

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Perencanaan Sistem Struktur

Pada panduan SNI 1726:2019 menetapkan bahwa berbagai sistem struktur harus dipertimbangkan sebelum merancang struktur. SNI tersebut menyatakan bahwa struktur beton bertulang harus menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen (RPM) untuk menahan beban lateral dan beban tambahan. Ada tiga jenis sistem ini: Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Fokus utama analisis gedung Perkuliahan Teknologi di Klaten adalah memeriksa struktur beton bertulang pada setiap lantai bangunan dengan menerapkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan mempertimbangkan kategori KDS E.

2.2 Preliminary Design

Bangunan gedung ini terdiri dari elemen struktur seperti balok, kolom, pelat, tangga, lift, dan fondasi. Dalam merencanakan bangunan gedung, harus diperlukan nilai-nilai koefisiensi dan parameter lainnya untuk mendukung perencanaan tersebut. Selain itu, estimasi dimensi untuk setiap komponen struktur juga diperlukan. Tata cara estimasi dimensi komponen struktur diatur dalam SNI 2847:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Diketahui jenis pelat pada gedung ini seperti berikut



Gambar 2. 1 Ukuran pelat lantai

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

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

1. Menentukan Tebal Pelat Lantai :

Pedoman yang digunakan yaitu SNI 2847 : 2019 Tabel 7.3.1.1 untuk pelat satu arah dan SNI 2847 : 2019.

a) Identifikasi Pelat

$$L_y/L_x = 8000/3000 = 2,67 > 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Maka digunakan pelat satu arah

b) Menentukan tebal pelat satu arah

Tabel 2. 1 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi tumpuan	$h^{(1)}$ Minimum
Tumpuan sederhana	$\ell/20$
Satu ujung menerus	$\ell/24$
Kedua ujung menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$

$$h = L_x/20 = 3000/20 = 150 \text{ mm} \sim > 150 \text{ mm}$$

2. Menentukan Dimensi Balok

Balok adalah bagian dari elemen struktur yang menopang beban yang berasal dari dinding dan pelat lantai. Perhitungan Estimasi dimensi balok diatur sesuai dengan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 9.3.1. Tinggi minimum balok nonprategang tidak boleh kurang dari nilai minimum yang tercantum dalam Tabel 2.6, yang merujuk pada tabel 9.3.1.1 tentang Tinggi Minimum Balok Nonprategang. 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.

a) Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 9000/16 = 563 \text{ mm} \sim > 600 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 600 = 375 \sim > 400 \text{ mm}$$

Balok 1 digunakan ukuran 600 x 400 mm

- b) Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 8000/16 = 500 \text{ mm} \sim 500 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 500 = 333 \sim 350 \text{ mm}$$

Balok 2 digunakan ukuran 500 x 350 mm

- c) Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 7000/16 = 438 \text{ mm} \sim 450 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 450 = 292 \sim 300 \text{ mm}$$

Balok 3 digunakan ukuran 450 x 300 mm

- d) Menentukan tinggi minimum balok

$$h = 2000/16 = 125 \text{ mm} \sim 300 \text{ mm}$$

Menentukan lebar balok

$$b = 2/3 h = 2/3 \times 300 = 83 \sim 250 \text{ mm}$$

Balok anak digunakan ukuran 300 x 250 mm

- e) Cek dimensi penampang balok SRPMK

Spesifikasi material :

Selimut beton : 40 mm

Diameter Tul. sengkang : 13 mm

Diameter Tul. Lungitodinal : 25 mm

$$d = 600 - 40 - 10 - 25/2 = 537.5 \text{ mm}$$

- $L_n > 4d$
 $9000 > 4(737,5)$
 $9000 > 2150$ (**Aman**)
- $B_w > 0,3h$
 $400 > 0,3 (600)$
 $400 > 180$ (**Aman**)

3. Menentukan Dimensi Kolom

Kolom adalah salah satu elemen struktur yang menopang beban seluruh bangunan dan meneruskannya ke fondasi. Menurut Hoffman (1972) dalam buku "*Structural Design Guide to the ACI Building Code*", disebutkan bahwa tidak ada batasan khusus dalam

menentukan dimensi kolom. Maka, digunakan persamaan berikut untuk menentukan luas penampang.

$$p = b = (2 \times 50) + b \text{ balok terbesar (mm)} = (2 \times 50) + 600 = 700 \text{ mm}$$

keterangan :

p = panjang kolom (mm)

b = Lebar Kolom (mm)

Maka didapatkan dimensi kolom 800 x 800 mm, dengan cek syarat dimensi sesuai syarat kolom SRPMK sebagai berikut :

a) Cek dimensi penampang kolom SRPMK

1. $B \leq H$

$$800 \leq 800 \text{ (OK)}$$

2. Perbandingan $B/H > 0,4$

$$800/800 > 0,4$$

$$1 > 0,4 \text{ (OK)}$$

3. Perbandingan $B \geq 300 \text{ mm}$

$$800 \geq 300 \text{ (OK)}$$

Berikut merupakan tabel rekapan *preliminary design* yang telah dihitung:

Tabel 2. 2 *Preliminary design*

Bentang L (mm)	Dimensi Balok Digunakan		
	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	
9000	600	400	B1
8000	500	350	B2
7000	450	300	B3
2000	300	250	B anak

2.3 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

Klasifikasi situs tanah dihitung dengan mengacu pada pengolahan data N-SPT menggunakan pedoman yang tercantum dalam Pasal 5.4.2 SNI 1726:2019. Selain itu, perhitungan rata-rata kuat geser nir-alir (S_u) juga dilakukan berdasarkan standar yang sama. Berdasarkan analisis data N-SPT yang dirangkum dalam Tabel 2.2, hasil perhitungan menunjukkan bahwa:

Tabel 2. 3 Interpretasi Data Tanah dan Pemeliharaan Kelas Situs

No	Kedalaman	di(m)	Ni (SPT)	di/Ni
1	0-2	13	5	2,60
2	2-4		7	0,00
3	4-6		18	0,00
4	6-8		18	0,00
5	8-10		24	0,00
6	10-12		30	0,00
7	12-14	17	41	0,00
8	14-16		53	0,32
9	16-18		43	0,00
10	18-20		55	0,00
11	20-22		55	0,00
12	22-24		57	0,00
13	24-26		57	0,00
14	26-28		59	0,00
15	28-30		10	0,00
	Jumlah	30		2,92
N rata-rata				10,27 > SE

$$N \text{ mean} = \frac{\sum d_i}{\sum \left(\frac{d_i}{N_i}\right)} = \frac{30}{2,92} = 10,27 \text{ (termasuk tanah lunak)}$$

Diketahui :

Kohesi tanah, $c = 0,13 \text{ kg/cm}^2$

Sudut geser tanah, $\emptyset = 5,35^\circ$

Kedalaman uji, $h = 10 \text{ m} = 1000 \text{ cm}$

$$\gamma_b = 1,17 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 0,00117 \text{ kg/cm}^3$$

$$S = c + \gamma h \tan \emptyset$$

$$S = 0,13 + (0,00117)(1000) \tan 5,35$$

$$S = 0,1449 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 14,49 \text{ kPa}$$

Dari syarat yang berlaku jika nilai $S < 50$ maka merupakan kategori SE atau tanah lunak. (Tabel 5 SNI 1726 : 2019)

2.4 Penentuan Sistem Struktur

1. Penentuan Kategori Risiko

Berdasarkan SNI 1726:2019, yang mengadopsi konsep Keselamatan Hidup, tujuan utama adalah memastikan bahwa saat gempa besar terjadi sesuai dengan zona gempa, struktur bangunan mampu menyerap energi gempa tanpa menyebabkan runtuhnya bangunan. Konsep ini mengakui kemungkinan terjadinya kerusakan pada struktur akibat gempa besar, namun bangunan harus tetap berdiri untuk memungkinkan proses evakuasi dengan aman. Oleh karena itu, diperlukan penentuan parameter tambahan untuk melengkapi data beban gempa serta parameter lain yang relevan, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 2. 4 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 industry – 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 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	III

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	IV

nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
--	--

Berdasarkan Sni 1726:2019 Tabel 3-kategori risiko bangunan gedung dan non gedung, bangunan gedung perkuliahan teknologi termasuk kategori IV.

2. Penentuan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2. 5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

Menurut SNI 1726 : 2019 tabel 4, bangunan Gedung Perkuliahan Yogyakarta termasuk ke dalam risiko IV, maka faktor keutamaan gempa pada bangunan ini yaitu 1,5.

3. Penentuan Klasifikasi Situs

Tabel 2. 6 Klasifikasi Situs

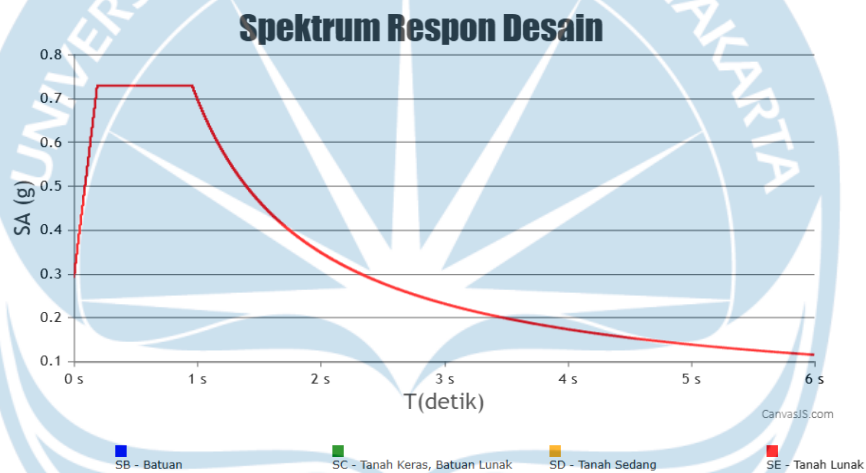
Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	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

Berdasarkan hasil penyelidikan, gedung Tekonologi merupakan situs SE (Tanah Lunak) sesuai dengan tabel 2.6 yang tertera.

4. Penentuan Parameter Respon Spektra

1. $T_0 = 0 \text{ s}$
2. $T_s = 1 \text{ s}$
3. $S_{ds} = 1 \text{ g}$
4. $S_{d1} = 1 \text{ g}$
5. $S_s = 1$
6. $S_1 = 0,5$

Aplikasi Program Respons Spektra Peta Gempa Indonesia 2019, yang dibuat oleh Pusat Studi Gempa Nasional, digunakan untuk menentukan spektrum gempa yang terlibat dalam perencanaan Gedung Perkuliahan Teknologi. Berikut merupakan grafik respons spektrum dari data diatas :



Gambar 2. 2 Spektrum Respon Desain

5. Penentuan Periode Fundamental gedung

Bangunan Gedung Perkuliahan Teknologi tingginya 20 meter. Sistem pemikul gaya seismik yang digunakan di bangunan ini terdiri dari rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Parameter Waktu SNI 1726:2019, Tabel 18 menunjukkan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x , yang dapat dilihat pada Tabel 2.12. Tabel ini menunjukkan bahwa nilai C_t untuk bangunan dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus adalah 0,0466 dan nilai x adalah 0,9. Selain itu, koefisien C_u dapat dihitung berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 17 Koefisien batas atas pada periode yang dihitung, yang dapat dilihat pada Tabel 2.13. Berdasarkan tabel tersebut, dengan nilai $S_{DS} \geq 0,4$ maka nilai koefisien C_u adalah 1,4.

Tabel 2. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

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

Sumber : SNI 1726:2019 tabel 18

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 18, tipe struktur pada Gedung Perkuliahan Teknologi yaitu rangka beton pemikul beton dengan nilai :
 $C_t = 0,0724$ dan $x = 0,9$

Periode fundamental (T_a) dapat ditentukan dengan persamaan 2.2 :

$$T_a = C_t h_n^x$$

h_n = tinggi bangunan (m)

C_t = koefisien sesuai dengan tabel 18 SNI 1726 : 2019

6. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

Tabel 2. 8 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 : SNI 1726:2019 tabel 9

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 9, dengan $S_{DS} = 0,73$ g dan termasuk kategori risiko IV maka kategori desain seismik pada bangunan tersebut adalah D

7. Penentuan Koefisien Modifikasi Respons (R)

Tabel 2. 9 Koefisiensi Modifikasi Respons

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_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10

Sumber : SNI 1726:2019 tabel 12

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, sistem pemikul gaya seismik bangunan Gedung Perkuliahan Teknologi adalah rangka baja pemikul momen khusus, sehingga nilai $R = 8$, $\Omega_0 = 3$, dan $C_d = 5,5$.

2.5 Perencanaan Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan struktur sangat penting untuk menentukan beban yang akan bekerja pada bangunan saat terjadi gempa. Perhitungan beban struktur di setiap lantai juga diperlukan untuk menghitung gaya geser seismik yang terjadi selama gempa. Proses ini mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1726:2019.

Nilai periode fundamental awal struktur gedung (T_a), yang diperoleh dari analisis menggunakan perangkat lunak pemodelan struktur, harus memenuhi batasan tertentu dan tidak boleh melampaui nilai koefisien batas atas (C_u) yang dihitung. Sesuai dengan SNI 1726:2019, periode fundamental struktur dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_{a-EQX} = C_{t-EQX} \times h n^x$$

$$T_{a-EQy} = C_{t-EQy} \times h n^x$$

Setelah periode fundamental (T_a) ditemukan, maka dilakukan perhitungan nilai (K), dengan eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan menggunakan rumus SNI 1726 : 2019 di keterangan pas 7.8.3, sebagai berikut:

1. $T \leq 0,5$ detik, $K = 1$
2. $T \geq 2,5$ detik $K = 2$
3. $0,5 < T < 2,5$ detik, $K = 0,5 T + 0,755$

Mendapatkan beberapa parameter diatas, gaya geser dasar seismik (V), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan di dalam SNI 1726:2019 15 Pasal 7.8.1, dengan koefisien respons seismik (C_s), dan berat seismik efektif (W), sebagai berikut:

$$V_x = V_y = C_s W$$

Setelah parameter didapatkan, gaya seismik lateral, F_x , (kN) di masing-masing tingkat harus ditentukan dari persamaan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3, dengan menentukan nilai faktor distribusi vertikal (C_{vx}) sebagai berikut :

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Setelah menemukan nilai faktor distribusi vertikal, kemudian dapat menghitung gaya seismik lateral, F_x , sebagai berikut:

$$F_x = C_v x V$$

Berikut perhitungan untuk tiap lantai bangunan :

**Berat satuan lantai tipikal (1-5)
(t=0,13)**

Berat sendiri plat :	0,13	x	24	=	3,12	kN/m ²	
Pasir 4 cm	0,04	x	17	=	0,68	kN/m ³	
Spesi 2 cm	0,02	x	20	=	0,4	kN/m ⁴	
Penutup lantai	0,01	x	24	=	0,24	kN/m ⁵	
Partisi				=	1	kN/m ⁶	
Plafon, MEP dll				=	0,25	kN/m ⁷	
				DL	=	5,69	kN/m ⁸
DL input software (tanpa berat sendiri)						2,57	kN/m ²

SIDL

Tabel 2. 10 Berat Beban Tiap Lantai

Lantai	Uraian	A atau L (m ²)	Berat satuan (kN/m)	W (kN)
Lantai Atap Lift	Plat lantai	26,6	5,69	151,354
	Balok1 0,4 x 0,6=	50,6	4,512	228,3072
	Balok2 0,3 x 0,5=	48	2,664	127,872
	Balok3 0,45 x 0,3=	28	2,304	64,512
W6				572,0452
Lantai 5	Plat lantai	621,4	5,69	3535,766
	Balok1 0,4 x 0,6=	150,8	4,512	680,4096
	Balok2 0,3 x 0,5=	72	2,664	191,808
	Balok3 0,45 x 0,3=	42	2,304	96,768
	Balok4 0,4 x 0,3=	110	1,944	213,84
	Kolom 1	46	15,36	1413,12
W5				6131,7116
Lantai 4	Plat lantai	621,4	5,69	3535,766
	Balok1 0,4 x 0,6=	150,8	4,512	680,4096
	Balok2 0,3 x 0,5=	72	2,664	191,808
	Balok3 0,45 x 0,3=	42	2,304	96,768
	Balok4 0,4 x 0,3=	110	1,944	213,84
	Kolom 1	92	15,36	1413,12
W4				6131,7116
Lantai 3	Plat lantai	621,4	5,69	3535,766
	Balok1 0,4 x 0,6=	150,8	4,512	680,4096
	Balok2 0,3 x 0,5=	72	2,664	191,808
	Balok3 0,45 x 0,3=	42	2,304	96,768
	Balok4 0,4 x 0,3=	122	1,944	237,168
	Kolom 1	92	15,36	1413,12
W3				6155,0396
Lantai 2	Plat lantai	621,4	5,69	3535,766
	Balok1 0,4 x 0,6=	150,8	4,512	680,4096
	Balok2 0,3 x 0,5=	72	2,664	191,808
	Balok3 0,45 x 0,3=	42	2,304	96,768
	Balok4 0,4 x 0,3=	122	1,944	237,168
	Kolom 1	92	15,36	1413,12
W2				6155,0396
Lantai 1	Plat lantai	657,4	5,69	663,09
	Sloof 10,6 x 0,3	241	4,512	245,512
	Kolom 1	46	15,36	61,36
W1				969,962
Berat mati total (W) (kN)				26115,51

- Nilai T

$$T_a = 0,0466 \times 20^{0,9} = 0,67$$

- Nilai K

$$K = 0,5 T + 0,75$$

$$= 0,5 \times 0,967 + 0,75 = 1,095$$

- Nilai V (Base shear)

$$V_x = V_y = C_s W$$

$$= 0,201 \times 26115,5 = 5256,091 \text{ kN}$$

Tabel 2. 11 Base Shear

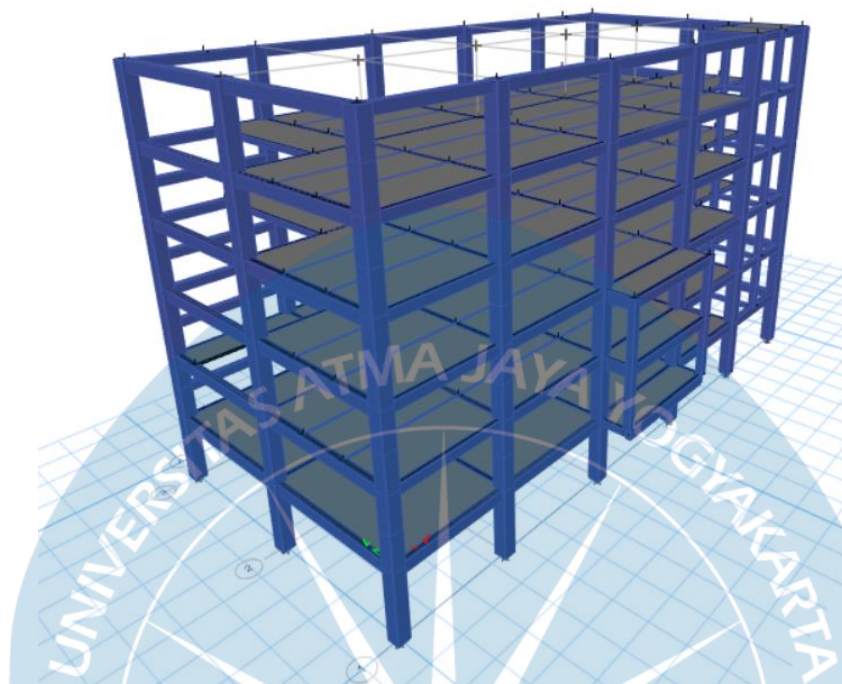
Lantai	W _x (kN)	H _x (m)	W _x .H _x ^k	C _v	F _x (kN)
Atap	572,0452	24	18589,6	0,0414	217,6
5	6131,7116	20	163188	0,36339	1910
4	6131,7116	16	127802	0,28459	1496
3	6155,0396	12	93612,1	0,20846	1096
2	6155,0396	8	60040,9	0,1337	702,7
1	969,962	4	4428,25	0,00986	51,83
			449071		5256

2.6 Pemodelan Struktur

Model struktur dibuat dengan menggunakan program ETABS Ultimate 21.0.0, bangunan diomdelkan sebagai sistem rangka 3 dimensi dan elemen pelat, serta struktur beton bertulang tiap lantai dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan rincian pekerjaan berikut:

Data – data :

1. Mutu beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$
2. F_y tulangan = 420 Mpa ; $F_u = 560 \text{ MPa}$
3. F_y sengkang = 280 Mpa ; $F_u = 430 \text{ Mpa}$

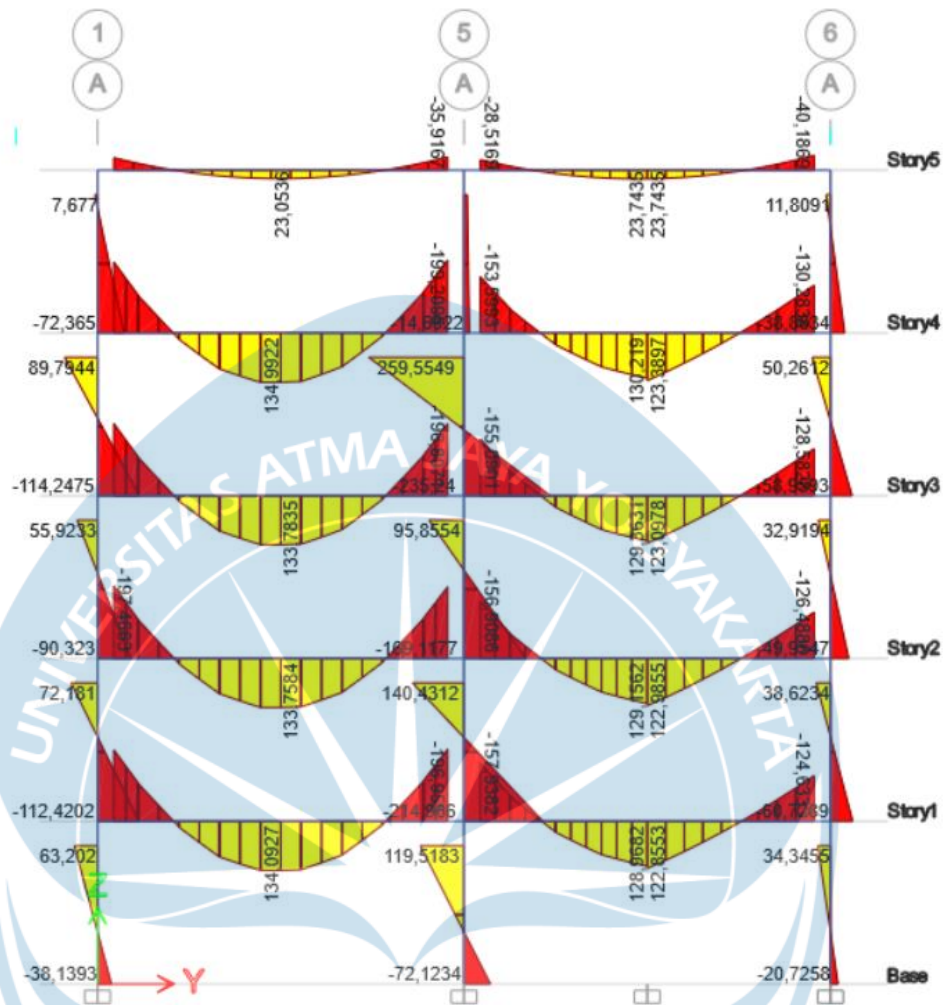


Gambar 2. 3 Pemodelan 3 Dimensi Struktur Bangunan

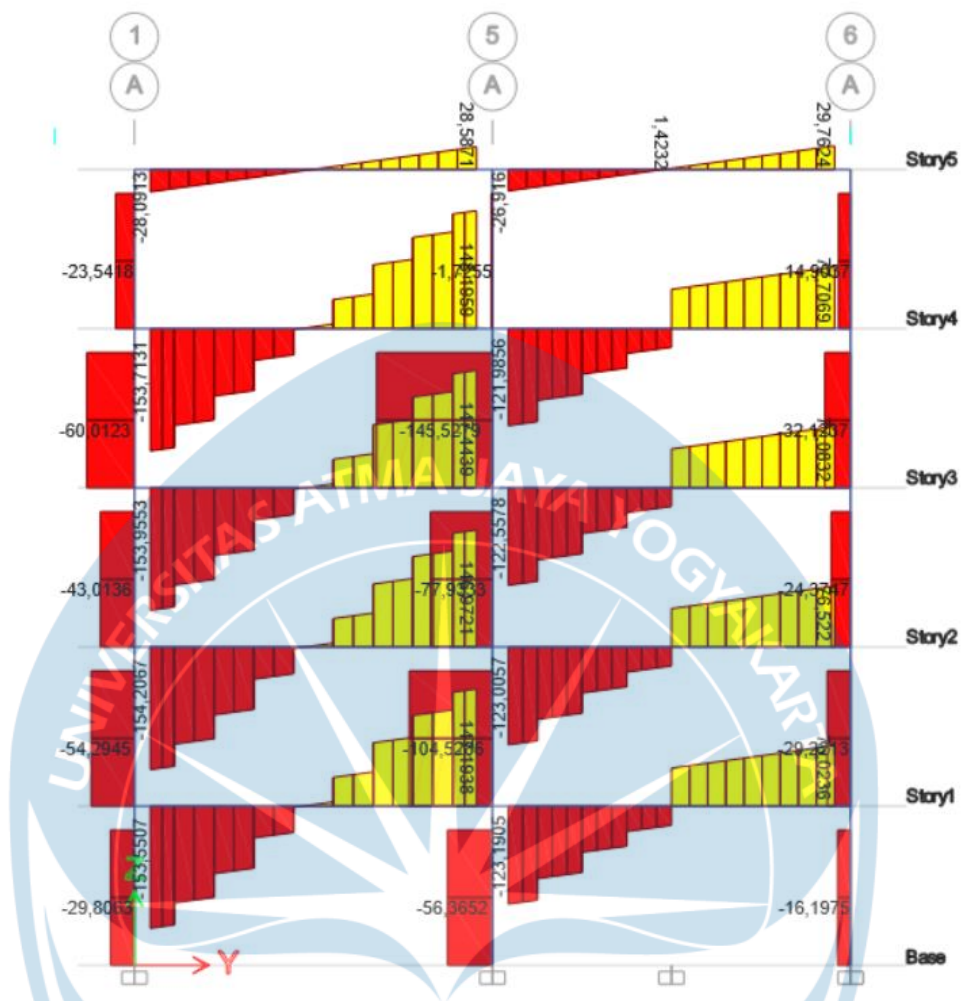
2.7 Interpretasi Output Pemodelan

Perencanaan pembebanan struktur sangat penting untuk menentukan beban yang akan bekerja pada bangunan saat terjadi gempa. Perhitungan beban struktur di setiap lantai juga diperlukan untuk menghitung gaya geser seismik yang terjadi selama gempa. Proses ini mengikuti pedoman yang diatur dalam SNI 1726:2019.

Nilai periode fundamental awal struktur gedung (T_a), yang diperoleh dari analisis menggunakan perangkat lunak pemodelan struktur, harus memenuhi batasan tertentu dan tidak boleh melampaui nilai koefisien batas atas (C_u) yang dihitung. Sesuai dengan SNI 1726:2019, periode fundamental struktur dihitung menggunakan rumus berikut:



Gambar 2. 4 BMD Gedung Perkuliahan Teknologi



Gambar 2. 5 SFD Gedung Teknologi

Pengambilan gaya-gaya dalam dari hasil ETABS, maka didapatkan gaya-gaya dalam balok anak, nalok induk, kolom yang akan digunakan dalam perancangan pad tabel 2.11, tabel 2.12, tabel 2.13. Berikut merupakan hasil rekapitulasinya :

Gaya-Gaya dalam balok anak :

Tabel 2. 12 Gaya-Gaya Dalam Balok Anak

posisi	kondisi	BA
		300 x 400
Tumpuan	Mu+ (kNm)	103,12
	Vu (kN)	170,7602
Lapangan	Mu+(kNm)	100,4139

Gaya-Gaya dalam balok B1,B2,B3

Tabel 2. 13 Gaya- Gaya Dalam Balok 1, Balok 2, Balok 3

posisi	kondisi	B1	B2	B3
		400 x 600	300 x 500	300 x 450
Tumpuan	Mu+ (kNm)	398,555	85,862	104,6121
	Mu- (kNm)	524,06	242,6539	242,6539
	Vu (kN)	311,8955	166,1377	166,1377
	Vg_ki (kN)	277,6342	181,065	61,6828
Lapangan	Mu+ (kNm)	335,6519	181,065	110,1175

Gaya-Gaya dalam kolom 800 x 800

Tabel 2. 14 Gaya-Gaya Dalam Kolom

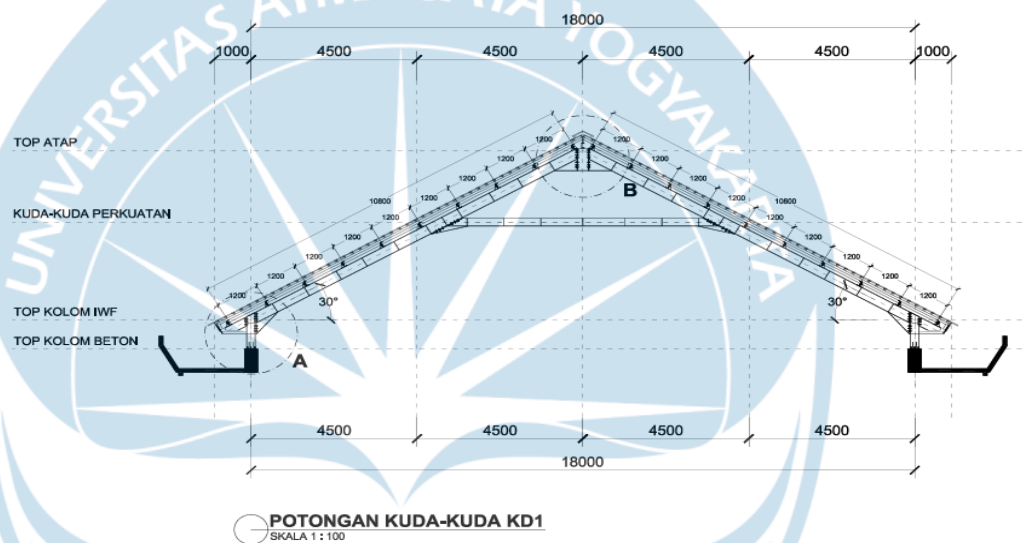
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	623,2956	414,4727	360,03
P min	-4120,9814	-191,1937	-165,0457
M2 Max	-693,9046	482,4973	319,5047
M2 Min	-2246,9458	-491,0557	-382,395
M3 Max	-342,8376	265,634	571,6648
M3 Min	-1070,8005	-260,8395	-565,741

2.8 Perancangan Struktur Atap

2.8.1 Perancangan Atap

Rencana Gording

Rencana Godring dilakukan sesuai dengan gamabr detail rencana sesuai dengan yang tertera pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Rencana Beban Gording dan Kuda-Kuda

a) Beban gording

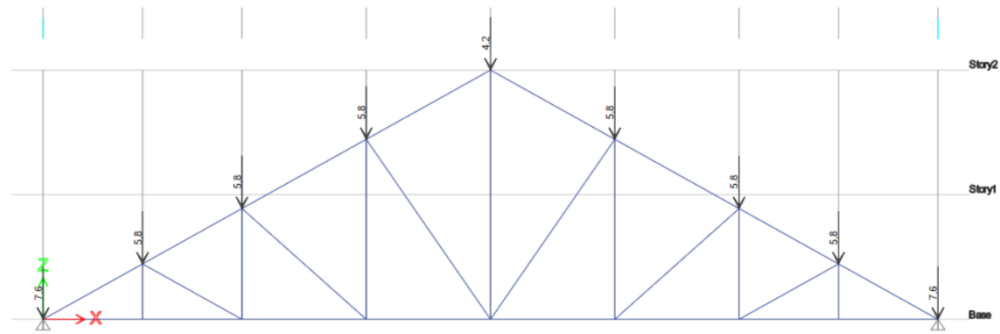
$$\text{- Berat sendiri} = 5,96 \text{ kg/m}^2 = 0,054 \text{ kN/m}$$

$$\text{- berat atap} = \frac{2}{\cos 30} \times 0,6 = 1,38 \text{ kN/m}$$

$$\text{- Berat plafon} = 2 \times 0,2 = 0,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dead load (D) rencana gording } q = 1,84 \text{ kN/m}$$

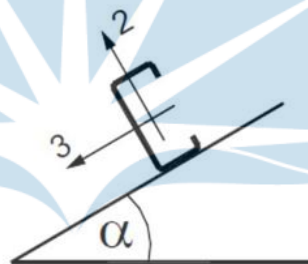
$$\text{Live load (L) diambil sebesar} = 1 \text{ kN/m}$$



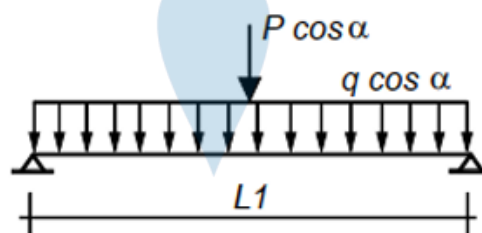
Gambar 2. 7 Modelling Input Beban Gording

b) Rencana Momen Gording

Gording terpasang miring, maka ada beban yang bekerja di gording akan terbagi menjadi sumbu 2 dan sumbu 3, seperti pada gambar 2.8, dan tentu beban ini menghasilkan proyeksi momen.



Gambar 2. 8 Proyeksi Sumbu Gording



Gambar 2. 9 Momen Gording sumbu 2

Momen gording sumbu 2

$$M2, D = 1/8 \times q \times \cos \alpha \times (L1)^2$$

$$= 1/8 \times 1,845 \times 0,866 \times 4^2 = 3,196 \text{ kNm}$$

$$M_{2,L} = 1/4 \times P \times \cos \alpha \times L_1$$

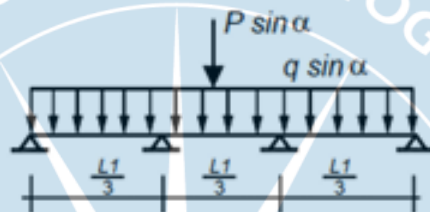
$$= 1/4 \times 1 \times 0,866 \times 4 = 0,866 \text{ kNm}$$

$$M_{2,U} = 1,4 \times M_{2,D}$$

$$= 1,4 \times 0,355 = 0,497 \text{ kNm}$$

$$M_{2,U} = 1,2 \times M_{2,D} + 1,6 M_{2,L}$$

$$= 1,2 \times 3,196 + 1,6 \times 0,866 = 5,221 \text{ kNm}$$



Gambar 2. 10 Momen Gording Sumbu 3

Momen gording sumbu 3

$$M_{3,D} = 1/8 \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L_1}{3}\right)^2$$

$$= 1/8 \times 1,845 \times 0,866 \times \left(\frac{4}{3}\right)^2 = 0,355 \text{ kNm}$$

$$M_{3,L} = 1/4 \times P \times \sin \alpha \times \frac{L_1}{3}$$

$$= 1/4 \times 1 \times 0,866 \times \left(\frac{4}{3}\right) = 0,288 \text{ kNm}$$

$$M_{3,U} = 1,4 \times M_{3,D}$$

$$= 1,4 \times 0,355 = 0,497 \text{ kNm}$$

$$M_{3,U} = 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 M_{3,L}$$

$$= 1,2 \times 0,355 + 1,6 \times 0,288 = 0,888 \text{ kNm}$$

c) Cek tegangan pada Profil C

$$fb = \frac{M_3 U}{\phi W_3} + \frac{M_2 U}{\phi W_2} \leq Fy$$

Digunakan C 150 x 65 x 20 dengan tebal 2,5

$$W_3 = S_x = 35600 \text{ mm}^2$$

$$W_2 = S_y = 10000 \text{ mm}^2$$

$$fb = \frac{5,221}{0,9 \times 35600} + \frac{0,888}{0,9 \times 10000} = 0,00019065$$

$$= 190,66 \text{ Mpa} \leq 240 \text{ Mpa}$$

d) Cek Defleksi Gording

$$I_3 = I_x = 2670000 \text{ mm}^2$$

$$I_2 = I_y = 440000 \text{ mm}^2$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L_1)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L_1)^3}{EI}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{1,845 \times 0,866 \times 4000^2}{200000 \times 2670000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times 0,866 \times 4000^2}{200000 \times 2670000} = 9,977 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{q \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^4}{EI} + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin \alpha \left(\frac{L_1}{3}\right)^3}{EI}$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{1,845 \times 0,5 \times \left(\frac{4000}{3}\right)^4}{200000 \times 440000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \times 0,5 \times \left(\frac{4000}{3}\right)^3}{200000 \times 440000} = 0,0223 \text{ mm}$$

$$\delta = \sqrt{8,553580718^2 + 0,024367953^2} \leq \frac{1}{240} \times 4500$$

$$= 9,977 \leq 18,75 \text{ (gording aman terhadap defleksi)}$$

e) Rencana Sag-rod

Jumlah gording (n) yang digunakan 4 buah.

$$F_{t,D} = n \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right)$$

$$= 4 \left(\frac{4500}{3} \times 0,987 \times 0,5 \right) = 2,962 \text{ kN}$$

$$F_{t,L} = \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha$$

$$= 4/2 \times 1 \times 0,5 = 1 \text{ kN}$$

f) Kombinasi Beban

$$F_{t,U} = 1,4 \times F_{t,D}$$

$$= 1,4 \times 4,92 = 4,147 \text{ kNm}$$

$$F_{t,U} = 1,2 \times F_{t,D} + 1,6 F_{t,L}$$

$$= 1,2 \times 4,92 + 1,6 \times 1 = 5,154 \text{ kNm}$$

Luas batang sag-rod yang dibutuhkan :

$$A_{sr} = \frac{F_t \cdot 10^3}{\phi F_y} = \frac{5,154 \cdot 10^3}{0,9 \times 420} = 23,864 \text{ mm}^2$$

- **Rencana Beban Kuda-Kuda**

Beban kuda-kuda yang dimasukan yaitu beban titik yang terletak gording dan sudah memperhitungkan luas tributary area, berikut merupakan pembagian beban titik kuda-kuda atap.

a) Beban P1

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = a/2 \times \text{berat kuda-kuda} = 0,165 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m} = 0,238 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} = 5,171$$

$$\text{Berat plafon} = (a/b + b) \times L \times \text{berat plafon} = 3,04 \text{ kN}$$

$$P1 = 8,615 \text{ kN}$$

b) Beban P2

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = a/2 \times \text{berat kuda-kuda} = 0,3312 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m} = 0,238 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} = 5,542$$

$$\text{Berat plafon} = (a/b + b) \times L \times \text{berat plafon} = 3,04 \text{ kN}$$

$$P2 = 9,152 \text{ kN}$$

c) Beban P3

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = a/2 \times \text{berat kuda-kuda} = 0,331 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = L \times \text{berat gording per m} = 0,476 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} = 5,542$$

Berat plafon = $(a/b + b) \times L \times \text{berat plafon} = 3,04 \text{ kN}$

P3 = 9,390 kN

d) Beban Angin

Beban angin yang dimasukkan merupakan beban titik yang sesuai dengan posisi gording. Penentuan beban angin didasarkan pada koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sebagaimana tercantum dalam SNI 1727:2020 pada Gambar 27.3-1. Oleh karena itu, distribusi beban titik untuk kuda-kuda atap dilakukan sesuai perhitungan tersebut.

$$\begin{aligned}
 \text{Beban } W1 &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w = 0,5527307 \text{ kN} \\
 \text{Beban } W2 &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w = 0,378 \text{ kN} \\
 \text{Beban } W3 &= \frac{\frac{1}{2} \cdot a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w = 0,189 \text{ kN} \\
 \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2 \cos \alpha} \times a \times C_{is} \times L \times Q_w = -0,378 \text{ kN} \\
 \text{Beban } W5 &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w = -0,756 \text{ kN} \\
 \text{Beban } W6 &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w = -1,1054613 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2.8.2 Perancangan Elemen Kuda-Kuda

Kuda-kuda yang dirancang untuk gedung Perkuliahan Teknologi yaitu menggunakan double angle

a) Data Bahan :

Tegangan leleh baja (f_y) = 240 Mpa

Modulus elastik baja (E) = 200000 Mpa

Poisson ratio (ν) = 0,3

Digunakan profil = WF 250 x 125 x 6 x 9

b) Data profil baja yang ditunjukkan sesuai gambar

Ht = 250 mm

$I_x = 40500000 \text{ mm}^4$

Bf = 125 mm

$I_y = 2940000 \text{ mm}^4$

Tw = 6 mm

$r_x = 104 \text{ mm}$

Tf = 9 mm

$r_y = 27,9 \text{ mm}$

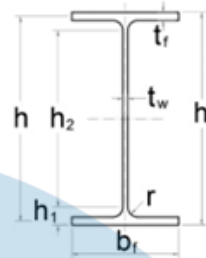
$$r = 12 \text{ mm}$$

$$S_x = 3240000 \text{ mm}^3$$

$$A = 3766 \text{ mm}^2$$

$$S_y = 470000 \text{ mm}^3$$

$$W = 296 \text{ N/m}$$



Gambar 2. 11 *section properties IWF*

c) Section properties seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11

G	$=$	77200	MPa
$h_1 = t_f + r$	$=$	21	mm
$h_2 = h_t - 2h_1$	$=$	208	mm
$h = h_t - t_f$	$=$	241	mm
$J = 2 \times \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 + \frac{1}{3}(h_t - 2t_f)(t_w^3)$	$=$	77454	mm^4
$I_w = I_y \times h_2 / 4$	$=$	4,27E+10	mm^6
$X_1 = p / S_x \times \sqrt{[E \times G \times J \times A/2]}$	$=$	1455	MPa
$X_2 = 4 \times [S_x / (G \times J)]^2 \times I_w / I_y$	$=$	0,0170572	mm^2/N^2
$Z_x = t_w \times h_t^2/4 + (b_f - t_w) \times (h_t - t_f) \times t_f$	$=$	352000	mm^3
$Z_y = t_f \times b_f^2 / 2 + (h_t - 2 \times t_f) \times t_w^2 / 4$	$=$	72000	mm^3

Dimana,

G = Modulus Geser

J = Konstanta Puntir Torsi

I_w = konstanta puntir lengkung

X_1 = koefisien momen tekuk torsi lateral -1

X_2 = koefisien momen tekuk torsi lateral -2

Z_x = modulus penampang plastis terhadap sumbu x

Z_y = modulus penampang plastis terhadap sumbu y

d) Data Balok Kolom (Rafter) :

Panjang elemen sumbu x, $L_x = 38000 \text{ mm}$

Panjang elemen sumbu y, $L_y = 18000 \text{ mm}$

Momen maksimum akibat beban terfaktor , $M_u = 360,03 \text{ Nmm}$

Gaya aksial akibat beban terfaktor $P_u = 623,2956 \text{ N}$

Gaya geser akibat beban terfaktor $V_u = 414,4727 \text{ N}$

Faktor reduksi kekuatan untuk aksial tekan $\Phi_n = 0,90$

Faktor reduksi kekuatan lentur

$$\Phi_b = 0,90$$

Faktor reduksi kekuatan geser

$$\Phi_f = 0,9$$

2.8.3 Perancangan Sambungan Elemen Kuda-Kuda

Tabel 2. 15 Elemen Forces Braces

Story	Brace	Unique Name	Output Case	Case Type	Station m	P kN	V2 kN	V3 kN	T kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m	Element	Elem Station m
Story2	D11	78	Dead	LinStatic	0	-31,6309	-0,0669	0	0	0	-0,008	78	0
Story2	D11	78	Dead	LinStatic	1,4299	-31,5801	0,0246	0	0	0	0,0223	78	1,4299
Story2	D11	78	Dead	LinStatic	2,8599	-31,5293	0,116	0	0	0	-0,0782	78	2,8599
Story2	D12	79	Dead	LinStatic	0	-24,3783	-0,1027	0	0	0	-0,0324	79	0
Story2	D12	79	Dead	LinStatic	1,4299	-24,3275	-0,0113	0	0	0	0,0492	79	1,4299
Story2	D12	79	Dead	LinStatic	2,8599	-24,2767	0,0801	0	0	0	0	79	2,8599
Story2	D21	75	Dead	LinStatic	0	-24,3783	-0,1027	0	0	0	-0,0324	75	0
Story2	D21	75	Dead	LinStatic	1,4299	-24,3275	-0,0113	0	0	0	0,0492	75	1,4299
Story2	D21	75	Dead	LinStatic	2,8599	-24,2767	0,0801	0	0	0	0	75	2,8599
Story2	D24	74	Dead	LinStatic	0	-31,6309	-0,0669	0	0	0	-0,008	74	0
Story2	D24	74	Dead	LinStatic	1,4299	-31,5801	0,0246	0	0	0	0,0223	74	1,4299
Story2	D24	74	Dead	LinStatic	2,8599	-31,5293	0,116	0	0	0	-0,0782	74	2,8599
Story2	D27	90	Dead	LinStatic	0	-11,3074	-0,0943	0	0	0	-0,0684	90	0
Story2	D27	90	Dead	LinStatic	2,196	-11,1753	-0,0029	0	0	0	0,0383	90	2,196
Story2	D27	90	Dead	LinStatic	4,3921	-11,0433	0,0885	0	0	0	-0,0557	90	4,3921
Story2	D28	91	Dead	LinStatic	0	-11,3074	-0,0943	0	0	0	-0,0684	91	0
Story2	D28	91	Dead	LinStatic	2,196	-11,1753	-0,0029	0	0	0	0,0383	91	2,196
Story2	D28	91	Dead	LinStatic	4,3921	-11,0433	0,0885	0	0	0	-0,0557	91	4,3921

a) Profil WF 250 x 125 x 6 x 9

b) Material properti 2L 80 x 80 x 6

$$A = 924 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 564000 \text{ mm}^4$$

$$i_x = i_y = 24,6 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 21,8 \text{ mm}$$

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

$$E = 200000 \text{ Mpa}$$

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

$$H = 80$$

$$T = 6$$

$$G = 77200$$

$$d' = b' = 80 - (6/2) = 77$$

$$j = 5760 \text{ mm}^3$$

$$A_g = 2 \times 924 = 1848 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 807000 \text{ mm}^4 = 1128000 \text{ mm}^4$$

$$I_{yg} = (I_y + A_g (c_y + \frac{t_p}{2})^2)$$

$$= (807000 + 960,4 (14,1 + \frac{10}{2})^2) = 6504864 \text{ mm}^4$$

$$r_{xg} = 24,6 \text{ mm}$$

$$r_{yg} = \sqrt{\frac{I_{yg}}{A_{profil}}} = \sqrt{\frac{148551,64}{960}} = 18,761 \text{ mm}$$

$$X_0 = 0$$

$$Y_0 = C_y - \frac{t}{2} = 14,1 - \frac{5}{2} = 19,3 \text{ mm}$$

$$R_0 = \frac{I_x + I_y}{A} + X_0^2 + Y_0^2 = \frac{222000 + 148551,64}{1848} + 0^2 + 19,3^2$$

$$= 1334,87 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{X_0^2 + Y_0^2}{\bar{r}_0^2} = 1 - \frac{0^2 + 11,6^2}{397,4305} = 0,720$$

Klasifikasi batang tekan

Klasifikasi penampang

$b/t < \lambda_r$ = non langsing

$b/t > \lambda_r$ = langsing

$$b = 80$$

$$t = 6$$

$$L$$

$$R = 15,2$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{80}{6} = 13,334$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$\lambda = 13,33 > \lambda_r = 12,99$ maka penampang langsing

klasifikasi Tekuk Lentur

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

A_g = luas bruto penampang

F_{cr} = tegangan kritis

$$K = 1$$

$$L = 2265,7 \text{ mm}$$

$$R = 24,6 \text{ mm}$$

$$E = 200000$$

$$F_y = 240$$

Nilai F_{cr} ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Jika } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \rightarrow F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$$\text{Jika } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} > 2,25 \rightarrow F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{12265}{24,6} = 92,10$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 200000}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 232,70 \text{ Mpa}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{232,70} = 1,03$$

Pemeriksaan Tekuk Lentur (terhadap sumbu x-x)

$$\frac{KL}{r_x} = 92,10 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97 \text{ atau } \frac{F_y}{F_e} = \frac{240}{232,70} = 1,03 <$$

$$2,25, \text{ maka } F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{240}{232,70}\right] 240 = 155,86 \text{ Mpa}$$

Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lentur Torsi

- x_0, y_0 merupakan koordinat pusat geser terhadap titik berat, $x_0=0$ untuk siku ganda dan profil T
- G adalah modulus geser baja, diambil sebesar 77200 MPa
- J adalah konstanta punter, $J = \frac{1}{3} b t^3 = \frac{1}{3} 80 \cdot 5^3 = 5760$

$$\frac{a}{r} = \frac{2265,7}{24,6} = 92,10 > 40 \text{ maka digunakan } \left(\frac{KL}{r}\right) m$$

-> Bila $a/r_i > 40$

$$\left(\frac{KL}{r}\right) m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i}{r_i}\right)^2}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right) m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1 \times 2265,7}{24,6}\right)^2 + 0,5 \times 92,1^2}$$

$$= 112,8$$

karena $\left(\frac{KL}{r}\right) m = 112,8 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$, maka persamaan

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

$$F_{cry} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = 155,86 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A \times r_0} = \frac{77200 \times 5760}{1848 \times 1334,87} = 180,26$$

$$\bar{r}_0 = \frac{I_x + I_y}{A} + X_o^2 + Y_o^2 = \frac{222000 + 148551,64}{1848} + 0^2 + 19,3^2 = 1334,87$$

$$H = 1 - \frac{X_o^2 + Y_o^2}{\bar{r}_0} = 1 - \frac{0^2 + 19,3^2}{1334,8744} = 0,72$$

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{cry} \cdot F_{crz} \cdot H^2}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

$$\left(\frac{155,86 + 2269,5626}{2 \times 0,62} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 155,86 \times 2269,5626 \times 0,62^2}{(155,86 + 2269,5626)^2}} \right]$$

$$= 109,13 \text{ MPa}$$

Kekuatan Tekan Desain

$F_{cr} = 155,86 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan tekuk lentur)

$F_{cr} = 109,13 \text{ Mpa}$ (Pemeriksaan terhadap tekuk torsi)

Dipilih F_{cr} yang memiliki nilai lebih kecil yaitu $F_{cr} = 109,13 \text{ Mpa}$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 0,9 \times 109,13 \times 1848 = 181510,67 \text{ Mpa}$$

$$\phi_c P_n = 181510,67 \text{ kN} > \text{Gaya Tekan Maksimum} = 94,5664 \text{ kN}$$

(aman)

Kondisi Leleh Tarik

Besarnya kekuatan Tarik nominal akibat leleh Tarik didapat melalui persamaan berikut :

$$P_n = F_y \cdot A_g$$

Dengan :

A_g = luas gross/bruto dari komponen struktur, mm²

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan, Mpa

$$P_n = 240 \cdot 1848 = 443520$$

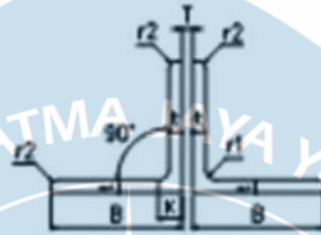
Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\phi_c P_n = F_y \cdot A_g = 240 \times 1848 = 443520 \text{ kN}$$

$$\phi_c P_n = 443520 \text{ kN} > 90,7536 \text{ kN (aman)}$$

2.8.4 Perancangan Sambungan Elemen Kuda-Kuda

Desain sambungan elemen kuda-kuda dalam proyek ini menggunakan sambungan las untuk seluruh struktur bangunan. Perhitungan elemen sambungan kuda-kuda dilakukan sebagai berikut. Perencanaan sambungan elemen kuda-kuda digunakan sambungan las dengan data-data sebagai berikut:



Gambar 2. 12 Double Angle

1. Desain Rencana

Profil Baja	= 2L 80 x 80 x 6 - 10
Jenis Baja	= BJ 37
Jenis Baut	= Baut mutu tinggi A325
f_{nv}	= 372 Mpa
Diameter baut (db)	= 16 mm
f_u	= 370 Mpa
f_y	= 240 Mpa
Pu tekan	= 99,621 kN
Pu tarik	= 95,434 Kn

Peraturan SNI 1729 tahun 2020 telah mendapatkan ukuran lubang baut nominal sebagai yang tercantum pada tabel 2.14 berikut.

Tabel 2. 16 Dimensi Lubang Nominal

Dimensi Lubang Nominal				
Diameter Baut	Standar (diameter)	Ukuran berlebih (diameter)	Standar (diameter)	Slot Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27	30	27 x 30	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
$\geq M36$	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2,5d$

Diameter lubang = 18 mm

Mutu pelat = BJ37

Tebal pelat (tp) = 10 mm

Beban rencana (ϕP_n) = 443,52 kN

2. Rencana Kuat Geser Baut

Ketika baut telah mencapai batas ketahanannya dan mengalami putus, diperhitungkan sebagai berikut:

$$R_n = F_n v A_b$$

dimana :

R_n = Kuat geser

$F_n v$ = Kekuatan nominal pengencang

A_b = Luas pengencang

Berdasarkan Load and Resistance Factor Design (LRFD), faktor reduksi yang digunakan sebesar 0,75 maka, desain kuat rencana adalah

$$\phi R_n = \phi F_n v A_b$$

Direncanakan kuat geser baut pada sambungan kuda-kuda adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 200,96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nv} A_b \\ &= \frac{(372 \times 2 \times 200,96)}{1000} \\ &= 149,514 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_{nv} A_b \\ &= 0,75 \times 149,514 \\ &= 112,136 \text{ kN/baut} \end{aligned}$$

Maka kuat geser baut adalah sebesar 112,1926 kN/baut. Setelah kuat geser telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan untuk mencari jumlah baut yang cocok untuk beban rencana yang akan ditahan.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut (n)} &= \frac{\phi P_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{443,52}{112,136} \\ &= 3,955 \approx 4 \text{ buah baut} \end{aligned}$$

Hitung kuat geser baut untuk seluruh baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= n \times \phi R_n \\ &= 4 \times 112,136 \\ &= 448,543 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka kuat geser baut seluruhnya adalah sebesar 448,543 kN

3. Rencana Kuat Geser Blok Shear

Kegagalan blok geser dapat terjadi pada pelat buhul. Menurut SNI 1729 tahun 2020, diasumsikan terjadi kegagalan patah pada bagian geser dan bagian tarik, yang keduanya berkontribusi pada kekuatan total dan tahanan terhadap blok geser. Kegagalan geser dianggap sebesar 60% dari kekuatan tarik maksimum, sehingga kekuatan nominal geser dapat dihitung sebagai $0,6F_u A_{nv}$, sementara kekuatan nominal tarik adalah $F_u A_{nt}$, dimana :

A_{nv} = luas bersih di bagian yang mengalami geser

A_{nt} = luas bersih di bagian yang mengalami tarik

Maka, kuat nominal adalah:

$$R_n = 0,0F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Kuat nominal dibatasi oleh nilai berikut :

$$R_n = 0,6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Dengan:

A_{gv} = luas kotor di bagian yang mengalami geser

Berlaku persamaan berikut :

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Dimana $U_{bs} = 1$ apabila tegangan tarik seragam dan $U_{bs} = 0,5$ apabila tegangan tarik tidak seragam. Berdasarkan LRFD digunakan faktor reduksi sebesar 0,75. Direncanakan geser blok pada batang tarik dan pelat buhul adalah sebagai berikut:

a. Mencari Jarak Antar Baut (S)

Menurut SNI 1729 tahun 2020, jarak antara pusat-pusat baut harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak kurang dari $2\frac{2}{3}$ kali diameter nominal baut atau sering kali digunakan tidak kurang dari 3 kali diameter baut (3d).

Maka:

$$S \geq 3 \times D \text{ baut}$$

$$48 \text{ mm}$$

Diambil jarak antar baut adalah 48 mm

b. Mencari Jarak Tepi Minimum (L_e)

Karena diameter baut adalah 16 mm dan memiliki diameter lubang standar maka jarak tepi minimum adalah sebesar 22 mm. Direncanakan jarak tepi sebesar 1,5 kali diameter baut.

$$\begin{aligned} L_e &= 1,5 \times D_b \\ &= 1,5 \times 16 \\ &= 24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, jarak tepi yang direncanakan sebesar 24 mm

c. Mencari Jarak Kotor dan Bersih Bagian Geser

Luas kotor bagian yang mengalami geser ditentukan sebagai berikut

$$\begin{aligned} A_{gv} &= t \times (S + L_e) \\ &= 6 \times (48 + 24) \times 2 \\ &= 864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sedangkan luas bersih yang mengalami geser adalah

$$\begin{aligned} A_{nv} &= [t \times \{(S + L_e) - (2,5 \times D \text{ lubang})\}] \times 2 \\ &= [6 \times \{(48 + 24) - (2,5 \times 16)\}] \times 2 \\ &= 384 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, luas kotor bagian geser adalah 864 mm² dan luas bersih bagian geser adalah 384 mm²

d. Mencari Luas Bersih Batang Tarik

Luas bersih bagian yang mengalami retak adalah

$$\begin{aligned} A_{nt} &= [t \times (L_e - 0,5 \times D \text{ lubang})] \times 2 \\ &= [6 \times (24 - 0,5 \times 16)] \times 2 \\ &= 192 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. Kuat Rencana

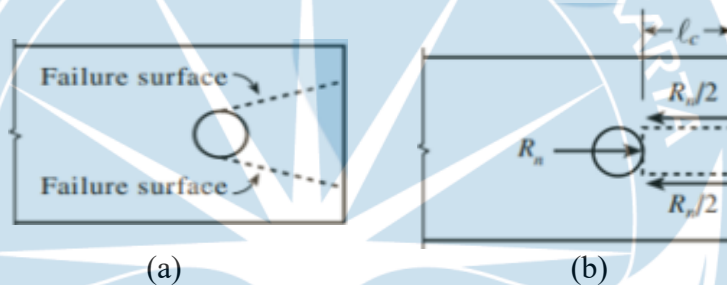
$$\begin{aligned}
 R_n &= 0,6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt} \\
 &= 0,6 \times 370 \times 384 + 370 \times 192 \leq 0,6 \times 240 \times 864 + 370 \times 192 \\
 &= 156,288 \leq 195,456
 \end{aligned}$$

Maka, nilai R_n diambil nilai yang terkecil adalah sebesar 156,288 kN.

Berdasarkan LRFD nilai R_n perlu direduksi

4. Rencana Kuat Tumpu Pelat

Gaya geser dapat menyebabkan pelat mengalami sobekan, yang menunjukkan kuat tumpu pelat. Hal ini dapat diperlihatkan dalam ilustrasi Gambar dibawah:



Gambar 2. 13 Kuat Tumpu Pelat

Pada Gambar a, terlihat kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi adalah sobeknya pelat pada bagian ujung. Jika kita menyederhanakan luasan kegagalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar b, kuat tumpu di satu sisi sama dengan kegagalan patah pada area geser.

$$\frac{R_n}{2} = 0,6 \times F_u \times l_c \times t$$

Dimana:

$0,6 F_u$ = tegangan geser pada pelat yang terhubung

l_c = jarak ujung lubang dan tepi pelat yang terhubung

t = tebal pelat

Kekuatan total adalah:

$$\begin{aligned} R_n &= 2 (0,6 F_u \ell_c t) \\ &= 2 \times 0,6 \times 2 F_u \ell_c t \\ &= 1,2 F_u \ell_c t \end{aligned}$$

Namun, kegagalan ini dibatasi agar lubang baut tidak melebar lebih dari $\frac{1}{4}$ inci atau 6,25 mm, yang menghasilkan batas kuat nominal sebesar

$$R_n = 2,4 \times d_b \times t \times F_u$$

Berdasarkan LRFD, faktor reduksi yang diterapkan adalah 0,75. Berikut adalah rencana kekuatan tumpuan pelat:

- a) Penentuan Jarak Bersih Antara Tepi Lubang Dengan Tepi Yang Berdekatan (ℓ_c)

- Baut 1

Baut 1 adalah baut yang berada terdekat pada tepi material dimana

$$\begin{aligned} \ell_c &= S - \frac{D_{\text{lubang}}}{2} \\ &= \frac{48 - 18}{2} \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Baut 2 dan 3

Baut 2 dan 3 adalah baut yang saling berdampingan maka

$$\begin{aligned} \ell_c &= S - D_{\text{lubang}} \\ &= 40 - 18 \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

- b) Kuat Tumpu Rencana

Kuat tumpu rencana diperhitungkan berdasarkan posisi baut

- Baut 1

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1,2 F_u l_c t \\
 &= 1,2 \times 15 \times 6 \times 370 \\
 &= 39,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Baut 2 dan 3

$$\begin{aligned}
 R_n &= 1,2 F_u l_c t \\
 &= 1,2 \times 30 \times 6 \times 370 \\
 &= 79,92 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- c) Batasan

Kuat tumpu pada setiap baut dibatasi dan akan diambil nilai terkecil di setiap posisi baut

$$\begin{aligned}
 R_n &= 2,4 \times d_b \times t \times F_u \\
 &= 2,4 \times 16 \times 6 \times 370 \\
 &= 85,248 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diambil nilai terkecil di setiap baut maka, baut 1 memiliki kuat tumpu sebesar 39,96 kN, baut 2 dan 3 memiliki kuat tumpu sebesar 79,92 kN

- d) Kuat Tumpu Pelat

Kuat tumpu total merupakan penjumlahan kuat tumpu disetiap baut maka

$$\begin{aligned}
 R_n \text{ total} &= 2 \times (39,96 + (2 \times 79,92)) \\
 &= 399,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sesuai LRFD kuat tumpu harus direduksi dengan faktor reduksi sebesar 0,75

$$\phi R_n = 0,75 \times R_n$$

$$= 0,75 \times 399,6$$

$$= 299,7 \text{ kN}$$

Maka, kuat tumpu sambungan baut adalah sebesar 299,7 kN

5. Rekapitulasi Sambungan Baut

Rekapitulasi kuat tumpu, kuat geser, dan geser blok adalah sebagai berikut

$$\text{Kuat geser baut} = 448,543 \text{ kN}$$

$$\text{Geser blok} = 117,216 \text{ kN}$$

$$\text{Kuat tumpu baut} = 299,7 \text{ kN}$$

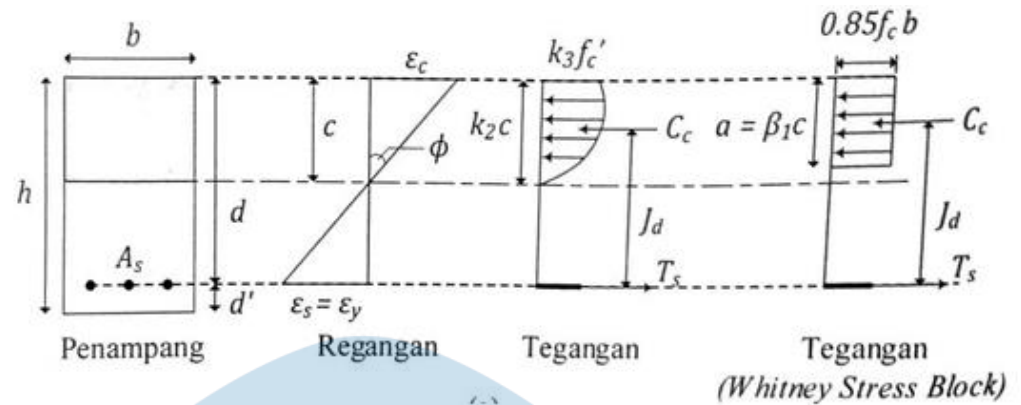
Dalam sambungan ini, kekuatan terlemah adalah kemungkinan terjadinya kegagalan. Oleh karena itu, kegagalan yang mungkin terjadi pada desain sambungan baut ini adalah kegagalan akibat geser blok. Untuk memastikan keamanannya terhadap setiap bangunan, dilakukan pemeriksaan agar nilai $P_u \leq$ kuat rencana, seperti dibawah ini

$$P_u \leq \text{kuat rencana}$$

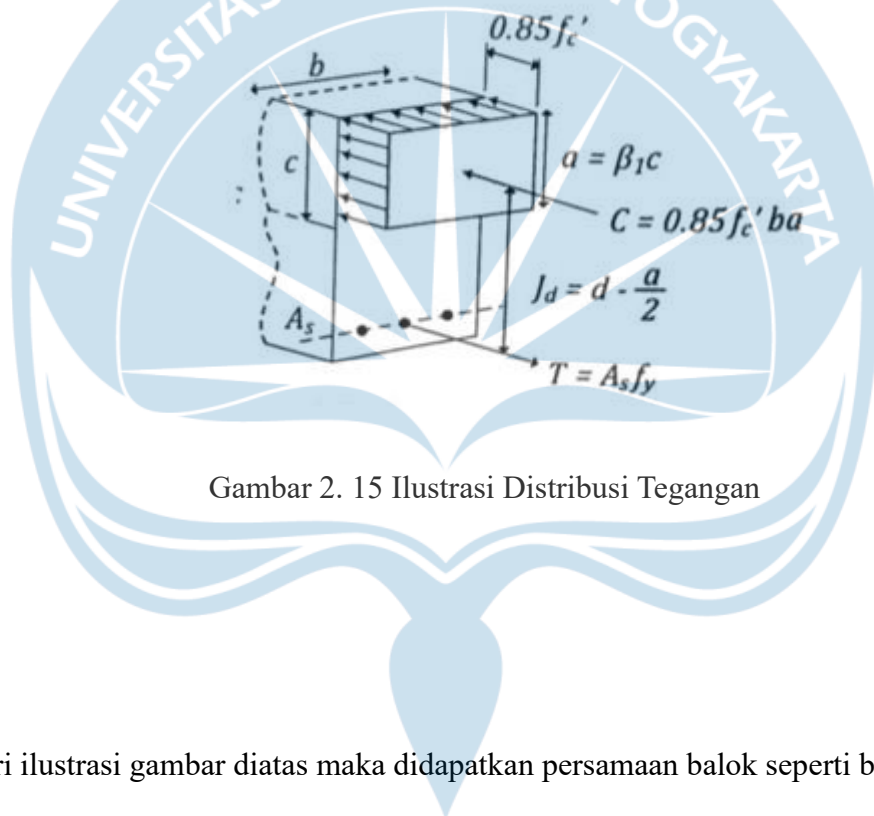
$$95,434 \leq 117,216 \text{ (Aman)}$$

2.9 Perancangan Balok

perancangan pada balok terdapat dua bagian yaitu perencanaan balok induk dan balok anak. Perancangan balok mengacu pada SNI 2847:2019. Seperti tertera pada gambar 2.14 dan gambar 2.15.



Gambar 2. 14 Diagram Regangan & Tegangan Whitney Stress Block



Gambar 2. 15 Ilustrasi Distribusi Tegangan

Dari ilustrasi gambar diatas maka didapatkan persamaan balok seperti berikut ini :

$$C_c = 0.85 \times f_c' \times a \times b$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$C_c = A_s' (f_s' - 0.85 f_c')$$

Rumus momen nominal balok, yang akan digunakan untuk mencari rumus tinggi blok tegangan persegi ekuivalen beton :

$$M_n = C_c (d - a/2) + (d - d') \text{ (Subtitusikan } C_c \text{ ke dalam rumun } M_n)$$

Sehingga khusus perhitungan balok untuk tulangan tunggal :

$$M_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b (d - a/2)$$

$$M_n = 0,85 f_c' \times a \times b \times d - 0,85 f_c' \times a^2 \times b \times a/2$$

$$\frac{0,85 \times f_c' \times b \times c}{2} \times a^2 - 0,85 f_c' \times d \times b \times a + M_n = 0$$

Didapatkan rumus tinggi blok tegangan :

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{0,85 f_c' b}}$$

Rumus garis netral balok sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.!

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

(Untuk nilai β_1 dapat dilihat di SNI 2847:2019 tabel 22.2.2.4.3)

Penentuan faktor reduksi kekuatan untuk struktur yang mengalami lentur dan aksial dapat dilihat pada tabel 2.26 (SNI 2847:2019 pada tabel 21.2.2) yang tertera pada tabelo 2.32 di bawah ini.

Tabel 2. 17 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ) Untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial

Regangan tarik netto (ϵ_t)	Klasifikasi	ϕ			
		Jenis tulangan transversal			
		Spiral sesuai 25.7.3		Tulangan lainnya	
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	a)	0,65	b)
$\epsilon_t < \epsilon_{ty} < 0,005$	Transisi ^[1]	$0,75 + 0,15 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	c)	$0,65 + 0,25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{(0,005 - \epsilon_{ty})}$	d)
$\epsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	e)	0,90	f)

^[1] Untuk penampang transisi, diperbolehkan memakai nilai faktor kekuatan sama dengan penampang terkontrol tekan.

Agar faktor reduksi kekuatan (ϕ) menjadi 0,9 (terkendali Tarik), maka nilai a harus dibatasi dengan regangan baja tarik terluar ϵ_s minimum = 0,005

$$c_{\max} = \frac{\epsilon_{c \max}}{\epsilon_c + \epsilon_{s \min}} \times d \quad ; \text{ dengan } \epsilon_{c \max} = 0,003 ; \epsilon_{s \min} = 0,005$$

$$c_{\max} = 0,375 d$$

Kontrol regangan tulangan balok induk:

$$\epsilon_s = \frac{0,003 (d-c)}{c} = \dots > 0,005 \text{ (terkendali tarik); jika } \epsilon_s < 0,004 \text{ (desain tul.rangkap)}$$

Hitung luas perlu tulangan balok anak yang diperlukan:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)} \quad ; \text{ bila } c < c_{\max}$$

Hitung luas perlu tulangan balok induk yang diperlukan:

$$A_s = \frac{0,85 F'c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

Dengan luas tulangan:

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2$$

Dengan syarat luasan minimum dan maksimum sebagai berikut:

$$A_{min\ 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b d \quad (\text{sebagai syarat balok induk SRPMK})$$

$$A_{min\ 2} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$A_{max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y}$$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}}$$

$A_{s\ min} > A_{s\ use}$ gunakan $A_{s\ min}$

$A_{s\ use} > A_{s\ max}$ gunakan $A_{s\ max}$

$A_{s\ min} < A_{s\ use} < A_{s\ max}$ gunakan $A_{s\ use}$

Perencanaan Tulangan geser telah dihitung masing-masing balok anak maupun balok induk, dan berikut contoh untuk perhitungan balok anak dan balok induk.

2.9.1 Perancangan Balok Anak

Diketahui data-data sebagai berikut :

$$F'c = 32 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Utama} = 420 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Sengkang} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Sel. Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Utama} = 22 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

Dimensi Balok = 250 x 400 mm

Tinggi bersih balok (d) = 400-40-10-(22/2) = 339 mm

Diketahui *Output* etabs sebesar :

Vu Tumpuan (-) = 170,7602 kN

Vu Lapangan (+) = 169,8092 kN

Mu Tumpuan (-) = 103,12 kNm

Mu Lapangan (+) = 100,2758 kNm

- **Perencanaan tulangan Longitudinal Tumpuan**

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'c b}}$$

$$= 339 - \sqrt{(339)^2 - \frac{2(103,12 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(0,25)}} = 45,944 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 55,89$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 127,13 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= 863,23 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tul}} = \frac{\pi}{4} d^2 = 280,133 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{s_{\min}}$ dan $A_{s_{\max}}$

$$A_{\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = 339 \text{ mm}^2$$

$$A_{\max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y} = 2332,01 \text{ mm}^2$$

$A_{\min} < A_s \text{ use} < A_{\max}$ sehingga digunakan $A_s \text{ use}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 2,27 \sim 4 \text{ tulangan}$$

pada area tumpuan digunakan 4 buah tulangan diameter 22 mm (4D22)

- **Perencanaan tulangan longitudinal Lapangan**

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'c b}} \\ &= 339 - \sqrt{(339)^2 - \frac{2(100,2758 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(250)}} = 44,581 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena nilai $F'c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 54,24 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 127,13 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= 850,58 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 280,133 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{\min}$ dan $A_{\max}$

$$A_{\min} = \frac{1,4}{f_y} b d = 339 \text{ mm}^2$$

$$A_{\max} = \frac{0,36 \beta_1 f'c b d}{f_y} = 2332,01 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{s\text{ use}} < A_{smax}$ sehingga digunakan $A_{s\text{ use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 2,24 \sim 3 \text{ tulangan}$$

pada area tumpuan digunakan 3 buah tulangan diameter 22 mm (3D22)

- **Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan**

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$= (0,75) 0,17 \times 1 \sqrt{32} \times 300 \times 339 = 73351,01 \text{ N} \Rightarrow 73,35 \text{ kN}$$

Didalam tumpuan karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser

$$\text{Syarat: } \phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

Bagian yang harus didukung tulangan geser:

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 97,41$$

$$V_s = 97,41 / 0,75 = 129,88 \text{ kN}$$

Diasumsikan digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm

Sehingga nilai A_v adalah sebagai berikut :

$$A_v = n \frac{\pi}{4} d^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 114,79 \text{ mm}$$

Cek Spasi sengkang di daerah Tumpuan

$$0,33 \sqrt{f'_c} b_w d = 189849,69 \text{ N}$$

$$\text{Karena } V_s 19879 < 189849,69$$

$$\text{Maka syarat } S = 114,79 \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm}$$

$$= 114,79 \leq 169,5 \text{ (OK)}$$

Maka digunakan sengkang 2D10-80

- **Perencanaan Tulangan Geser Lapangan**

$$\phi V_c = \phi 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$= (0,75) 0,17 \times 1 \sqrt{32} \times 300 \times 339 = 73351,01 \text{ N} \Rightarrow 73,35 \text{ kN}$$

Didalam tumpuan karena $V_u > \phi V_c$, maka perlu tulangan geser

$$\text{Syarat: } \phi(V_c + V_s) \geq V_u$$

Bagian yang harus didukung tulangan geser:

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = -9,16$$

$$V_s = 97,41/0,75 = -12,22 \text{ kN}$$

Pemeriksaan Batasan Dimensi Penampang

$$V_s \leq 0,66\sqrt{f_c'} bw d$$

$$-12215 \leq 379699,37 \text{ (OK)}$$

Diasumsikan digunakan sengkang 2 kaki dengan diameter 10 mm

Sehingga nilai A_v adalah sebagai berikut :

$$A_v = n \frac{\pi}{4} d^2 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 114,79 \text{ mm}$$

Cek Spasi sengkang di daerah Lapangan

$$0,33\sqrt{f_c'} bw d = 189849,69 \text{ N}$$

$$\text{Karena } V_s -12215 < 189849,69$$

$$\begin{aligned} \text{Maka syarat } S &= -1220,66 \leq d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm} \\ &= -1220,66 \leq 169,5 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang 2D10-150

Tabel 2. 18 Rekap Tulangan Balok Anak

BA 300 x 400	
Tulangan Lungitodinal	
Longitudinal Tumpuan	4D22
Longitudinal Lapangan	4D22
Tulangan transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	2D10 -100
Sengkang Lapangan	2D10 - 100

2.9.2 Perancangan Balok Induk

1. Diketahui data-data sebagai berikut :

$$f'_c = 32 \text{ MPa}$$

$$f_y \text{ tul. Utama} = 420 \text{ MPa}$$

Fy tul. Sengkang = 280 MPa

Sel. Beton = 40 mm

D. tul. Utama = 22 mm

D. tul. Sengkang = 10 mm

Dimensi Balok = 400 x 600 mm

Tinggi bersih balok (d) = 600-40-10-(22/2) = 539 mm

Diketahui *Output* etabs sebesar :

Vu Tumpuan (-) = 289,125 kN

Vu Lapangan (+) = 296,727 kN

Mu Tumpuan (-) = 360,087 kNm

Mu Lapangan (+) = 314,85 kNm

Vg = 314,85 kN

Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (-)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 539 - \sqrt{(539)^2 - \frac{2(306,09 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(400)}} = 75,893 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 92,326 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 202,13 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 1901,22 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{s_{min}}$ dan $A_{s_{max}}$

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 725,96 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 718,67 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 5390 \text{ mm}^2$$

$s_{min} < A_{s_{use}} < A_{s_{max}}$ sehingga digunakan $A_{s_{use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 5 \sim 6 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 6 buah tulangan diameter 22 mm (6 D22)

Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (+)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 539 - \sqrt{(539)^2 - \frac{2(243,62 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(400)}} = 36,51 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 44,42 \text{ mm}$$

$$C_{max} = 0,375 d = 202,13 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 914,66 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 379,94 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 725,96 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1.4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 718,67 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 5390 \text{ mm}^2$$

$A_{smin} < A_{s \text{ use}} < A_{smax}$ sehingga digunakan $A_{s \text{ use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 2,4 \sim 4 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 4 buah tulangan diameter 22 mm (4 D22)

Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan

Menghitung Momen Probabilitas (M_{pr})

Tumpuan kiri (-) dengan 6 tulangan (6D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 110,06 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 579,52 \text{ kNm}$$

Tumpuan kanan (+) dengan 4 tulangan (4D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 73,37 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 400,98 \text{ kNm}$$

Gaya geser akibat terjadinya plastifikasi ujung-ujung balok

$$VE1 = VE2 = (M_{pr} (+) + M_{pr} (-))/l_n = 116,73 \text{ kN}$$

Gaya geser akibat beban gravitasi

$$VG1 = VG2 = 277,63 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser design : } V_e = VE1 + VG1 = 394,36 \text{ kN}$$

Pengecekan Spasi tulangan transversal:

$$V_u = \phi (V_c + V_s)$$

$$V_c = 0$$

$$V_u = 296,727 \text{ kN}$$

$$V_s = 296,727/0,75 - 0 = 525,814 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_e} = 45,08 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } d/4 = 134,8 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan 2D10-100

Pengecekan Spasi Tengah Bentang

$$V_u = 296,7272 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 202369,63 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 192367 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 31608584,19 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 269,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan 2D10-150

Tabel 2. 19 Rekap Tulangan Balok Induk 400 x 600

REKAP	KIRI	TENGAH	KANAN
ATAS	8D22	2 D10 - 100	8D22
BAWAH	4D22	2 D10 - 150	4D22

2. Diketahui data-data sebagai berikut :

$$F'_c = 32 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Utama} = 420 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Sengkang} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Sel. Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Utama} = 22 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 300 \times 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi bersih balok (d)} = 500 - 40 - 10 - (22/2) = 439 \text{ mm}$$

Diketahui *Output* etabs sebesar :

$$V_u \text{ Tumpuan (-)} = 293,9187 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ Lapangan (+)} = 269,6746 \text{ kN}$$

$$M_u \text{ Tumpuan (-)} = 371,4331 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan (+)} = 238,9668 \text{ kNm}$$

$$V_g = 181,065 \text{ kN}$$

Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (-)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 439 - \sqrt{(439)^2 - \frac{2(371,4331 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(300)}} = 142,145 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 179,92 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 164,63 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 2607,71 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tul}} = \frac{\pi}{4} d^2 = 142,145 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{s\min}$ dan $A_{s\max}$

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 443,46 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 439 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$S_{\min} < A_{s\text{ use}} < A_{s\max}$ sehingga digunakan $A_{s\text{ use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tul}}} = 7,03 \sim 8 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 6 buah tulangan diameter 22 mm (8 D22)

Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (+)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 439 - \sqrt{(439)^2 - \frac{2(185,71 \times 10^6)}{(0,9)(0,82)(32)(300)}} = 36,51 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 78,19 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 164,63 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 1207,56 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tul}} = \frac{\pi}{4} d^2 = 344,62 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap A_{smin} dan A_{smax}

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 443,45 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1.4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 439 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$S_{min} < A_{s \text{ use}} < A_{smax}$ sehingga digunakan $A_{s \text{ use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 3,2 \sim 4 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 4 buah tulangan diameter 22 mm (4D22)

Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan

Menghitung Momen Probabilitas (M_{pr})

Tumpuan kiri (-) dengan 6 tulangan (6D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 195,66 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 544,70 \text{ kNm}$$

Tumpuan kanan (+) dengan 4 tulangan (4D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 97,83 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 311,39 \text{ kNm}$$

Gaya geser akibat terjadinya plastifikasi ujung-ujung balok

$$VE1 = VE2 = (M_{pr} (+) + M_{pr} (-))/l_n = 115,69 \text{ kN}$$

Gaya geser akibat beban gravitasi

$$VG1 = VG2 = 181,06 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser design : } V_e = VE1 + VG1 = 296,75 \text{ kN}$$

Pengecekan Spasi tulangan transversal:

$$V_u = \phi (V_c + V_s)$$

$$V_c = 0$$

$$V_u = 296,75 \text{ kN}$$

$$V_s = 296,75 / 0,75 - 0 = 395,67 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_e} = 48,79 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } d/4 = 109,8 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan 2D10-100

Pengecekan Spasi Tengah Bentang

$$V_u = 166,13 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 124167,95 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 97349 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 25744282,85 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 219,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan 2D10-150

Tabel 2. 20 Rekap Tulangan Balok Induk 300 x 500

REKAP	KIRI	TENGAH	KANAN
ATAS	8D22	2 D22 - 100	8D22
BAWAH	4D22	2 D22 - 150	4D22

3. Diketahui data-data sebagai berikut :

$$F'_c = 32 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Utama} = 420 \text{ MPa}$$

$$F_y \text{ tul. Sengkang} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Sel. Beton} = 40 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Utama} = 22 \text{ mm}$$

$$D. \text{ tul. Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 300 \times 450 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi bersih balok (d)} = 450 - 40 - 10 - (22/2) = 389 \text{ mm}$$

Diketahui *Output* etabs sebesar :

$$V_u \text{ Tumpuan (-)} = 166,13 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ Lapangan (+)} = 167,12 \text{ kN}$$

$$M_u \text{ Tumpuan (-)} = 104,6121 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan (+)} = 110,1175 \text{ kNm}$$

$$V_g = 61,6828 \text{ kN}$$

Perencanaan Tulangan Longitudinal Tumpuan (-)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 389 - \sqrt{(389)^2 - \frac{2(242,65 \times 10^6)}{(0,9)(0,85)(32)(300)}} = 97,043 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 122,78 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 145,88 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 1896,22 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tul}} = \frac{\pi}{4} d^2 = 305,37 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{s_{\min}}$ dan $A_{s_{\max}}$

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 392,94 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 389 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 2917,5 \text{ mm}^2$$

$A_{s_{\min}} < A_{s_{\text{use}}} < A_{s_{\max}}$ sehingga digunakan $A_{s_{\text{use}}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{\text{tul}}} = 4,99 \sim 6 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 6 buah tulangan diameter 22 mm (6D22)

Perencanaan Tulangan Lungitudinal Tumpuan (+)

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi 0,85 f'_c b}}$$

$$= 389 - \sqrt{(389)^2 - \frac{2(121,32 \times 10^6)}{(0,9)(0,82)(32)(300)}} = 36,51 \text{ mm}$$

Karena nilai $F'_c = 32 \text{ Mpa}$ maka $\beta = 0,822$

$$C = \frac{a}{\beta_1} = 53,04 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375 d = 145,88 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 875,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{tul} = \frac{\pi}{4} d^2 = 305,37 \text{ mm}^2$$

Pengecekan terhadap $A_{s_{min}}$ dan $A_{s_{max}}$

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d}{4 \cdot f_y} = 392,94 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq \frac{1,4 \cdot b \cdot d}{f_y} = 389 \text{ mm}^2$$

$$A_s \leq 0,025 \cdot b \cdot d = 2917,5 \text{ mm}^2$$

$s_{min} < A_{s_{use}} < A_{s_{max}}$ sehingga digunakan $A_{s_{use}}$

$$n = \frac{A_s}{A_{tul}} = 2,3 \sim 4 \text{ tulangan}$$

Pada area tumpuan digunakan 4 buah tulangan diameter 22 mm (4D22)

Perencanaan Tulangan Geser Tumpuan dan Lapangan

Menghitung Momen Probabilitas (M_{pr})

Tumpuan kiri (-) dengan 6 tulangan (6D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 146,74 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 377,94 \text{ kNm}$$

Tumpuan kanan (+) dengan 4 tulangan (4D22)

$$a_{pr} = \frac{A_s 1,25 f_y}{0,85 f'_c b} = 97,83 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) = 271,48 \text{ kNm}$$

Gaya geser akibat terjadinya plastifikasi ujung-ujung balok

$$V_{E1} = V_{E2} = (M_{pr} (+) + M_{pr} (-))/l_n = 115,69 \text{ kN}$$

Gaya geser akibat beban gravitasi

$$VG1 = VG2 = 181,06 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser design : } V_e = VE1 + VG1 = 296,75 \text{ kN}$$

Pengecekan Spasi tulangan transversal:

$$V_u = \phi (V_c + V_s)$$

$$V_c = 0$$

$$V_u = 163,16 \text{ kN}$$

$$V_s = 296,75 / 0,75 - 0 = 217,54 \text{ kN}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi \cdot A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{V_e} = 78,65 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } d/4 = 97,3 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan 2D10-80

Pengecekan Spasi Tengah Bentang

$$V_u = 166,13 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 110026 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 111491 \text{ N}$$

$$\text{Digunakan 2 kaki D 10 : } A_v = 2 \times 1/4 \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s} = 22812132,19 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 194,5 \text{ mm}$$

Maka digunakan 2D10-150

Tabel 2. 21 Rekap Tulangan Balok Induk 300 x 450

REKAP	KIRI	TENGAH	KANAN
ATAS	6D22	2 D22 - 80	6D22
BAWAH	4D22	2 D22 - 150	4D22

2.10 Perancangan Kolom SRPMK

Perancangan kolom SRPMK meliputi perencanaan tulangan longitudinal, tulangan transversl dan perhitungan panjang penyaluran tulangan. Perencanaan tulangan longitudinal bedasrkan pada konsep kolom kuat balok lemah (*SCWB : Column Weak Beam*). Dalam perhitungan perencanaan tulangan lungitodinal digunakan alat bantu seppertri ETABS, spColumn, dan Excel. Perancangan kolom ditentukan oleh dimensi terkecil kolom lebih dari atau sama dengan lebar balok.

1. Perancangan Kolom Lungitodinal

Data kolom :

b = 800 m

h = 800 m

t = 3400 mm

Ø Tul. Lungitodinal = 25 mm

Sel. Beton = 40 mm

Jumlah Tulangan = 20

F'c = 32 Mpa

Fy lungitodinal = 420 mm

Data Sengkang :

Ø Tul. Sengkang = 13 mm

d = $800 - 40 - (13/2) = 753,5$ mm

Fy sengkang = 420 Mpa

Data Balok :

Mnb. Ki (-) = 742,403 kNm

Mnb. Ka (+) = 400,987 kNm

Mpr ki = 862,311 kNm

Mpr ka = 862,311 kNm

Mprk = 2448,985 kNm

Data SP Column & Etabs :

$$M_{nca} = 623,295 \text{ kNm}$$

$$M_{ncb} = 410,981 \text{ kNm}$$

$$P_u = 623,295 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ tumpuan} = 1440579 \text{ kN}$$

Syarat dimensi penampang :

- $B < h$ (Aman)
- $B \geq 300 \text{ mm}$ (Aman)
- $b/h \geq 0,4$ (Aman)

Tabel 2. 22 hasil data SP kolom

No	Ou	Mux	Muy	ϕM_{nx}	ϕM_{ny}	$\phi M_n / \phi M_u$	NA Depth	dt Depth	Et	ϕ
	kN	kNm	kNm	kNm	kNm		mm	mm		
1	-623	414	360	892,49	776,08	2.156	299	1036	0,00738	0,9
2	4120	-191	-165	-1169,7	-1010,47	6.124	574	1039	0,00244	0,679
3	693	482	319	1244,72	823,79	2.582	351	1011	0,00566	0,9
4	2246	-491	-382	-1273,4	-990,71	2.593	451	1032	0,00387	0,803
5	342	265	571	593,25	1278,28	2.239	289	949	0,00686	0,9
6	1070	-260	-565	-658,95	-1431,95	2.534	329	959	0,00577	0,9

Menghitung kuat geser perlu

$$V_e = \frac{M_{prc_a} + M_{prc_b}}{l_c} = 336,6 \text{ kN}$$

Nilai v yang digunakan = 1440579

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0 = 1920772000$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{1920772000}{210980} = 9104,048 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$Cek : p_u < 0,3 A_g f_c'$$

$$623,29 < 6144000$$

$$F'_c 32 \text{ Mpa} < 70 \text{ Mpa (ok)}$$

Parameter perhitungan

$$B_c = 720 \text{ mm}$$

$$A_g = 640000$$

$$A_{ch} = 518400$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,00804$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 5,79$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,09 \frac{32}{280} = 0,1029$$

$$\frac{A_{sh}}{S_{bc}} = 74,05 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{sehingga digunakan } \frac{A_{sh}}{s} = 5,7904$$

2. Tulangan Tranversal di daerah sepanjang Lo

Asumsi spasi = 100 mm

$$A_{sh} = 5,7904 \times 100 = 579,04$$

Digunakan diameter 13 mm, luas 1 kaki

$$A_v = 132,7$$

Sehingga jumlah kaki tulangan transversal

$$= 579/132,7 = 4,36$$

Digunakan n = 5

Jadi digunakan 5D13 – 100

Penentuan spasi maksimum

$$S_1 = \frac{1}{4} \times b = 200 \text{ (ok)}$$

$$S_2 = 6 \times d_b = 150 \text{ (ok)}$$

N tulangan = 5 buah tiap sisi

$$X_1 = (800 - 2(40) - 2(13) - \frac{1}{2}(2)(25)) / 4 - 1 = 166,25 \text{ mm}$$

$$h_x = 166,25 \text{ mm}$$

$$S_3 = S_0 = 100 + ((350 - h_x)/3) = 161,16 \text{ mm}$$

Tulangan transversal diluar daerah Lo

$$V_e = 1440579 \text{ kN}$$

$$V_c = 561284,168 \text{ N} = 561,2842 \text{ kN}$$

$$V_c < V_e$$

$$561284,168 < 1440579,0 \text{ (dibutuhkan tulangan geser)}$$

Jadi gunakan spasi 100 mm

Maka digunakan 4D13-100

Tabel 2. 23 Rekap Penulangan Kolom

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal	18D22
Tulangan Transversal/Sengkang Tumpuan	
Sumbu Lemah	5D13-100
Sumbu Kuat	5D13-100
Tulangan Transversal/Sengkang Lapangan	
Sumbu Lemah	4D13-100
Sumbu Kuat	4D13-100

2.11 Perancangan Pelat Lantai

Desain pelat lantai dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu pelat lantai satu arah dan pelat lantai dua arah. Pemilihan jenis pelat ini didasarkan pada rasio panjang sumbu y terhadap panjang sumbu x (L_y/L_x). Jika nilai $L_y/L_x \geq 2$, maka beban akan dialihkan ke bentang arah pendek, sehingga sistem pelat dikategorikan sebagai pelat satu arah. Sebaliknya, jika $L_y/L_x < 2$, beban akan didistribusikan ke seluruh sisi, menjadikan sistem pelat sebagai pelat dua arah. Perhitungan untuk kedua jenis pelat ini mengacu pada standar SNI 2847:2019.

2.11.1 Perancangan Pelat Lantai 1 Arah

Dalam proses perancangan pelat lantai satu arah, pendekatan momen digunakan untuk menghitung kebutuhan tulangan. Pendekatan ini mengacu pada ketentuan yang terdapat dalam SNI 2847:2019 pasal 6.5.2, di mana penentuan momen didasarkan pada posisi pelat serta kondisi bentang pelat. Setelah momen pendekatan ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung rasio penulangan, yang kemudian digunakan untuk menghitung kebutuhan luas tulangan sesuai dengan momen yang direncanakan.

$$L_y = 8 \text{ m}$$

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$F'_c = 32 \text{ Mpa}$$

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

$$\text{Sel. Beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul.} = 8 \text{ mm}$$

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

$$SDL = 2 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Tebal pelat} = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Perhitungan lebar pelat} = 1 \text{ m}$$

$$d_s = \text{tebal pelat} - \text{sel.beton} - \frac{D.tul}{2} = 150 - 20 - \frac{8}{2} = 126 \text{ mm}$$

Pembebanan pelat:

$$q_{DL} = \text{tebal pelat} \times b_j.\text{beton} + SDL = 9,59 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u (1,2DL + 1,6LL) = 18,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{faktor koefisien} = \frac{1}{10}$$

$$M_u = \text{faktor koefisien} \times q_u \times L_x^2 = \frac{1}{10} \times 18,6 \times 3^2 = 51,125 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{0,85 (32)}{(420)} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(51,125 \times 10^6)}{1,7(0,9)(32)(1000)126^2}} \right] = 0,013429901$$

$$A_s = \rho b d = 0,013429901 \times 1000 \times 126 = 1155,2 \text{ mm}^2$$

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

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

$$= \frac{0,25 \pi (8)^2 (10000)}{(1423,56946)} = 167,55 \rightarrow 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D8-150 mm

Berikut adalah rekap penulangan pelat :

Tabel 2. 24 Rekap Penulangan Pelat Lantai 8 x 3 m

	A	B	C
Koefisien	0,04166667	0,071428571	0,111111111
Mu	49,58933333	85,01028571	132,2382222
ρ	0,012975643	0,024741766	0,052060024
As	1375,41821	2622,627161	5518,362567
As min	260	260	260
As pasang	260	260	260
S	193,33	193,33	193,33
Dipasang	D8 - 150	D8 - 150	D8 - 150

Tabel 2. 25 Rekap Penulangan Pelat Lantai 8 x 2 m

	A	B	C
Koefisien	0,04166667	0,07142857	0,111111111
Mu	49,58933333	85,0102857	132,238222
ρ	0,01297564	0,02474177	0,05206002
As	1375,41821	2622,62716	5518,36257
As min	260	260	260
As pasang	300	300	300
S	193,33	193,33	193,33
Dipasang	D8 - 150	D8 - 150	D8 - 150

Tabel 2. 26 Rekap Penulangan Pelat Lantai 7 x 3 m

	A	B	C
Koefisien	0,04166667	0,071428571	0,111111111
Mu	49,58933333	85,01028571	132,2382222
ρ	0,01297564	0,024741766	0,052060024
As	1375,41821	2622,627161	5518,362567
As min	260	260	260
As pasang	260	260	260
S	193,33	193,33	193,33
Dipasang	D8 - 150	D8 - 150	D8 - 150

Selain itu, kontrol terhadap kebutuhan luas tulangan dilakukan dengan memastikan bahwa luas tulangan memenuhi persyaratan minimum yang diatur dalam tabel 7.6.1.1 pada SNI 2847:2019. Setelah kebutuhan luas tulangan dihitung, dilakukan pemilihan jenis tulangan yang akan digunakan serta perencanaan spasi antar tulangan yang sesuai untuk memastikan efisiensi dan kestabilan struktur. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan desain pelat lantai yang optimal sesuai dengan standar yang berlaku.

2.12 Perancangan Tangga

2.12.1 Rencana Pembebanan Tangga

Diketahui :

Lebar lantai = 4000 mm

Lebar Bordes = 1000 mm

Optrede (O) = 200 mm

Antrede (A) = 300 mm

Tebal Pelat Tangga = 130 mm

Tinggi Antar Lantai = 4000 mm

Jumlah Tangga Antar Lantai (n) = $n = \frac{H_{et}}{o} = 20$ buah

Lebar Tangga (L_{tg}) = $(\frac{1}{2} \times \frac{H_{et}}{o} - 1) A = 3500$ mm

α (sudut kemiringan tangga) = $\arctan \left(\frac{o}{A} \right) = 33,69^\circ$

Rencana beban merata pada tangga :

Berat sendiri tangga = $\frac{htg}{\cos \alpha} \times b_j \text{ beton} = \frac{0,13}{\cos \alpha} \times 24 = 3,75 \text{ kN/m}^2$

Berat anak tangga = $\frac{1}{2} \times O \times b_j \text{ beton} = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 24 = 2,4 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times \text{bj ubin} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Beban } q_{tg} = 8,2 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 32,79 \text{ kN/m}^2$$

Rencana beban merta pada bordes :

$$\text{Berat sendiri tangga hrg} \times \text{bj beton} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin dan spesi} = 0,05 \times \text{bj ubin} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Beban } q_{tg} = 5,17 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 20,680 \text{ kN/m}^2$$

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

Pembebanan :

$$\text{MDL} = 18,6505 \text{ kNm}$$

$$\text{MLL} = 9,5963 \text{ kNm}$$

$$\text{VDL} = 18,1601 \text{ kN}$$

$$\text{VLL} = 9,1983 \text{ kN}$$

Kombinasi :

$$\text{Mu}_1 = 1,4 \times 18,6505 = 26,1107 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu}_2 = 1,2 \times 18,6505 + 1,6 \times 9,5963 = 37,74 \text{ kNm}$$

$$\text{Vu}_1 = 1,4 \times 18,1601 \text{ Kn}$$

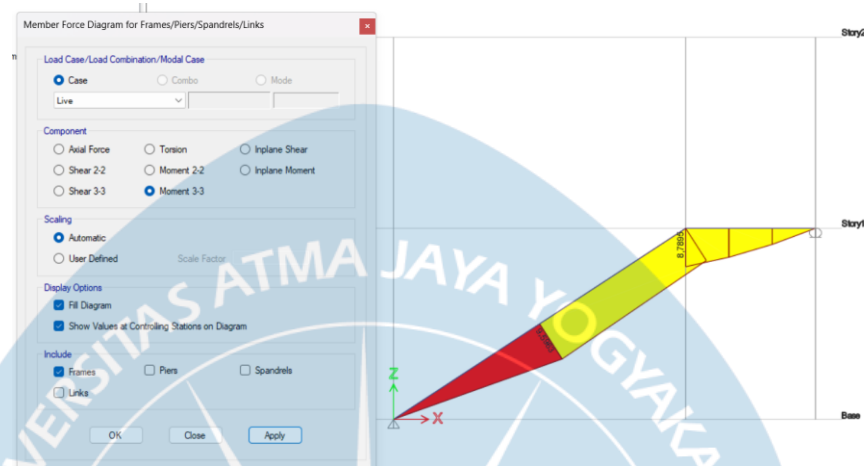
$$\text{Vu}_2 = 1,2 \times 18,1601 + 1,6 \times 9,1983 = 36,51 \text{ kN}$$

Dipilih :

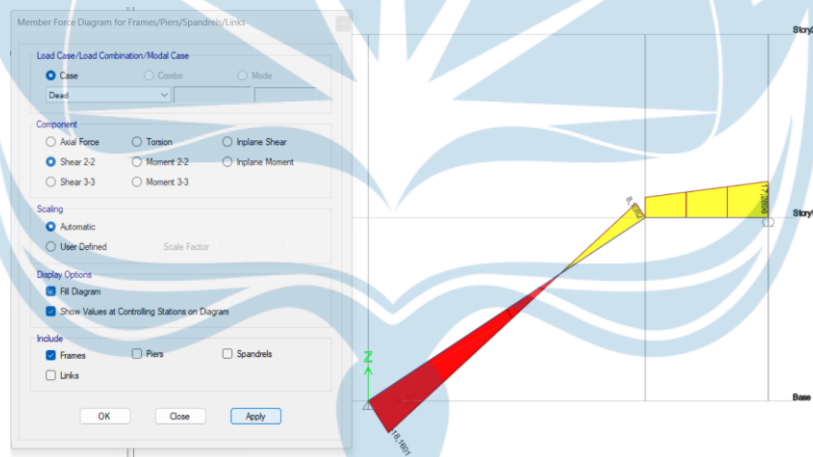
$$\text{Mur} = 37,74 \text{ kNm}$$

$$V_{ur} = 36,51 \text{ Kn}$$

Gambar BMD dan SFD dari combo ETABS yang digunakan yang tertera pada gambar 2.16 dan gambar 2.17.



Gambar 2. 16 Gambar BMD



Gambar 2. 17 Gambar SFD

2.12.2 Rencana Penulangan Tangga

Diameter tulangan pokok = 16 mm

Diameter tulangan susut = 201,06 mm²

Fy tulangan pokok = 420 Mpa

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

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

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

$$htg = 150 \text{ mm}$$

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

$$\beta_1 = 0,85$$

$$ds = htg - \text{selimut beton} - \frac{D.tul}{2} = 122 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85 (32)}{(420)} \left[1 - \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4(37,73468 \times 10^6)}{1,7(0,9)(30)(1000)122^2}} \right] \right] = 0,00713$$

$$As_{min} = 0,002 bh = 270 \text{ mm}^2$$

$$As_{perlu} = \rho bd = 869,26 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{0,25 \pi d^2 b}{A_s} = 231,30 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D16-200

Pengecekan terhadap gaya geser

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} \times b \times d = 113,598$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 85,198 = 85,198 > V_{ur} (36,51) \text{ OK}$$

$$As_{min} = 270 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_{tul.susut} \times B}{As_{min}} = \frac{50,265482 \times 1000}{270} = 186,16845 \text{ mm}$$

Maka digunakan P8-150