dicermati sebagai berikut

Pemeriksaan Batang Tekan

Pemeriksaan Tekuk Lentur

Klasifikasi Penampang

$$\begin{aligned}\lambda \text{ (rasio kelangsingan)} &= \frac{b}{t} \\ &= \frac{50}{5} \\ &= 10 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,45 \sqrt{\frac{200.000}{240}} \\ &= 12,990 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda < \lambda_r = 10 < 12,990$$

Nilai $\lambda = 10$ lebih kecil dari $\lambda_r = 12,990$ sehingga penampang adalah penampang non langsing.

Pemeriksaan Tekuk Lentur (terhadap sumbu X-X)

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1,2 \times 1863,42}{15,2} = 147,11$$

$$\begin{aligned} F_e \text{ (tegangan tekuk elastis)} &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 200.000}{147,11^2} \\ &= 91,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} &= 4,71 \sqrt{\frac{200.000}{240}} \\ &= 135,97 \end{aligned}$$

Sehingga F_{cr} (tegangan kritis) diambil dari persamaan :

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,877 F_e \\ &= 0,877 \times 91,21 \\ &= 79,77 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi

$$a = 2500 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{2500}{15,2} = 164,47 > 40, \text{ maka gunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1,2 \times 2500}{15,2}\right)^2 + 0,5 \times 164,47^2} \\ &= 187,53 \end{aligned}$$

Nilai $\left(\frac{KL}{r}\right)_m = 187,53$ lebih besar dari $4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$ sehingga digunakan persamaan $F_{cr} = 0,877F_e$, dimana F_e yaitu:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 200.000}{163,92^2} \\ &= 56,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cry} \text{ (tekuk lentur dalam arah sumbu y)} &= 0,877 \times 73,46 \\ &= 64,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{crz} \text{ (tekuk lentur dalam arah sumbu z)} &= \frac{GJ}{A \times r_0} \\ &= \frac{77200 \times 3958,33}{960 \times 846,10} \\ &= 376,06 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H}{(F_{cry} + F_{cr})^2}}\right] \\ &= \left(\frac{64,43 + 376,06}{2 \times 0,84096}\right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 64,43 \times 376,06 \times 0,84096}{(64,43 + 376,06)^2}}\right] \\ &= 62,45 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil, yaitu = 62,45 Mpa

Kekuatan Tekan Desain:

$$F_{cr} = 86,87 \text{ MPa (Pemeriksaan tekuk lentur)}$$

$$F_{cr} = 62,45 \text{ MPa (Pemeriksaan terhadap tekuk lentur torsi)}$$

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil yaitu $F_{cr} = 62,45 \text{ MPa}$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$= 0,9 \times 62,45 \times 960,4$$

$$= 53,98 \text{ kN}$$

Nilai $\phi_c P_n = 53,98 \text{ kN}$ lebih besar dari gaya tekan maksimum = 48,85 kN, maka kekuatan batang tekan aman.

Pemeriksaan Batang Tarik

Perhitungan kelangsingan batang Tarik

$$L = 2400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{L}{r} \\ &= \frac{2400}{15,2} \\ &= 157,89 < 300 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Nilai kelangsingan batang ini lebih kecil dari kelangsingan batang yang disyaratkan untuk batang tarik, yaitu $\lambda = 300$, maka kekakuan batang memenuhi persyaratan

Pemeriksaan Kegagalan Akibat Deformasi Berlebih (*Yielding*)

P_n (kekuatan tekan nominal)

$$\phi P_n = F_y A_g = 240 \times 960,4 = 207,446 \text{ kN}$$

Nilai $\phi P_n = 207,446 \text{ kN}$ lebih besar dari gaya tarik maksimum = 47,75 kN, maka kekuatan batang tarik aman.

2.4.2.3 Sambungan Las

Menghitung Tebal Efektif Las Sudut

$$\text{Tebal efektif las sudut } (t_e) = 0,7 \times 8 = 5,6 \text{ mm}$$

Menghitung kekuatan las memanjang (R_{nw1}) dan Las melintang (R_{nwt})

$$\begin{aligned} R_{nw1} &= (0,6 F_{EXX}) A_{we} \\ &= 0,6 \times 485 \times 5,6 \times (2 \times 250) \end{aligned}$$

$$= 814800 \text{ N}$$

$$R_{nwt} = (0,6F_{EXX})A_{we}$$

$$= 0,6 \times 485 \times 5,6 \times 200$$

$$= 325920 \text{ N}$$

Menghitung Kekuatan Las Kombinasi

$$R_n = R_{nwl} + R_{nwt}$$

$$= 814800 + 325920 = 1140720 \text{ N}$$

$$= 1140,72 \text{ kN}$$

$$R_n = 0,85R_{nwl} + 1,5R_{nwt}$$

$$= (0,85 \times 814800) + (1,5 \times 325920) = 1181460 \text{ N}$$

$$= 1181,46 \text{ kN}$$

Dipilih yang terbesar yaitu $R_n = 1181,46 \text{ kN}$

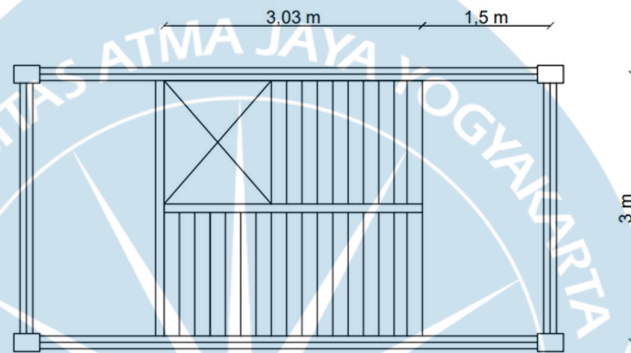
Menghitung kuat Tarik desain

$$\emptyset R_n = 0,75 \times 1181,46 \text{ kN}$$

$$= 886,095 \text{ kN}$$

2.5 Perancangan Tangga

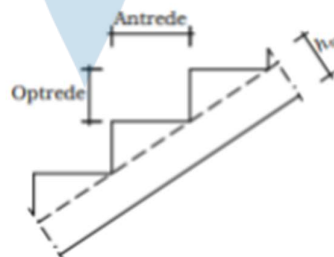
Perencanaan tangga, terlebih dahulu dibuat denah ruang tangga. Denah ruang tangga yang dirancang dalam perancangan bangunan gedung parkir sebagai berikut, tangga ini berfungsi sebagai tangga darurat sedangkan untuk transportasi naik dan turun pengguna Gedung ini akan menggunakan lift.



Gambar 2.8 Denah Ruang Tangga

Perencanaan tangga perlu memperhatikan hal-hal berikut ini:

1. Lebar bordes minimal selebar tangga.
2. Tinggi optrede (O) minimal 150 mm sampai dengan 200 mm. Lebar antrede (A) minimal 280 mm sampai 300 mm. Berikut Gambar 2.9 merupakan optrede dan andtrede.



Gambar 2.9 Detail Anak Tangga

2.5.1 Perhitungan Denah Ruang Tangga

Berikut adalah contoh perhitungan perencanaan tangga untuk Gedung parkir pabrangan. Tinggi Lantai (Hlt) adalah 3.5 mter dengan lebar tangga 3 meter, kemudian lebar bordes adalah 1.5 meter, tinggi anak tangga atau biasa disebut *optrede* setinggi 18.5 cm, lebar anak tangga atau *antrede* selebar 30 cm dapat dihitung jumlah anak tangga yang ada pada tangga ini dengan cara membagi tinggi lantai (HLT) dengan tinggi anak tangga dibawah ini merupakan perhitungannya. Berat volume beton pada tangga ini adalah 24 kN/m³, berat volume ubin adalah 21 kN/m³, dan tebal plat tangga adalah 120 mm.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah anak tangga} &= \frac{Hlt}{o} \\ &= \frac{3.5}{0.185} \\ &= 19 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar memanjang tangga (Ltg)} &= \left(\frac{1}{2} \times \frac{3,5}{0,18} - 1\right) \times 0,3 \\ &= 2537,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

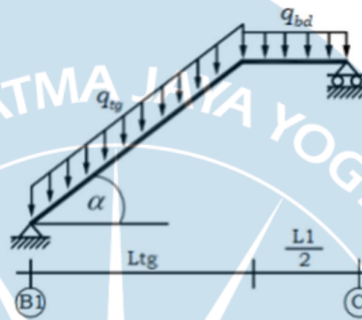
Setelah semua data-data tersebut diketahui dan di tentukan dapat dicari sudut kemiringan tangga dengan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Sudut tangga } (\alpha) &= \tan^{-1}\left(\frac{o}{A}\right) \\ &= \tan^{-1}\left(\frac{185}{300}\right) \\ &= 31,7^\circ \end{aligned}$$

Didapatkan kemiringan sudut dari tangga darurat pada bangunan Gedung parker pabrangan adalah =31,7°.

2.5.2 Perhitungan Pembebanan Tangga

Beban tangga dapat dihitung setelah dimensi ruang tangga dan sudut kemiringan tangga didapatkan nilainya. Pelat tangga (*htg*) kemudian diperkirakan tebalnya. Beban tangga dibedakan menjadi beban tangga (*qtg*) dan beban bordes (*qbd*). Ilustrasi letak beban *qtg* dan *qbd* dapat diamati sebagai berikut.



Gambar 2.10 Detail Pembebanan Tangga

Persamaan perhitungan tangga dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.11 Persamaan untuk Perhitungan Beban Tangga

Beban qtg:	Berat sendiri tangga	$= \frac{htg}{\cos a} \times \text{berat volume beton}$
	Berat anak tangga	$= 0.5 O \times \text{berat volume beton}$
	Berat ubin & spesi	$= 0.05 \times \text{berat volume ubin}$
	Berat railing (diperkirakan)	= diperkirakan
Beban qbd:	Beban sendiri tangga	$= htg \times \text{berat volume beton}$
	Berat ubin & spesi	$= 0.05 \times \text{berat volume ubin}$
	Berat railing (diperkirakan)	= diperkirakan

Pembebanan Tangga (qtg)

Dead Load:

$$\begin{aligned}\text{Beban sendiri tangga} &= \frac{0,12}{\cos 31,66} \times 24 \\ &= 3,38 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat anak tangga} &= \frac{1}{2} \times 0,185 \times 24 \\ &= 2,22 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Finishing} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total dead load (qp)} = 7,60 \text{ kN/m}^2$$

Live Load:

$$\text{Beban hidup} = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

Pembebanan Bordes (qbd)

Dead Load:

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri tangga} &= 0,12 \times 24 \\ &= 2,88 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Finishing} = 0 \text{ kN/m}^2$$

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

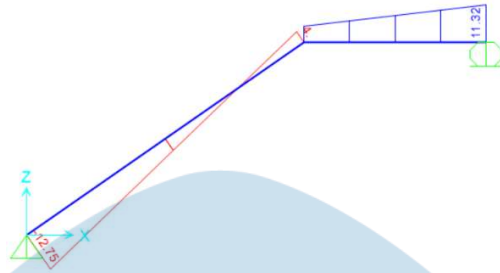
Live Load:

$$\text{Beban hidup} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

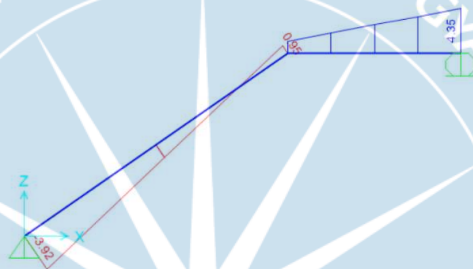
2.5.3 Perhitungan Gaya Dalam Tangga

Setelah didapatkan beban-beban tangga dimasukkan ke dalam aplikasi SAP2000 untuk mencari besarnya momen dan geser dari dimensi tangga dan beban yang telah dihitung. Berikut adalah gambar pemodelan tangga di SAP2000.

2.5.3.1 Shear Force Diagram (SFD)

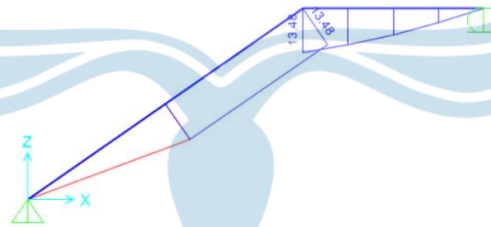


Gambar 2.11 SFD Akibat Dead Load

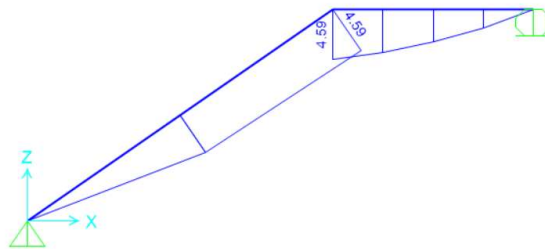


Gambar 2.12 SFD Akibat Live Load

2.5.3.2 Bending Moment Diagram (BMD)

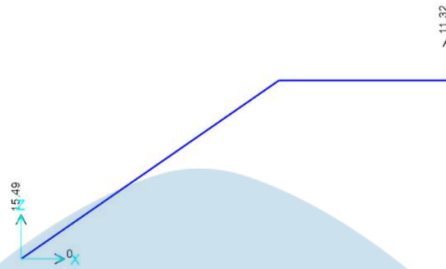


Gambar 2.13 BMD Akibat Dead Load



Gambar 2.14 BMD Akibat Live Load

2.5.3.3 Reaksi Tumpuan



Gambar 2.15 Reaksi Tumpuan Akibat Dead Load



Gambar 2.16 Reaksi Tumpuan Akibat Live Load

$$M_{DL} = 13,48 \text{ kNm}$$

$$M_{LL} = 4,59 \text{ kNm}$$

$$V_{DL} = 12,75 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 4,35 \text{ kN}$$

2.5.4 Perencanaan Penulangan Tangga

Perencanaan penulangan tangga dilakukan setelah gaya-gaya tangga, antara lain : momen dan geser dihitung. Dari gaya-gaya rencana kemudian dihitung luas tulangan tangga, dan di-cek tebal tangga terhadap gaya geser rencana.

Luas tulangan tangga (A_{tg}) didapatkan dari momen rencana (M_{ur}). Gaya geser rencana (V_{ur}) digunakan untuk cek ketebalan dari tangga (h_{tg}) dengan syarat $V_c \geq V_{ur}$. Tebal tangga perlu diperbesar apabila $V_c < V_{ur}$. Mutu bahan beton yang digunakan adalah $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan mutu baja yang digunakan untuk tulangan

utama adalah $f_y = 420$ Mpa sedangkan untuk tulangan transversal adalah $f_y = 280$ Mpa.

$$\begin{aligned} M_u &= 1,4 M_{DL} \\ &= 1,4 \times 13,48 \\ &= 18,9 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= (1,2 \times 13,48) + (1,6 \times 4,59) \\ &= 23,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Diambil nilai terbesar yaitu $M_u = 23,5$ kNm

$$\begin{aligned} V_u &= 1,4 V_{DL} \\ &= 1,4 \times 12,75 \\ &= 17,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1,2 V_{DL} + 1,6 V_{LL} \\ &= (1,2 \times 12,75) + (1,6 \times 4,35) \\ &= 22,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai terbesar yaitu $V_u = 22,26$ kN

2.5.4.1 Penulangan Tangga Tumpuan

Tulangan Utama

$$\begin{aligned} M_u &= 0,5 M_u \\ &= 0,5 \times 23,52 \\ &= 11,76 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan D10

$$A_s = 78,54 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f_c' b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 11,76}{1,7 \times 25 \times 1000 \times 95^2}} \right] \\ &= 0,00357\end{aligned}$$

$$A_{s\text{min}} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho b d$$

$$= 0,00357 \times 1000 \times 95$$

$$= 339,47 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{339,47}$$

$$= 231,36 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan D10-200 mm

Cek gaya geser:

$$V_c = 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 92$$

$$= 80750 \text{ N}$$

$$= 80,75 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 80,75 \times 0,75 \\ &= 60,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

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

Tulangan Susut

$$\begin{aligned}M_u &= 0,5 M_u \\ &= 0,5 \times 23,52 \\ &= 11,76 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Direncanakan tulangan P8

$$\begin{aligned}A_s &= 50,27 \text{ mm}^2 \\ A_{smin} &= 0,002bh \\ &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\ &= 240 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho b d \\ &= 0,00302 \times 1000 \times 95 \\ &= 286,51 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{50,27 \times 1000}{240} \\ &= 209,44 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan P8-200 mm

2.5.4.2 Penulangan Tangga Lapangan

Tulangan Utama

$$\begin{aligned}M_u &= 0,8 M_u \\ &= 0,8 \times 23,52\end{aligned}$$

$$= 18,816 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan D10

$$A_s = 78,54 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = 120 - 20 - 10/2 = 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M}{1,7 \phi f_c' b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 18,816}{1,7 \times 25 \times 1000 \times 95^2}} \right] \\ &= 0,00585 \end{aligned}$$

$$A_{smin} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{sperlu} = \rho b d$$

$$= 0,00585 \times 1000 \times 95$$

$$= 556,15 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{556,15}$$

$$= 141,22 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan D10-100 mm

Cek gaya geser:

$$V_c = 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 92$$

$$= 79475 \text{ N}$$

$$= 79,475 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 79,475 \times 0,75$$

$$= 59,61 \text{ Kn}$$

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

Tulangan Susut

$$M_u = 0,8 M_u$$

$$= 0,8 \times 23,52$$

$$= 18,816 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan P8

$$A_s = 50,27 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,002bh$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 120$$

$$= 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{sperlu} = \rho b d$$

$$= 0,00585 \times 1000 \times 95$$

$$= 556,15 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{50,27 \times 1000}{556,15}$$

$$= 141,22 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan D10-100 mm

2.5.5 Perencanaan Fondasi Tangga

$$\text{Beban mati tangga} = 35,83 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban hidup tangga} = 23,55 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban dinding} &= 2,5 \times 4 \\ &= 10 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total beban } q_{tg} = 69,38 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{\text{tanah}} = 17 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tebal fondasi} = 300 \text{ mm}$$

$$d = 1500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{netto}} &= 300 - (2 \times 0,3) \times 17 - (0,3 \times 24) \\ &= 199,55 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$B \text{ (asumsi)} = 2000 \text{ mm}$$

$$E = \frac{\text{Momen Tumpuan}}{q_{tg}}$$

$$= \frac{48,5}{69,38}$$

$$= 0,699 \text{ m}$$

$$= 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Cek tegangan} = \frac{q_{tg}}{B}$$

$$= \frac{69,38}{2}$$

$$= 34,69 < \sigma_{\text{netto}} = 199,55 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Menghitung tegangan terfaktor

$$\text{Beban mati tangga } 1,2 = 35,83 \times 1,2$$

$$= 42,996 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban hidup tangga } \times 1,6 = 23,55 \times 1,6$$

$$= 37,68 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban dinding } \times 1,2 = 10 \times 1,2$$

$$= 12 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban } qtg = 92,676 \text{ kN/m}$$

$$E = \frac{\text{Momen Tumpu}}{qtg}$$

$$= \frac{48,5}{92,676}$$

$$= 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Cek tegangan} = \frac{qtg}{B} = \frac{92,676}{2} = 46,338 < \sigma_{netto} = 199,55 \text{ kN/m}^2 \text{ (OK)}$$

Rencana Penulangan Fondasi Tangga

Pondasi tangga direncanakan dengan mempertimbangkan daya dukung ijin tanah, untuk merencanakan dimensi pondasi tangga dapat dilakukan sebagai berikut ini.

$$Mu = \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} btg \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{46,338}{2} \left(\frac{2}{2} + 0,5 - \frac{1}{2} \times 0,3 \right)^2$$

$$= 13,5 \text{ kNm}$$

$$Vu = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} btg \right)^2$$

$$= \frac{46,338}{2} \left(\frac{2}{2} + 0,5 - \frac{1}{2} \times 0,3 \right)^2$$

$$= 23,52 \text{ kNm}$$

Tulangan Utama

Digunakan tulangan D16

Sbeton = 40 mm

As = 201,062 mm²

b = 1000 mm

$$d_s = 300 - 40 - (16/2) = 252 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Mu}{1,7\phi f_c' b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 13,5}{1,7 \times 25 \times 1000 \times 92^2}} \right] \\ &= 0,0044\end{aligned}$$

$$A_{smin} = 0,002bh = 0,002 \times 1000 \times 300 = 600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sperlu} = \rho b d = 0,0044 \times 1000 \times 252 = 2638,92 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 16^2 \times 1000}{2638,92} = 335,92 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan D16-300 mm

Cek gaya geser:

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \sqrt{f_c'} \times b \times d = 0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 252 = 214200 \text{ N} \\ &= 214,2 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_c = 214,2 \times 0,75 = 160,65 \text{ kN}$$

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

Tulangan Susut

$$M_u = 0,5 M_u = 0,5 \times 60,62 = 30,31 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan P10

$$A_s = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,002bh = 0,002 \times 1000 \times 300 = 600 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{78,54 \times 1000}{600} = 130,9 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan P10-100 mm

2.6 Perancangan Pelat Lantai

Pelat lantai perlu direncanakan untuk memastikan lantai dapat menahan beban servis rencana di atasnya. Pelat lantai biasa memikul beban berupa beban bergerak (*live load*) dan juga beban tidak bergerak (*dead load*). Tulangan pada pelat lantai direncanakan untuk menahan momen akibat beban yang dipikul. Pelat lantai harus dapat menerima beban servis yang kemudian disalurkan ke balok dan kolom. Untuk menghitung pelat lantai, digunakan metode pendekatan.

2.6.1 Rekapitulasi Tipe Pelat

Tabel 2.12 Rekapitulasi Tipe Pelat

Tipe Pelat	A	B	C	D
Kondisi Tumpuan	Dua menerus	Dua menerus	Dua menerus	Dua menerus
Koef Tumpuan	0.1	0.1	0.1	0.1
Koef Lapangan	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
Lx (mm)	2383.33	2550	2383.3	2550
Ly (mm)	9450	9450	9450	9450
Ly/Lx	4.0	3.7	4.0	3.7
Jenis Pelat	Pelat satu arah	Pelat satu arah	Pelat satu arah	Pelat satu arah
Fungsi	Parkiran mobil	Parkiran mobil	Parkiran mobil	Parkiran mobil

2.6.2 Perhitungan Beban Pelat

Salah satu contoh perhitungan pelat lantai digunakan pelat lantai satu arah dengan mutu beton yang digunakan adalah 25 Mpa dan Mutu baja yang digunakan adalah 280 Mpa, kemudian tebal pelat lantai 12 cm. Berikut adalah tabel perhitungan

Tabel 2.13 Perhitungan Beban Pelat

Fungsi Pelat	Macam Pembebanan	Tebal	Berat Volume	Beban Mati (DL)	Beban Hidup (LL)	Wu = 1,2D + 1,6L kN/m ²
		mm	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ²	
Atap (Parkiran)	Beban Sendiri	150	24	3.6		
	Beban Atap			0.196		
	Beban Mobil			1		
	Beban Manusia				1.92	
	Finishing (Lain - Lain)	20	21	0.42		
	Total			5.216	1.92	9.3312
Parkiran	Beban Sendiri	150	24	3.6		
	Beban Mobil			1		
	Beban Manusia				1.92	
	Total			4.6	1.92	8.592

2.6.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Sebagai contoh perhitungan, digunakan Pelat A, dengan Ly= 3 m dan Lx = 10m

Type A (Satu Ujung Menerus)

Menentukan tebal pelat minimum

Sbeton = 40 mm

Direncanakan tulangan P10

Ln = 2,38 m

$$\frac{Ln}{24} = \frac{2,38}{24} = 99,3 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal pelat 120 mm

$$d_s = 120 - 40 - 10/2 = 75 \text{ mm}$$

Hitung Pembebanan Pelat

$$\text{Beban mobil} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

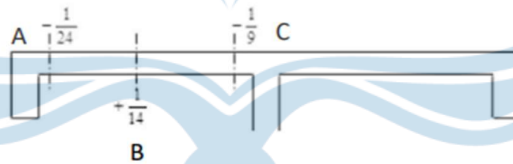
$$\text{Finishing Lantai} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_D = 0,12 \times (24 + 0,5 + 0,2) = 3,58 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2q_D + 1,6q_L \\ &= (1,2 \times 3,58) + (1,6 \times 1,92) \\ &= 7,4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Pelat (dititik A)



Gambar 2.17 Koefisien Momen Pelat

$$M_u = 0,04167 \times 7,4 \times 2,38^2$$

$$= 1,74 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1,74}{1,7 \times 25 \times 1000 \times 75^2}} \right] \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

$$A_s = 0,0018 \times 1000 \times 75 = 62,0,23 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 9,45^2 \times 1000}{240}$$

$$= 327,25 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan P10-200 mm

Dilakukan perhitungan dengan proses dan cara yang sama untuk titik B dan C sehingga:

Tabel 2.14 Hasil Perhitungan Pelat

	A	B	C
Koefisien	0.041666667	0.071428571	0.111111111
Mu	1.743845278	2.989449048	4.650254074
ρ	0.000826908	0.00142607	0.002236499
As (mm²)	62.01809652	106.9552507	167.7374378
As min	240	240	240
As pasang	240	240	240
S	327.2492347	327.2492347	327.2492347
Pasang	P10 - 200	P10 - 200	P10 - 200

Type A (Dua Ujung Mennerus)

Menentukan tebal pelat minimum

$$S_{beton} = 40 \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan P10

$$\frac{L}{28} = \frac{2,38}{28} = 85,12 \text{ mm}$$

Maka digunakan tebal pelat 120 mm

$$d_s = 120 - 40 - 10/2 = 75 \text{ mm}$$

Hitung Pembebanan Pelat

$$\text{Beban mobil} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

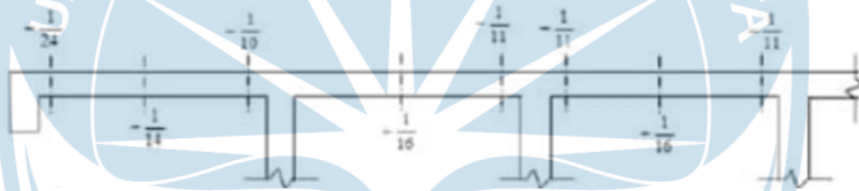
$$\text{Finishing Lantai} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_D = 0,12 \times (24+0,5+0,2) = 3,58 \text{ kN/m}^2$$

$$q_L = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2q_D + 1,6q_L \\ &= (1,2 \times 3,58) + (1,6 \times 1,92) \\ &= 7,368 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Momen Pelat (dititik A)



Gambar 2.18 Koefisien Momen Pelat

$$M_u = \frac{1}{10} \times 7,368 \times 2,38^2 = 4,19 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c' b d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 4,19}{1,7 \times 25 \times 1000 \times 75^2}} \right] \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

$$A_s = 0,00433 \times 1000 \times 75 = 150,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 9,4^2 \times 1000}{240} = 327,25 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan P10-200 mm

Dilakukan perhitungan dengan proses dan cara yang sama untuk titik B dan C sehingga:

Tabel 2.15 Hasil Perhitungan Pelat

	A	B	C
Koefisien	0.1	0.0625	0.090909091
Mu	4.185228667	2.615767917	3.804753333
ρ	0.002008216	0.001245558	0.001822234
As (mm²)	150.6162285	93.4168172	136.6675713
As min	240	240	240
As pasang	240	240	240
S	327.2492347	327.2492347	327.2492347
pasang	P10 - 200	P10 - 200	P10 - 200

2.7 Perancangan Balok

Balok harus dirancang untuk dapat menahan gaya yang diterima oleh balok dari pelat lantai. Beban yang diterima balok menimbulkan momen dan gaya geser pada balok, sehingga balok harus dirancang untuk dapat menahan gaya momen dan gaya geser tersebut. Balok mengalami serat tekan dan serat tarik di sepanjang balok. Pada bagian tersebut harus dirancang tulangan agar balok tidak runtuh dan mengakibatkan kerusakan struktur.

2.7.1 Rekapitulasi Tipe Balok

Tabel 2.16 Rekapitulasi Balok

Tipe Balok	B.550x800	B.400x600
Mu+ tumpuan (kNm)	654.2843	141.6195
Mu- tumpuan (kNm)	-1,000.8407	-244.6727
Mu+ lapangan (kNm)	643.9131	147.742
Mu- lapangan (kNm)	-217.7493	-42.975
Vu (kN)	-466.2720	-129.3100
VG tumpuan (kN)	110.6894	359.4603
VG lapangan (kN)	-76.1014	-330.2663

2.7.2 Data Section & Mutu bahan

Data yang digunakan sebagai berikut:

Mutu bahan:

$$F_c'(\text{mutu beton}) = 25 \text{ MPa}$$

$$F_y(\text{mutu baja}) = 420 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ sengkang} = 280 \text{ MPa}$$

Dimensi balok:

$$b \text{ (lebar balok)} = 550 \text{ mm}$$

$$h \text{ (tinggi balok)} = 800 \text{ mm}$$

$$L \text{ (Panjang balok)} = 10000 \text{ mm}$$

$$L_n \text{ (Panjang bersih)} = 10000 - 700 = 9300 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d(\text{tinggi efektif}) = 800 - 40 - 13 - 25/2 = 734,5 \text{ mm}$$

Tulangan:

$$\text{Tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

2.7.3 Preliminary Check

1. Syarat kekuatan bahan (ps 18.2.5)
 $F_c' = 25 \text{ mpa} > f_c' \text{ min} = 21 \text{ MPa}$ OK
2. Batasan Dimensi Balok (ps. 18.6.5)
 $d = 734,5 \text{ mm} \leq l_n/4 = 2325 \text{ mm}$ OK
 $b = 550 \text{ mm} \geq 0,3 h = 240 \text{ \& } 250$ OK
 $b = 550 \text{ mm} \leq 2100 \text{ mm \& } 1750 \text{ mm}$ OK

2.7.4 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

2.7.4.1 Perhitungan Tumpuan (-)

Mu (-) = 1,000.8407 kNm

1. Menghitung Momen Nominal Yang dibutuhkan (Mn.req)

$$\begin{aligned} \text{Mn.req} &= \frac{1,000.8407}{0,9} \\ &= 1112,05 \text{ kNm} \\ &= 1112045222 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral (a dan c)

Tinggi balok tekan:

$$\begin{aligned} a &= 734,5 - \sqrt{734,5^2 - \frac{2 \times 1112045222}{0,85 \times 25 \times 550}} \\ &= 143,57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral:

$$\begin{aligned} c &= \frac{143,57}{0,85} \\ &= 168,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Cek Regangan Tulangan

$$\epsilon_s = \epsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 168,71)}{168,71} = 0,01005$$

0,01005 > 0,005 (Terkendali Tarik)

0,01005 > 0,004 (Memenuhi Regangan Minimal)

4. Menghitung Kebutuhan Tulangan (As.req)

$$\begin{aligned} \text{As.req} &= \frac{0,85 \times 25 \times 143,57 \times 550}{420} \\ &= 3995,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

5. Menghitung dan control tulangan terpasang (As.use)

$$\begin{aligned} \text{n.req} &= \frac{3995,28 \times 4}{\pi \times 25^2} \\ &= 8,14 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\text{n.use} = 9 \text{ buah}$$

$$As.use = 9 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 4417,86 \text{ mm}^2 > As.req = 3995,28 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.min_1 = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} \times 800 \times 734,5 = 1202,31 \text{ mm}^2$$

$$As.min_2 = \frac{1,4}{420} \times 800 \times 734,5 = 1346,58 \text{ mm}^2$$

$$As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (diambil terbesar)}$$

$$As.use = 4417,86 \text{ mm}^2 > As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.max = 0,025 \times 550 \times 734,5 = 10099,375 \text{ mm}^2$$

$$As.use = 4417,86 \text{ mm}^2 < As.max = 10099,375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6. Spasi Tulangan

$$S_1 = \frac{800 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - 2}{9 - 1} = 27,375 \text{ mm}$$

$$S_1 = 27,375 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$S_1 = 27,375 < S_{maks} \text{ (OK)}$$

7. Kekuatan Nominal (Mn)

Digunakan tulangan longitudinal : 9D25

Lokasi : Tumpuan Kiri

Kekuatan Nominal:

$$a = \frac{4417,86 \times 420}{0,85 \times 25 \times 550} = 158,76 \text{ mm}$$

$$Mn = 4417,86 \times 420 \times \left(734,5 - \frac{158,76}{2}\right)$$

$$= 1215577575,28 \text{ Nmm}$$

$$= 1215,58 \text{ kNm}$$

Kekuatan Desain:

$$c = \frac{158,76}{0,85} = 186,78 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 186,78)}{186,78} = 0,008$$

$$\varphi M_n = 0,9 \times 1215,58 = 1094,02 \text{ kNm}$$

8. Momen Probabilitas (Mpr)

$$A_{pr} = \frac{1,25 \times 25 \times 4417,86}{0,85 \times 25 \times 550} = 198,45 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= 1,25 \times 420 \times 4417,86 \left(734,5 - \frac{198,45}{2} \right) \\ &= 1473444001,4 \text{ Nmm} \\ &= 1473,44 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2.7.4.2 Perhitungan Tumpuan (+)

$$M_u (+) = 654.2843 \text{ kNm}$$

1. Menghitung Momen Nominal Yang dibutuhkan (Mn.req)

$$\begin{aligned} M_n.req &= \frac{654.2843}{0,9} \\ &= 726,98 \text{ kNm} \\ &= 726982555,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral (a dan c)

Tinggi balok tekan:

$$\begin{aligned} a &= 734,5 - \sqrt{734,5^2 - \frac{2 \times 726982555,6}{0,85 \times 25 \times 550}} \\ &= 90,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral:

$$\begin{aligned} c &= \frac{90,23}{0,85} \\ &= 106,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Cek Regangan Tulangan

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5-10,15)}{106,15} = 0,01776$$

$$0,01776 > 0,005 \text{ (Terkendali Tarik)}$$

$$0,01776 > 0,004 \text{ (Memenuhi Regangan Minimal)}$$

4. Menghitung Kebutuhan Tulangan (As.req)

$$As.req = \frac{0,85 \times 25 \times 90,23 \times 550}{420} = 2510,80 \text{ mm}^2$$

5. Menghitung dan control tulangan terpasang (As.use)

$$n.req = \frac{2510,80 \times 4}{\pi \times 25^2} = 5,11 \text{ buah}$$

$$n.use = 6 \text{ buah}$$

$$As.use = 6 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 2945,24 \text{ mm}^2 > As.req = 2510,80 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.min_1 = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} \times 800 \times 734,5 = 1202,31 \text{ mm}^2$$

$$As.min_2 = \frac{1,4}{420} \times 800 \times 734,5 = 1346,58 \text{ mm}^2$$

$$As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (diambil terbesar)}$$

$$As.use = 2945,24 \text{ mm}^2 > As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.max = 0,025 \times 550 \times 734,5 = 10099,375 \text{ mm}^2$$

$$As.use = 2945,24 \text{ mm}^2 < As.max = 10099,375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6. Spasi Tulangan

$$S_1 = \frac{800 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - 25}{6 - 1} = 58,8 \text{ mm}$$

$$S_1 = 58,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

$$S_1 = 58,8 < S_{maks} \quad \text{(OK)}$$

7. Kekuatan Nominal (Mn)

Digunakan tulangan longitudinal : 6D25

Lokasi : Tumpuan Kiri

Kekuatan Nominal:

$$a = \frac{2945,24 \times 420}{0,85 \times 25 \times 550}$$

$$= 105,84 \text{ mm}$$

$$M_n = 2945,24 \times 420 \times \left(734,5 - \frac{105,84}{2}\right)$$

$$= 843116049,41 \text{ Nmm}$$

$$= 843,12 \text{ kNm}$$

Kekuatan Desain:

$$c = \frac{105,84}{0,85}$$

$$= 124,52 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 124,52)}{124,52}$$

$$= 0,0147$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 843,12$$

$$= 758,80 \text{ kNm}$$

8. Momen Probabilitas (Mpr)

$$A_{pr} = \frac{1,25 \times 25 \times 2945,24}{0,85 \times 25 \times 550}$$

$$= 132,30 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 420 \times 2945,24 \left(734,5 - \frac{132,30}{2}\right)$$

$$= 1033438187,25 \text{ Nmm}$$

$$= 1033,44 \text{ kNm}$$

2.7.4.3 Perhitungan Lapangan (-)

Mu (-) = 217,7493 kNm

1. Menghitung Momen Nominal Yang dibutuhkan (Mn.req)

$$Mn.req = \frac{217,7493}{0,9} = 241,94 \text{ kNm} = 241943666,7 \text{ Nmm}$$

2. Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral (a dan c)

Tinggi balok tekan:

$$a = 734,5 - \sqrt{734,5^2 - \frac{2 \times 241943666,7}{0,85 \times 25 \times 550}}$$
$$= 28,75 \text{ mm}$$

Letak garis netral:

$$c = \frac{28,75}{0,85}$$
$$= 33,82 \text{ mm}$$

3. Cek Regangan Tulangan

$$\epsilon_s = \epsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 33,82)}{33,82} = 0,06216$$

$0,06216 > 0,005$ (Terkendali Tarik)

$0,06216 > 0,004$ (Memenuhi Regangan Minimal)

4. Menghitung Kebutuhan Tulangan (As.req)

$$As.req = \frac{0,85 \times 25 \times 28,75 \times 550}{420} = 799,94 \text{ mm}^2$$

5. Menghitung dan control tulangan terpasang (As.use)

$$n.req = \frac{799,94 \times 4}{\pi \times 25^2} = 1,63 \text{ buah}$$

n.use = 4 buah

$$As.use = 4 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 1963,50 \text{ mm}^2 > As.req = 799,94 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.min_1 = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} \times 800 \times 734,5 = 1202,31 \text{ mm}^2$$

$$As.min_2 = \frac{1,4}{420} \times 800 \times 734,5 = 1346,58 \text{ mm}^2$$

$$As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (diambil terbesar)}$$

$$As.use = 1963,50 \text{ mm}^2 > As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.max = 0,025 \times 550 \times 734,5 = 10099,375 \text{ mm}^2$$

$$As.use = 1963,50 \text{ mm}^2 < As.max = 10099,375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6. Spasi Tulangan

$$S_1 = \frac{800 \cdot (2 \times 40) - (2 \times 13) - 25}{4 - 1} = 114,7 \text{ mm}$$

$$S_1 = 114,7 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \text{(OK)}$$

$$S_1 = 114,7 < S_{maks} \quad \text{(OK)}$$

7. Kekuatan Nominal (Mn)

Digunakan tulangan longitudinal : 4D25

Lokasi : Lapangan

Kekuatan Nominal:

$$a = \frac{1963,50 \times 420}{0,85 \times 25 \times 550}$$

$$= 70,56 \text{ mm}$$

$$Mn = 1963,50 \times 420 \times \left(734,5 - \frac{70,56}{2}\right)$$

$$= 576624477,04 \text{ Nmm}$$

$$= 576,62 \text{ kNm}$$

Kekuatan Desain:

$$c = \frac{70,56}{0,85}$$

$$= 83,01 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 83,01)}{83,01}$$

$$= 0,02354$$

$$\varphi M_n = 0,9 \times 576,62$$

$$= 518,96 \text{ kNm}$$

8. Momen Probabilitas (Mpr)

$$A_{pr} = \frac{1,25 \times 25 \times 1963,50}{0,85 \times 25 \times 550}$$

$$= 88,20 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 420 \times 1963,50 \left(734,5 - \frac{88,20}{2} \right)$$

$$= 711688652,07 \text{ Nmm}$$

$$= 711,69 \text{ kNm}$$

2.7.4.4 Perhitungan Lapangan (+)

$$M_u (+) = 643,9131 \text{ kNm}$$

1. Menghitung Momen Nominal Yang dibutuhkan (Mn.req)

$$M_n.req = \frac{643,9131}{0,9} = 715,46 \text{ kNm} = 715459000 \text{ Nmm}$$

2. Menghitung tinggi balok tekan beton dan letak garis netral (a dan c)

Tinggi balok tekan

$$a = 734,5 - \sqrt{734,5^2 - \frac{2 \times 715459000}{0,85 \times 25 \times 550}}$$

$$= 88,70 \text{ mm}$$

Letak garis netral

$$c = \frac{88,70}{0,85}$$

$$= 104,35 \text{ mm}$$

3. Cek Regangan Tulangan

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5-104,35)}{104,35} = 0,01812$$

$$0,01812 > 0,005 \text{ (Terkendali Tarik)}$$

$$0,01812 > 0,004 \text{ (Memenuhi Regangan Minimal)}$$

4. Menghitung Kebutuhan Tulangan (As.req)

$$As.req = \frac{0,85 \times 25 \times 88,70 \times 550}{420} = 2468,26 \text{ mm}^2$$

5. Menghitung dan control tulangan terpasang (As.use)

$$n.req = \frac{2468,26 \times 4}{\pi \times 25^2} = 5,03 \text{ buah}$$

$$n.use = 6 \text{ buah}$$

$$As.use = 6 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 2945,24 \text{ mm}^2 > As.req = 2468,26 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.min_1 = \frac{0,25 \times \sqrt{25}}{420} \times 800 \times 734,5 = 1202,31 \text{ mm}^2$$

$$As.min_2 = \frac{1,4}{420} \times 800 \times 734,5 = 1346,58 \text{ mm}^2$$

$$As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (diambil terbesar)}$$

$$As.use = 2945,24 \text{ mm}^2 > As.min = 1346,58 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$As.max = 0,025 \times 550 \times 734,5 = 10099,375 \text{ mm}^2$$

$$As.use = 2945,24 \text{ mm}^2 < As.max = 10099,375 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

6. Spasi Tulangan

$$S_1 = \frac{800(2 \times 40) - (2 \times 13) - 2}{6 - 1} = 58,8 \text{ mm}$$

$$S_1 = 58,8 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

$$S_1 = 58,8 < S_{maks} \text{ (OK)}$$

7. Kekuatan Nominal (Mn)

Digunakan tulangan longitudinal : 6D25

Lokasi : Lapangan(+)

Kekuatan Nominal:

$$a = \frac{2945,24 \times 420}{0,85 \times 25 \times 550}$$
$$= 105,84 \text{ mm}$$

$$M_n = 2945,24 \times 420 \times \left(734,5 - \frac{105,84}{2}\right)$$
$$= 843116049,41 \text{ Nmm}$$
$$= 843,12 \text{ kNm}$$

Kekuatan Desain:

$$c = \frac{105,84}{0,85} = 124,52 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_t = \frac{0,003(734,5 - 124,52)}{124,52} = 0,0147$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 843,12 = 758,80 \text{ kNm}$$

8. Momen Probabilitas (Mpr)

$$A_{pr} = \frac{1,25 \times 25 \times 2945,24}{0,85 \times 25 \times 550}$$
$$= 132,30 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times 420 \times 2945,24 \left(734,5 - \frac{132,30}{2}\right)$$
$$= 1033438187,25 \text{ Nmm}$$
$$= 1033,44 \text{ kNm}$$

2.7.5 Perhitungan Kebutuhan Tulangan Transversal

a. Gaya Geser Desain

Tabel 2.17 Gaya Geser Desain

Gaya (kN) dan Momen (kNm)	Tumpuan kiri (1)	Tumpuan kanan (2)
$M_{pr} (-)$	1473,44	1473,44
$M_{pr} (+)$	1033,44	1033,44
V_e	269,557	269,557
V_g	110,6894	110,6894
$V_{e.gempa\ kiri}$	-158,868	380,247
$V_{e.gempa\ kanan}$	380,247	-158,868

b. Daerah Tumpuan

- (SNI 2847:2019 ps. 18.6.5.2)

$$V_u = 466,272 \text{ kN}$$

$$V_e = 380,247 \text{ kN}$$

$$V_e > 0,5V_u \quad (\text{OK})$$

$$P_u < A_g f_c' / 20 \quad (\text{OK})$$

$$\text{Maka } V_c = 0$$

- Kebutuhan Tulangan Geser

Ditetapkan : 4D13

$$A_v = \frac{4 \times \pi \times 13}{4} = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{0,75 \times 530,94 \times 280 \times 734,5}{380,247 / 1000} = 215,37 \text{ mm}$$

$$s_{used} = 125 \text{ mm}$$

Digunakan : 4D13-125

- Cek jarak Maksimum Tulangan Transversal

$$s < d/4, 6db \text{ dan } 150 \text{ mm (ps.18.6.4.4)} \quad (\text{AMAN})$$

c. Daerah Lapangan

$$V_{e.lap.ki} = 287,50 \text{ kN}$$

$$V_{e_{lap,ka}} = 287,50 \text{ kN}$$

$$V_{e_{lap}} = 287,50 \text{ kN} = 287495,75 \text{ N}$$

- Menghitung kekuatan geser beton dan cek kebutuhan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{25} \times 550 \times 734,5 = 336645,8 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 336645,8 = 252484,375 \text{ N}$$

$$V_e > \phi V_c \text{ (Tulangan geser dibutuhkan)}$$

- Menghitung kebutuhan tulangan geser dan cek syarat batasan dimensi

$$V_s = \frac{287495,75}{0,75} - 336645,8 = 46681,8 \text{ N}$$

$$0,66\sqrt{F_c}bwd = 0,66 \times \sqrt{25} \times 550 \times 734,5 = 1333117,5 \text{ N}$$

$$V_s < 0,66\sqrt{F_c}bwd \quad (\text{AMAN})$$

- Kebutuhan tulangan geser

Ditetapkan : 2D13

$$A_v = \frac{2 \times \pi \times 13}{4} = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{0,75 \times 265,46 \times 280 \times 734,5}{46681,8} = 1169,52 \text{ mm}$$

$$s_{used} = 150 \text{ mm}$$

Digunakan : 2D13-150

- Cek jarak Maksimum Tulangan Transversal

$$s < d/4, 6db \text{ dan } 150 \text{ mm (ps.18.6.4.4)} \quad (\text{AMAN})$$

2.8 Perancangan Kolom

2.8.1 Data Section dan Mutu Bahan

Data yang digunakan sebagai berikut:

Mutu bahan:

$$F_c' = 25 \text{ MPa}$$

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

$$F_y \text{ sengkang} = 280 \text{ MPa}$$

Dimensi Kolom:

$$b = 700 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$L = 3500 \text{ mm}$$

$$L_n = 3500 - 800 = 2700 \text{ mm}$$

Selimut beton = 50 mm

$$d = 700 - 50 - 13 - 25/2 = 624,5 \text{ mm}$$

$$h_{\text{balok terbesar}} = 800 \text{ mm}$$

Tulangan:

$$\text{Tulangan utama} = 25 \text{ mm} \quad A_s = \frac{\pi \times 25^2}{4} = 490,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan geser} = 13 \text{ mm} \quad A_s = \frac{\pi \times 13^2}{4} = 132,7 \text{ mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

Dari ETABS diperoleh $P_u = 4346,8 \text{ kN}$

2.8.2 Preliminary Check (SNI 2847:2019 ps.18.7.2)

1. Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300 mm
 $700 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$
2. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus nya tidak kurang dari 0,4
 $700 \text{ mm} / 700 \text{ mm} = 1 > 0,4 \quad \text{OK}$

2.8.3 Perhitungan Kebutuhan Tulangan

Tulangan yang digunakan: 28D25

$$\rho_g = \frac{28 \times 490,9}{700 \times 700} = 0,028$$

- a. Cek kuat lentur minimum

$$M_{nb,ki} = 1473,44 \text{ kNm}$$

$$M_{nb,ka} = 1033,44 \text{ kNm}$$

$$M_{nc,a} = 1512,82 \text{ kNm}$$

$$M_{nc,b} = 1512,82 \text{ kNm}$$

$$M_{nc,a} + M_{nc,b} = 2988,97 \text{ kNm}$$

$$6/5 (M_{nc,a} + M_{nc,b}) = 6/5 \times (1473,44 + 1033,44) = 3008,259 \text{ kNm}$$

$$M_{nc,a} + M_{nc,b} > 6/5 (M_{nc,a} + M_{nc,b}) \quad (\text{OK})$$

b. Menghitung V_e (gaya geser desain kolom)

$$V_u \text{ analisis struktur} = 283,13 \text{ kN}$$

Berdasarkan data Mpr:

$$M_{prk} \text{ dari balok} = 0,5(1473,44 + 1033,44) = 1253,441 \text{ kNm}$$

$$V_e = \frac{(1253,441 + 1253,441)}{2,7} = 928,5 \text{ kN}$$

$$\text{Nilai } V_e = 928,5 \text{ kN} > V_u = 283,13 \text{ kN}$$

$$\text{Maka } V_u = V_e = 928,5 \text{ kN}$$

c. Menghitung kebutuhan tulangan transversal berdasarkan kuat geser kolom

$$\text{Kuat geser diabaikan, } V_c = 0$$

$$V_s = \frac{928,5 \times 1000}{0,75} - 0 = 1237,967 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan diameter Sengkang} = d_s = 13 \text{ mm}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{1237976}{280 \times 624,5} = 7,0798 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots \dots \dots (\text{A})$$

d. Penentuan persamaan-persamaan batas kebutuhan tulangan transversal (di daerah lo)

$$\text{Untuk } P_u = 4346790 \text{ N} > 0,3f_c' A_g$$

$$= 0,3 \times 25 \times 700 \times 700 = 3675000 \text{ N}$$

$f_c' = 25 \text{ MPa} < 70 \text{ MPa}$, digunakan Persamaan – persamaan:

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3b_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_{c'}}{f_{yt}} \quad (2.8.1)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09b_c \frac{f_{c'}}{f_{yt}} \quad (2.8.2)$$

e. Hitungan kebutuhan tulangan transversal (di daerah lo)

Parameter-parameter:

$$b_c = 700 - 2 \times 50 = 600 \text{ mm}$$

$$A_g = 700 \times 700 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = 600 \times 600 = 3600000 \text{ mm}^2$$

$$k_n = \frac{28}{28-2} = 1,1$$

$$k_f = \frac{25}{175} + 0,6 = 0,74 < 1, \text{ maka } k_f = 1$$

Kebutuhan tulangan transversal untuk pengekangan inti:

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \times 600 \times \left(\frac{490000}{3600000} - 1 \right) \times \frac{25}{280} = 5,8 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots (B)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \times 600 \times \frac{25}{280} = 4,8 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots (C)$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,2 \times 1 \times 1 \times 600 \times \frac{4346790}{280 \times 360000} = 5,57 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots (D)$$

f. Penentuan tulangan transversal terpasang (di daerah lo) Dari (A), (B), (C), dan (D), dipilih yang paling menentukan (kebutuhan terbesar) yaitu (A):

$$\frac{A_{sh}}{s} = 7,08 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Misal diambil jarak antar Sengkang $s = 75 \text{ mm}$ di daerah sepanjang l_o

$$\text{Maka } A_{sh} = 7,08 \times 75 = 531 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan D13} \rightarrow A_{v,1 \text{ kaki}} = 0,25\pi 13^2 = 132,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah kaki tulangan transversal:

$$n = \frac{531}{132,7} = 4 \text{ kaki tulangan} \rightarrow 4 \text{ kaki tulangan}$$

sehingga digunakan tulangan transversal: 4D13-75

- g. Cek spasi tulangan transversal dengan ketentuan (di daerah l_o).

Spasi maksimum tulangan transversal:

- $\frac{1}{4}$ dimensi terkecil kolom = 175 mm
- 6 kali diameter tulangan longitudinal = 150 mm
- Nilai S_o

Jarak antar tulangan:

$$s = \frac{700 - 2 \times 50 - 2 \times 13 - (2 \times 0,5 \times 25)}{8 - 1} = 78,43 \text{ mm}$$

$$hx = 2 \times 78,43 = 156,86 \text{ mm}$$

$$S_o = 100 + \left(\frac{350 - 156,86}{3} \right) = 123,08 \text{ mm} \quad (100 \leq 123,08 \leq 150 \text{ mm})$$

Sehingga jarak tulangan transversal 75 mm memenuhi syarat.

- h. Hitungan kebutuhan tulangan transversal di luar daerah l_o .

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{25} \times 700 \times 624,5 / 1000 = 371,6 \text{ kN}$$

$$V_u = 928,5 \text{ kN}$$

$$V_c < V_u$$

Jarak tulangan transversal diambil 75 mm

Digunakan Sengkang 4 kaki

Smaks:

- $\frac{624,5}{2} = 312,25 \text{ mm}$

- 150 mm

Diambil yang terkecil: smaks = 150 mm

S yang digunakan = 75 mm

Digunakan : 4D13-75

2.9 Hubungan Balok-Kolom

Perancangan hubungan balok-kolom dilaksanakan berdasarkan pedoman SNI 2847:2019 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan). Setelah melakukan perancangan balok dan perancangan kolom, perlu dilakukan analisis pada joint balok-kolom. Daerah hubungan balok-kolom merupakan daerah kritis pada suatu struktur rangka beton bertulang, yang harus didesain secara khusus untuk berdeformasi inelastik pada saat terjadi gempa. Harus dipastikan kolom mempunyai kapasitas yang lebih besar daripada balok, sehingga kegagalan struktur pada kolom dan joint dapat dicegah dengan membuat titik lemah (sendi plastis) pada zona $2h$ dari ujung balok.

Perhitungan sambungan balok-kolom sebagai berikut:

Paramater yang diketahui

Dimensi Kolom = 700mm x 700mm

Tulangan Kolom = 24D25

Dimensi Balok = 550mm x 800mm

Tulangan atas balok = 9D25

Tulangan bawah balok = 6D25

Terdapat 4 buah balok yang merangka pada keempat sisi joint.

Jumlah tulangan transversal diambil setengah dari kebutuhan tulangan transversal pada daerah sendi plastis kolom.

Ash/s = $0.5 \times 5.8 = 2.9 \text{ mm}^2 / \text{mm}$

Jarak tulangan transversal diambil 150 mm.

$$\text{Sehingga } A_{sh} = 150 \times 2.9 = 435 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang 4D13-150 (} A_{sh} = 530.92)$$

$$\text{Mpr sisi atas} = 1473.44 \text{ kNm}$$

$$\text{Mpr sisi bawah} = 1033.44 \text{ kNm}$$

Karena kolom dianggap memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi diambil sebesar 0.5.

Maka momen yang timbul pada kolom joint sebesar:

$$M_c = 0.5(1473.44 + 1033.44) = 1253.44 \text{ kNm}$$

Gaya geser dari kolom:

$$V_{\text{goyangan}} = (1253.4 + 1253.4) / 2.7 = 928.5 \text{ kN}$$

Luas tulangan atas adalah 9D25 ($A_s = 4417,86 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan:

$$T_1 = 1.25 A_s f_y = 1.25(4417,86) (420) = 2319.38 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton:

$$C_1 = T_1 = 2319.38 \text{ kN}$$

Luas tulangan bawah adalah 6D25 ($A_s = 2945.24 \text{ mm}^2$), sehingga gaya yang bekerja pada tulangan:

$$T_2 = 1.25 A_s f_y = 1.25(2945.24) (420) = 1546.25 \text{ kN}$$

Gaya tekan yang bekerja pada beton:

$$C_2 = T_2 = 1546.25 \text{ kN}$$

$$V_j = T_1 + C_2 - V_{\text{goyangan}}$$

$$= 2319.38 + 1546.25 - 796.61 = 3069.02 \text{ kN}$$

Kuat geser dari joint yang dikekang keempat sisinya:

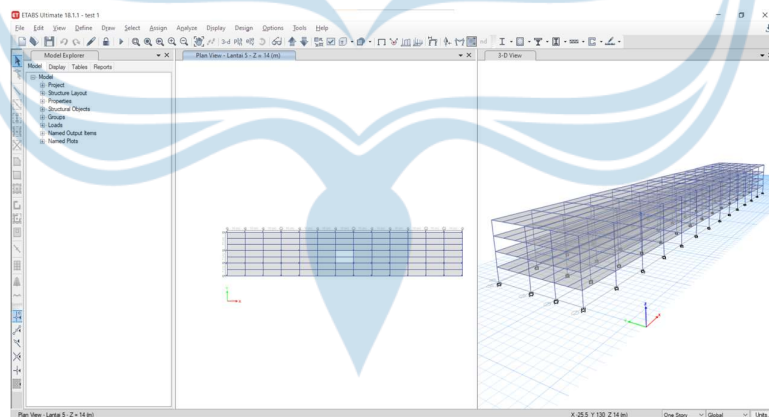
$$V_n = 1.7 \times \sqrt{25} \times 490000 = 4165 \text{ kN}$$

$$fV_n = 0.85 \times 4165 = 3540.25 > V_j \text{ (OK)}$$

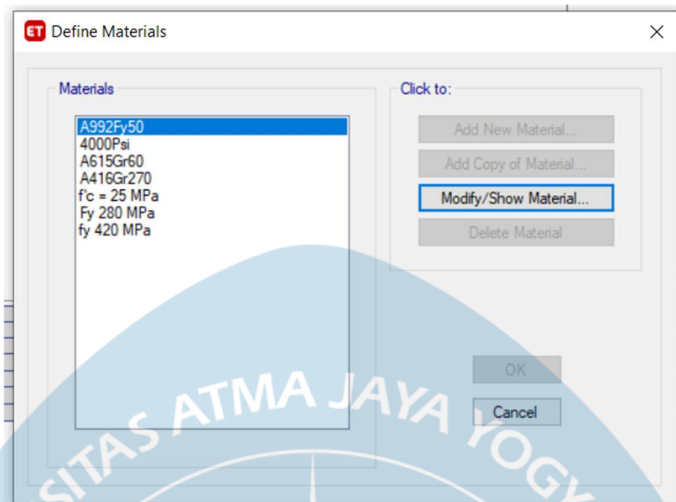
Jadi dimensi pada hubungan balok-kolom mencukupi dan dipasang 4 kaki sengkang pada jarak 150 mm pada daerah joint balok-kolom.

2.10 Pemodelan Struktur

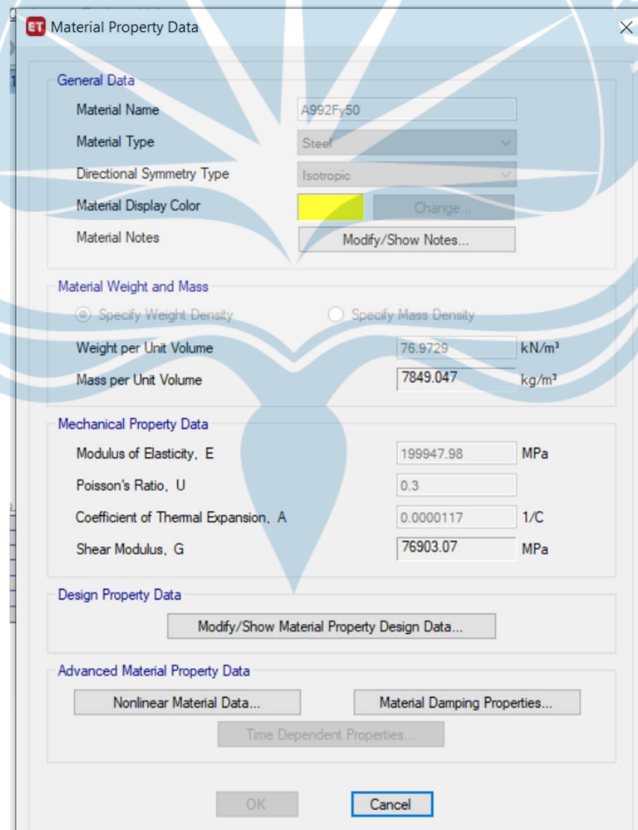
Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan beberapa alat bantu yaitu SAP2000 v22, dan ETABS 18. SAP2000 v22 digunakan untuk memodelkan rangka atap serta tangga, sementara ETABS 18 digunakan untuk memodelkan bangunan secara utuh. Pemodelan rangka atap dan tangga dilakukan secara 2 dimensi sementara pemodelan bangunan dilakukan secara 3d. Data yang dicari, didapat, dan digunakan dari alat bantu tersebut adalah gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur. Gaya dalam tersebut digunakan untuk perhitungan kebutuhan stuktur. Berikut beberapa tahapan pemodelan.



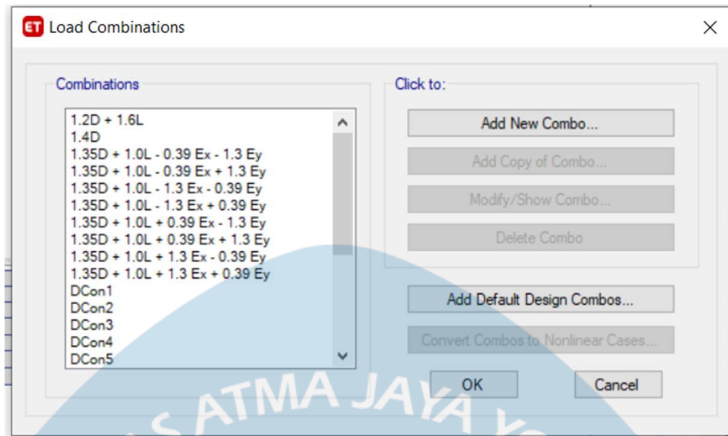
Gambar 2.19 Tampilan Software ETABS



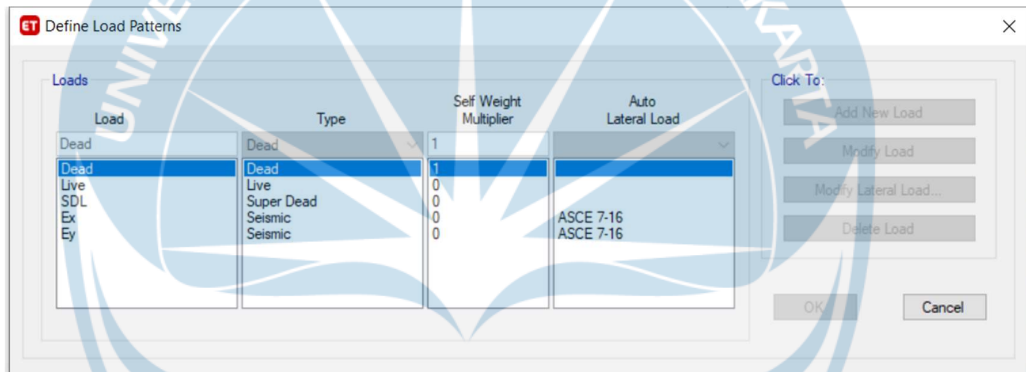
Gambar 2.20 Define Materials



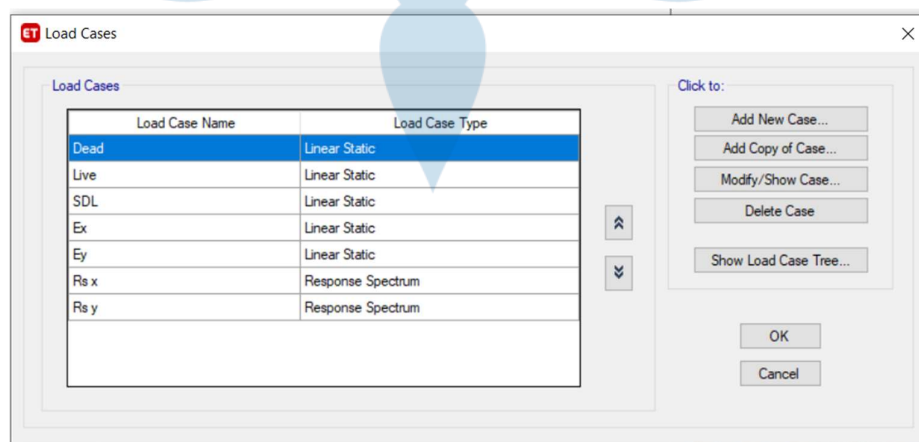
Gambar 2.21 Material Property Data



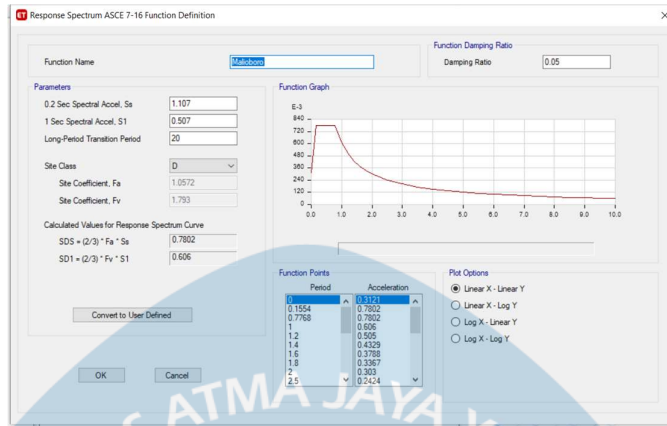
Gambar 2.22 Load Combinations



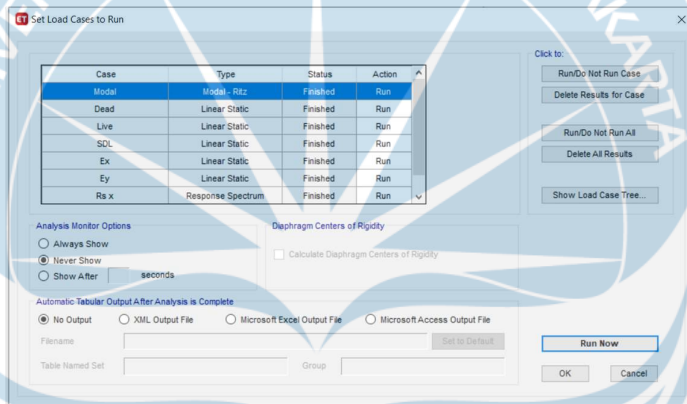
Gambar 2.23 Define Load Patterns



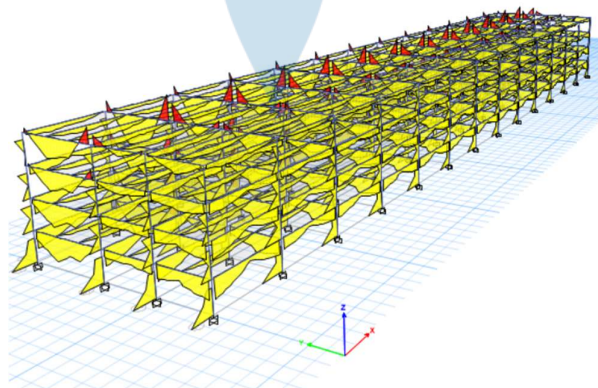
Gambar 2.24 Load Cases



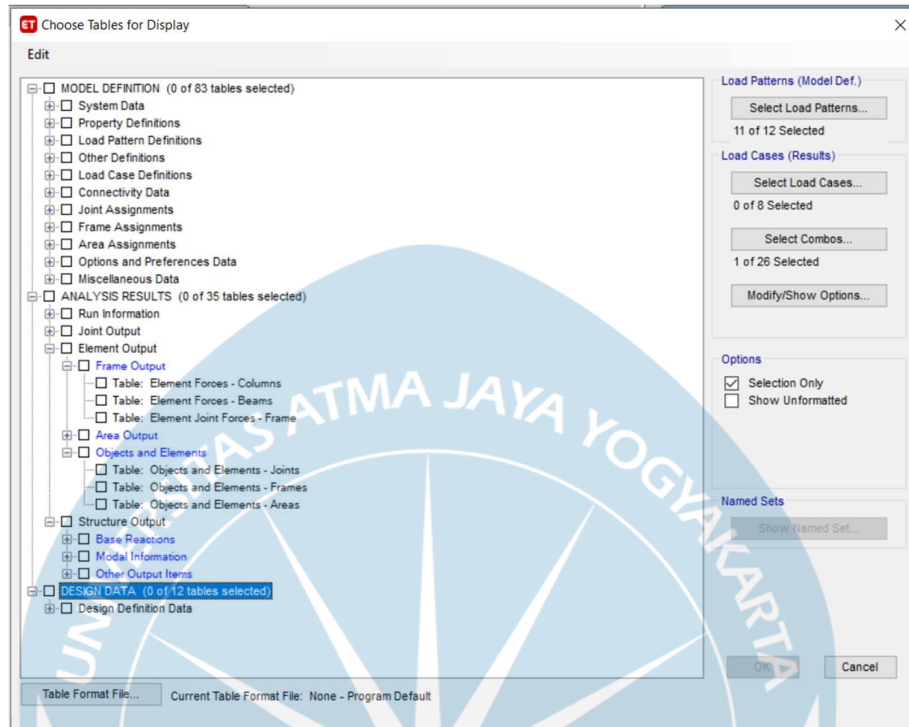
Gambar 2.25 Response Spektrum



Gambar 2.26 Set Load Cases for Running Simulation



Gambar 2.27 Simulation Results



Gambar 2.28 Tables for Display Results

	Story	Beam	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station m	P kN	V2 kN	V3 kN
▶	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	0	6.433	-33.9309	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	0.5	6.433	-30.5378	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	1	6.433	-27.1447	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	1.5	6.433	-23.7516	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	2	6.433	-20.3585	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	2.5	6.433	-16.9654	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	3	6.433	-13.5724	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	3.5	6.433	-10.1793	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	4	6.433	-6.7862	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	4.5	6.433	-3.3931	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	5	6.433	0	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	5.5	6.433	3.9586	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	6	6.433	7.9172	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	6.5	6.433	11.8758	0
	Lantai 5	B269	649	ENVELOPE	Combination	Max	7	6.433	15.8344	0

Gambar 2.29 Tables of Running Results