

BAB IV

PEMBAHASAN DAN HASIL

4.1 Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan yang bekerja pada struktur gedung dibutuhkan data-data mengenai nilai beban yang diterima. Menurut SNI 1727 Tahun 2020, beban yang diterima struktur bangunan gedung seperti : beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Berdasarkan ketentuan tersebut beban yang diterima oleh struktur bangunan gedung Rumah Sakit Kasih Ibu, Kota Surakarta yaitu:

4.1.1 Beban Mati

Beban mati didefinisikan sebagai berat dari elemen struktur bangunan itu sendiri beserta beban tetap lainnya yang bersifat konstan selama masa layan bangunan. Nilai beban ini tidak mengalami perubahan, kecuali apabila terjadi modifikasi pada volume atau komposisi material struktur. Perencanaan beban mati mengacu pada ketentuan SNI 1727-2020, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Beban Mati

Beban	qDL (Kg/m ²)	qSDL (Kg/m ²)	qD (Kg/m ²)
Pelat Lantai Parkir	360	50	410
Pelat Lantai Rumah Sakit	312	130	442
Pelat Atap	264	73	337
Dinding Bata (4,2 m)	$1,5 \times 4,2 = 6,3 \text{ kN/m}$		
Dinding (4,2 m)	$1,5 \times 5 = 7,5 \text{ kN/m}$		
Dinding Parapet (1,35 m)	$1,5 \times 1,35 = 2,025 \text{ kN/m}$		

4.1.2 Beban Hidup

Beban hidup yaitu berat yang dihasilkan dari fungsi penggunaan bangunan aktivitas penghuni pengguna bangunan (SNI 1727 Tahun 2020). Beban hidup gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta adalah sebagai berikut:

1. Lantai rumah sakit = 250 Kg/m²

2. Atap	=	100	Kg/m ²
3. Ramp	=	800	Kg/m ²
4. Tangga	=	300	Kg/m ²
5. Parkiran	=	192	Kg/m ²

4.1.3 Beban Air Hujan

Beban air hujan merupakan beban yang terjadi akibat akumulasi air hujan diatas atap bangunan yang tidak segera terbuang karena keterbatasan sistem drainase. Beban air hujan dihitung secara terpisah dari beban hidup biasa, menggunakan persamaan :

$$Pr = 0,0098 \times (ds + dh)$$

Dimana nilai ds dan dh = 25 mm

$$\begin{aligned} Pr &= 0,0098 \times (25 + 25) \\ &= 0,49 \text{ Kn/m}^2 = 49,9506 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Keterangan :

pr = beban air hujan (kN/m²)

ds = kedalaman tambahan akibat kemungkinan sumbatan saluran drainase (meter) (asumsi 25 mm, kalau tidak ada data khusus

dh = kedalaman air hujan yang menggenang berdasarkan debit hujan dan kapasitas drainase (meter) (asumsi 25 mm untuk atap normal dengan sistem drainase standar

4.1.4 Beban Angin

Mengacu pada SNI 1727:2020 Pasal 26.1.1, struktur bangunan gedung harus dirancang agar mampu menahan beban angin sebagai salah satu parameter beban dasar. Adapun tahapan perancangan beban angin pada bangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kategori risiko bangunan

Tabel 4. 2 Kategori Risiko Bangunan Dan Struktur Lainnya

Tabel 1.5-1 - Kategori risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa*, dan es

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis ^a	
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis ^a .	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.	

^aBangunan gedung dan struktur lain yang mengandung racun, zat yang sangat beracun, atau bahan peledak harus memenuhi syarat untuk klasifikasi terhadap kategori risiko lebih rendah jika memuaskan pihak yang berwenang dengan suatu penilaian bahaya seperti dijelaskan dalam Pasal 1.5.3 bahwa pelepasan zat sepadan dengan risiko yang terkait dengan kategori risiko.

(Sumber : Tabel 1.5.1 SNI 1727-2019)

Berdasarkan data tersebut, Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu termasuk dalam kategori risiko IV, karena termasuk dalam fasilitas penting dan memiliki risiko tinggi.

2. Menentukan Kecepatan Angin Dasar

Tabel 4. 3 Kecepatan Angin Dasar

Risk Category	Periode Ulang	Wind Speed
I	300	38.3
II	700	40.9
III	1700	43.4
IV	1700	43.4

(Sumber : Buku peta angin Indonesia)

Berdasarkan buku peta angin indonesia, kecepatan angin dasar (V) ditentukan berdasarkan kategori risiko dikarenakan gedung RSKI masuk dalam kondisi risiko IV , maka diperoleh kecepatan angin dasar :

$$V = 43,4 \text{ m/s} = 97,0858 \text{ Mph}$$

3. Menentukan Parameter Beban Angin

Tabel 4. 4 Faktor Arah Angin

Tabel 26.6-1 - Faktor arah angin, K_d

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

(Sumber : Pasal 26 SNI 1727-2020)

- Faktor arah angin (K_d) = 0,85
- Kategori Eksposur = B
- Faktor Topografi (K_{zt}) = 1
- Faktor elevasi tanah (K_e) = 1
- Faktor efek hembusan angin (G) = 0,85
- Klasifikasi ketertutupan = Bangunan Tertutup
- Koefisien G_{cpi} = -0,18

Tabel 4. 5 Sistem Penahan Gaya Angin Utama dan Komponen Klading

Tabel 26.13-1 - Sistem penahan gaya angin utama dan komponen dan klading (semua ketinggian): koefisien tekanan internal, (GC_{pi}), untuk bangunan tertutup, tertutup sebagian, terbuka sebagian, dan bangunan terbuka (dinding dan atap)

Klasifikasi ketertutupan	Kriteria untuk klasifikasi ketertutupan	Tekanan internal	Koefisien tekanan internal, (GC_{pi})
Bangunan tertutup	A_o kurang dari terkecil $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{oi} \leq 0,2$	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan tertutup sebagian	$A_o > 1,1A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01A_g$ atau $4 \text{ ft}^2 (0,37 \text{ m}^2)$ dan $A_{oi}/A_{oi} \leq 0,2$	Tinggi	- 0,55 - 0,55
Bangunan terbuka sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan Klasifikasi tertutup, tertutup sebagian, atau klasifikasi terbuka	Sedang	- 0,18 - 0,18
Bangunan terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80 %	Diabaikan	0,00

CATATAN

1. Tanda plus dan minus menandakan tekanan yang bekerja ke arah dan menjauh dari permukaan dalam, masing-masing.
2. Nilai (GC_{pi}) harus digunakan dengan q_z atau q_h seperti yang disyaratkan.
3. Dua kasus harus diperhitungkan untuk menentukan persyaratan beban kritis untuk kondisi yang sesuai:
 - a. Nilai positif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam, atau
 - b. Nilai negatif (GC_{pi}) diterapkan pada semua permukaan dalam.

(Sumber : Tabel 26.13.1 SNI 1727-2020)

4. Menentukan koefisien Eksposur Tekanan Velositas (K_z atau K_h)

Ketinggian bangunan diatas permukaan tanah dengan nilai $15 \text{ ft} (4,6 \text{ m}) \leq Z \leq Z_g$. Bangunan Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta memiliki ketentuan sebagai berikut :

Tinggi bangunan = 54,8 m

Tinggi nominal admosfir (Z_g) = 365,76 (Tabel 26.11.1)

Eksponen pangkat kecepatan angin 3 s (α) = 7

Maka niali K_z dapat ditentukan dengan persamaan :

$$K_z = 2,01 \times \left(\frac{Z}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$K_z = 2,01 \times \left(\frac{54,8}{365,76} \right)^{2/7}$$

$$K_z = 1,169$$

Tabel 4. 6 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Tabel 26.10-1 - Koefisien eksposur tekanan kecepatan, K_h dan K_z

Ketinggian di atas permukaan tanah		Eksposur		
ft	m	B	C	D
0 – 15	0 – 4,6	0,57 (0,70) ^a	0,85	1,03
20	6,1	0,62 (0,70) ^a	0,90	1,08
25	7,6	0,66 (0,70) ^a	0,94	1,12
30	9,1	0,70	0,98	1,16
40	12,2	0,76	1,04	1,12
50	15,2	0,81	1,09	1,27
60	18,0	0,85	1,13	1,31
70	21,3	0,89	1,17	1,34
80	24,4	0,93	1,21	1,38
90	27,4	0,96	1,24	1,40
100	30,5	0,99	1,26	1,43
120	36,6	1,04	1,31	1,48
140	42,7	1,09	1,36	1,52
160	48,8	1,13	1,39	1,55
180	54,9	1,17	1,43	1,58
200	61,0	1,20	1,46	1,61
250	76,2	1,28	1,53	1,68
300	91,4	1,35	1,59	1,73
350	106,7	1,41	1,64	1,78
400	121,9	1,47	1,69	1,82
450	137,2	1,52	1,73	1,86
500	152,4	1,56	1,77	1,89

^aGunakan 0,70 pada Pasal 28, Eksposur B, apabila $z < 30$ ft (9,1 m).

Catatan

1. Koefisien eksposur tekanan kecepatan K_z dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$\text{Untuk } 15 \text{ ft (4,6 m)} \leq z \leq z_g \quad K_z = 2,01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$\text{Untuk } z < 15 \text{ ft (4,6 m)} \quad K_z = 2,01 \left(15/z_g \right)^{2/\alpha}$$

2. α dan z_g ditabulasi dalam Tabel 26.11-1.

3. Interpolasi linier untuk nilai menengah dari tinggi z boleh dilakukan.

4. Kategori eksposur didefinisikan pada Pasal 26.7.

(Sumber : Tabel 26.10.1 SNI 1727-2020)

5. Menentukan tekanan velositas (q atau q_h)

Tekanan kecepatan pada ketinggian atap rata - rata dapat dihitung sebagai $q_h=q_z$ dengan persamaan :

$$\begin{aligned} q_h = q_z &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times K_e \times V^2 \\ &= 0,613 \times 1,169 \times 1 \times 0,85 \times 1 \times 97,0858^2 \\ &= 5739,044 \text{ N/m}^2 = 5,739 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan Pasal 27.1.5, nilai minimum beban angin adalah 0,77 kN/m² yang dikalikan dengan luas permukaan dinding bangunan pada bidang vertikal atau tegak lurus terhadap arah datangnya angin. Oleh karena itu, dari hasil perhitungan diperoleh nilai sebagai berikut:

$$q = 5,739 \text{ kN/m}^2 \leq 0,77 \text{ kN/m}^2$$

Jadi menggunakan beban dinding menggunakan beban minimal sebesar 0,77 kN/m² (78, 4938 kg/m²).

6. Menentukan Koefisien Tekanan Eksternal (C_p)

Tabel 4. 7 Koefisien Tekanan Dinding, C_p

Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	q_z
	0 – 1	- 0,5	q_h
Dinding di sisi angin pergi	2	- 0,3	q_h
	≥ 4	- 0,2	q_h
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	q_h

(Sumber : Tabel 27.3.1 SNI 1727-2020)

Berdasarkan tabel diatas, diperoleh data - data sebagai berikut :

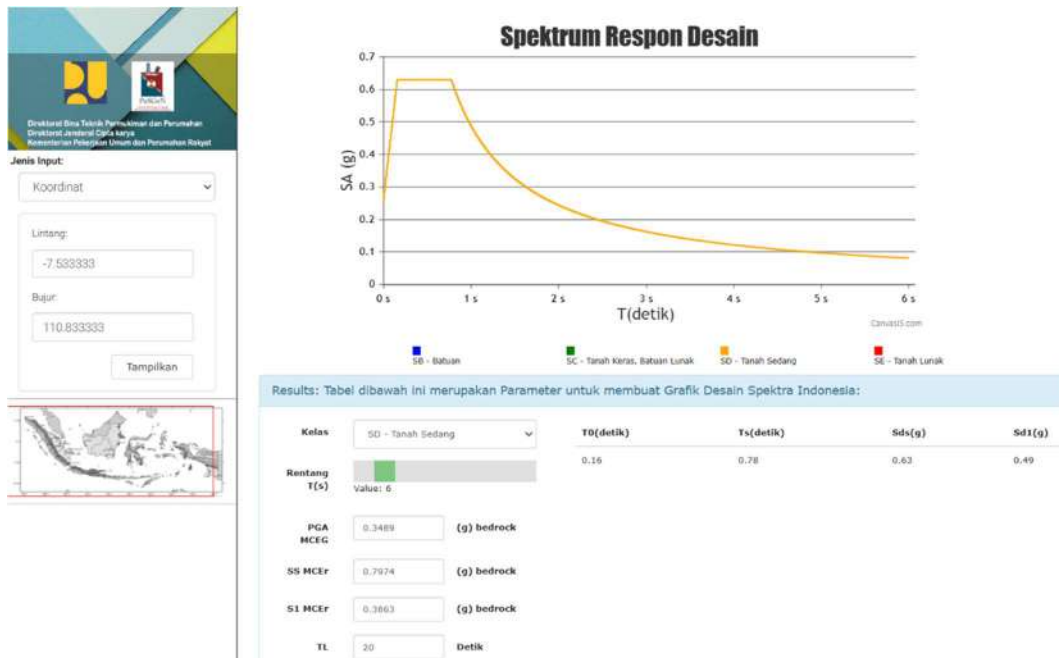
$$\frac{\text{Panjang (L)}}{\text{Lebar (B)}} = \frac{76}{42,8} = 1,7757 = 2$$

Dinding (sisi angin datang), C_p = 0,8

Dinding (sisi angin pergi), C_p = -0,5

Dinding (sisi angin tepi), C_p = -0,7

4.1.5 Beban Gempa



Gambar 4. 1 Spektrum Respon Desain Kota Surakarta

(Sumber : www.rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Analisis pembebanan gempa pada perencanaan gedung rumah sakit Kasih Ibu Surakarta didasarkan pada parameter gempa sesuai SNI 1726-2019. Berikut ini parameter yang digunakan untuk desain gempa rencana :

1. Fungsi bangunan = Rumah sakit
2. Kategori risiko = IV (SNI 1726-2019, Tabel 3)
3. Faktor keutamaan gempa (I_e) = 1,5 (SNI 1726-2019, Tabel 4)
4. Kelas situs = SD (SNI 1726-2019, Tabel 5)

Kelas situs didapatkan dari hasil *standard penetration test* dilokasi proyek.

Data N-SPT dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. 8 Data Hasil *Nilai Standard Penetration Test*

Lapis	Kedalaman (m)	T (m)	N (SPT)	N' = T/N
1	2	2	3	0,67
2	4	2	29	0,07
3	6	2	32	0,06
4	8	2	34	0,06
5	10	2	39	0,05
6	12	2	44	0,05
7	14	2	50	0,04
8	16	2	50	0,04
9	18	2	53	0,04
10	20	2	55	0,04
11	22	2	59	0,03
12	24	2	60	0,03
13	26	2	60	0,03
14	28	2	60	0,03
15	30	2	60	0,03
Total		30	688	1,28

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Klasifikasi jenis tanah (kelas situs) diperoleh berdasarkan karakteristik profil tanah pada lapisan 30 meter teratas, atau hingga kedalaman maksimum hasil pengujian tanah, yang dihitung dengan metode sebagai berikut :

$$N-SPT = \frac{\sum T}{\sum N'} = \frac{30}{1,28} = 23,53$$

Dari nilai N (SPT) yang diperoleh dan disesuaikan dengan Tabel 5 SNI 1726-2019 , $15 \leq N_{spt} 23,53 \leq 50$, sehingga dapat diklasifikasikan bahwa area tersebut termasuk kategori tanah sedang (SD).

1. Nilai S_s (Parameter Respons Spektral Periode Pendek)



Gambar 4. 2 Peta Respons Spektral Kota Surakarta, S_s
(Sumber : www.rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Berdasarkan peta respons spektral pada website RSA Cipta Karya , nilai S_s kota Surakarta berkisar antara 0,7 – 0,8 yakni $S_s = 0,7974$ g

2. Nilai S_1 (Parameter Respons Spektral Periode 1 detik)



Gambar 4. 3 Peta Respons Spektral Kota Surakarta, S_1
(Sumber : www.rsa.ciptakarya.pu.go.id)

Nilai S_1 diperoleh dari website RSA Cipta Karya peta respon spektral (S_1) Kota Surakarta berkisar antara 0,3 – 0,4 yakni $S_1 = 0,3863$ g

4.1.5.1 Data Percepatan Gempa

Menurut SNI 1726-2019 pada tabel 6 dan 7, diperoleh data percepatan gempa sebagai berikut :

Spektral Percepatan Periode Pendek	S_s	= 0,7974 g
Spektral Percepatan Periode 1 Detik	S_1	= 0,3863 g
Koefisien Situs	F_a	= 1,1810
Koefisien Situs	F_v	= 1,9137

Percepatan Desain Periode Pendek	$SDS = 2/3 * Fa * Ss = 0,6278 \text{ g}$
Percepatan Desain Periode 1 Detik	$SDI = 2/3 * Fv * SI = 0,4928 \text{ g}$
	$T0 = 0.2 * SDI / SDS = 0,1570 \text{ detik}$
	$Ts = SDI / SDS = 0,7850 \text{ detik}$

4.1.5.2 Periode Struktur

Menurut SNI 1726- 2019 pada tabel 17 dan 18, diperoleh data periode struktur sebagai berikut :

Percepatan Desain Periode 1 Detik	$SDI = 0,4928$
Koefisien untuk Batas Periode	$Cu = 1,4$
Parameter Periode Pendekatan	$Ct = 0,0488$
Parameter Periode Pendekatan	$x = 0,75$
Tinggi Bangunan (Seismik)	$h = 54,8$
Periode Fundamental Pendekatan	$Ta = Ct * hx = 0,98 \text{ detik}$
Periode Maksimum	$Tmax = Cu * Ta = 1,38 \text{ detik}$

4.1.5.3 Parameter Gempa

Penentuan parameter gempa didasarkan pada kategori desain seismik serta klasifikasi jenis tanah. Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726-2019, dengan nilai SDS sebesar 0,628 ($\geq 0,5$) dan SD1 sebesar 0,493 ($\geq 0,2$), maka struktur ini dikategorikan ke dalam Risiko Seismik D. Mengingat bangunan berada pada kelas situs tanah sedang (SD), termasuk dalam kategori desain seismik D, serta memiliki ketinggian 54,8 meter, maka sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Ganda (*Dual System*).

Mengacu pada Tabel 3, 4, dan 12 SNI 1726-2019, sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus wajib mampu menahan minimal 25% dari gaya gempa total yang dihitung. Berikut ini parameter yang digunakan :

Faktor Keutamaan Gempa	$Ie = 1,50$
Koefisien Modifikasi Respons	$R = 7$
Faktor Kuat Lebih Sistem	$\Omega0 = 2,5$
Faktor Pembesaran Defleksi	$Cd = 5,5$

Parameter-parameter tersebut kemudian diaplikasikan dalam perhitungan desain seismik sebagai berikut:

Faktor Keutamaan Gempa ($I_e = 1,50$) digunakan untuk memperbesar beban gempa desain karena bangunan rumah sakit termasuk kategori risiko IV yang harus tetap berfungsi pasca gempa, sehingga gaya gempa dasar (*base shear*) dikalikan dengan faktor ini untuk memastikan tingkat keamanan yang lebih tinggi. Koefisien Modifikasi Respons ($R = 7$) berfungsi sebagai faktor reduksi yang memungkinkan struktur didesain dengan gaya gempa yang lebih kecil dari gaya gempa elastik, dengan asumsi struktur mampu berperilaku inelastik dan mendisipasi energi gempa melalui mekanisme sendi plastis pada elemen rangka. Faktor Kuat Lebih Sistem ($\Omega_0 = 2,5$) digunakan dalam desain elemen struktur tertentu yang harus tetap elastis, seperti sambungan dan elemen kritis lainnya, dimana gaya desain diperbesar untuk mencegah kegagalan prematur sebelum sistem mencapai kapasitas inelastik penuhnya. Faktor Pembesaran Defleksi ($C_d = 5,5$) diaplikasikan untuk menghitung simpangan antar lantai (*drift*) yang sebenarnya dengan cara mengalikan simpangan elastis hasil analisis dengan faktor ini, kemudian dibandingkan dengan batas drift maksimum 1,5% tinggi lantai untuk kategori risiko IV guna memastikan kenyamanan pengguna dan mencegah kerusakan non-struktural.

Seluruh parameter ini terintegrasi dalam pemodelan ETABS untuk menghasilkan distribusi gaya dalam yang akurat, desain penulangan yang memadai, dan verifikasi kinerja struktur sesuai persyaratan SNI 1726-2019 dan SNI 2847-2019.

4.1.5.4 Rekapitulasi Hasil Analisa Faktor Gempa Pada Struktur Bangunan

Berikut merupakan data rekapitulasi hasil perhitungan analisa faktor gempa pada perencanaan struktur bangunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Rekapitulasi Hasil Analisa Faktor Gempa Terhadap Struktur Bangunan

Analisa	Hasil
Objek Perencanaan	Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta
Koordinat Lokasi Objek Perencanaan	-7.533, 110.833 (Laman Rsa Cipta Karya)
Fungsi Bangunan	Rumah Sakit
Kategori resiko	IV (SNI 1726-2019 tabel 3)
Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	1,5 (SNI 1726-2019 tabel 4)
Kelas Situs	Tanah Sedang/SD (SNI 1726-2019 tabel 5)
SS MCER	0,7974
SI MCER	0,3863
Koefisien Situs (F_a) Periode Pendek	1.181 (SNI 1726-2019 tabel 6)
Koefisien Situs (F_v) Periode Panjang	1,914 (SNI 1726-2019 tabel 7)
Sms MCER	0,942 (SNI 1726-2019 pasal 6.2)
Sml MCER	0,739 (SNI 1726-2019 pasal 6.2)
Parameter Percepatan Spektrum (SDS)	0,628 (SNI 1726-2019 tabel 8)
Parameter Percepatan Spektrum (SDI)	0,493 (SNI 1726-2019 tabel 9)
Kategori Desain Seismik (SDS)	D (SNI 1726-2019 tabel 8)
Kategori Desain Seismik (SDI)	D (SNI 1726-2019 tabel 9)
Periode Transisi Awal (T_0)	0,157 (SNI 1726-2019 pasal 6.4)
Periode Transisi Kedua (T_s)	0,785 (SNI 1726-2019 pasal 6.4)
Periode Getaran Fundamental (T_a min)	0,929 (SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1)
Periode Getaran Fundamental (T_a max)	1,3 (SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1)
Sistem pemikul gaya seismik	Dual System (SRPMK dan Shear Wall)
Koefisien Modifikasi Respons (R)	7 (SNI 1726-2019 tabel 12)
Faktor Kuat Lebih Sistem ($\Omega_0 b$)	2,5 (SNI 1726-2019 tabel 12)
Faktor Pembesaran Defleksi (C_{dc})	5,5 (SNI 1726-2019 tabel 12)

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.2 Preliminary Design Bangunan Tahan Gempa

Perancangan awal dimulai dengan melakukan analisis pada elemen-elemen struktur atas, meliputi balok, pelat, kolom, dan dinding geser (shear wall), kemudian dilanjutkan dengan analisis struktur bawah seperti pilecap dan fondasi bored pile. Analisis dilakukan berdasarkan gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari pemodelan struktur, yaitu momen lentur, gaya aksial, dan gaya geser.

4.2.1 Preliminary Design Balok

Dimensi awal (*preliminary*) balok pada perencanaan ulang ini ditetapkan mengacu pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847-2019, yang memuat ketentuan terkait ukuran minimum balok agar mampu menahan beban maksimum yang bekerja, serta memenuhi persyaratan kekakuan dan kekuatan struktur.

Berikut yaitu *preliminary design* balok induk pada perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta yang dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini.

$$\text{Tinggi balok (h)} = \frac{Ln}{12}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \frac{h}{2}$$

Batasan dimensi balok berpedoman pada pasal 18.6.2.1 SNI 2847-2019, yaitu:

1. Bentang bersih (l_n) $\geq$ 4d (4x tinggi efektif balok)
2. Lebar balok (b) $\geq$ 0.3h
3. Lebar balok (b) $\geq$ 250 mm (balok induk)
4. Lebar balok (b) $<$ lebar kolom yang menumpu
5. Lebar balok (b) $<$ 0.75x panjang kolom penumpu

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan *Preliminary Design* Balok

Nama Balok	Bentang	Jarak bersih (l_n)	Tinggi min	Tinggi pakai	Lebar min	Lebar pakai	selimut s	Tul sengkang ds	Tul utama db	Tinggi efektif d	Tinggi kolom	Lebar kolom	Syarat 1	Syarat 2	Syarat 3	Syarat 4	Syarat 5
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm					
B1	10000	9000	750	900	375	500	40	13	22	836	4200	1000	OK	OK	OK	OK	OK
B2	8000	7000	583,33	750	291,7	450	40	13	22	686	4200	1000	OK	OK	OK	OK	OK
B3	4000	3000	250	700	125	400	40	13	22	636	4200	1000	OK	OK	OK	OK	OK
TB1	10000	8800	733,33	1000	366,7	500	40	13	25	934,5	4200	1200	OK	OK	OK	OK	OK
TB2	8000	6800	566,67	900	283,3	450	40	13	25	834,5	4200	1200	OK	OK	OK	OK	OK
RB	10000	9200	766,67	800	383,3	400	40	13	22	736	4200	800	OK	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut merupakan *preliminary design* balok anak pada perencanaan struktur gedung Rumah Sakit Kaih Ibu Surakarta yang dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini.

$$\text{Tinggi balok (h)} = \frac{Ln}{16}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = \frac{h}{2}$$

Batasan dimensi pada balok berpedoman pada pasal 18.6.2.1 SNI 2847- 2019,

yaitu:

1. Bentang bersih (I_n) $\geq 4d$ (4x tinggi efektif balok)
2. Lebar balok (b) $\geq 0.3h$
3. Lebar balok $<$ lebar kolom yang menumpu

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan *Preliminary Design* Balok Anak

Nama Balok	Bentang	Jarak bersih (L_n)	Tinggi min	Tinggi pakai	Lebar min	Lebar pakai	selimuts	Tul sengkang ds	Tul utama db	Tinggi efektif d	Lebar balok induk	Syarat 1	Syarat 2	Syarat 3
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
BA1	5000	4500	281,3	650	84,38	400	40	13	22	586	500	OK	OK	OK
BA2	4000	3550	221,9	600	66,56	350	40	13	22	536	450	OK	OK	OK
BA3	2000	1600	100	450	30	300	40	13	19	387,5	400	OK	OK	OK
TBA1	5000	4500	281,3	800	84,38	450	40	13	22	736	500	OK	OK	OK
TBA2	4000	3550	221,9	700	66,56	400	40	13	22	636	450	OK	OK	OK
RBA	5000	4600	287,5	600	86,25	300	40	13	22	536	400	OK	OK	OK

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.2.2 Preliminary Design Pelat

Jenis pelat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu pelat satu arah dan dua arah. Apabila perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek (L_y/L_x) ≥ 2 , sedangkan apabila $L_y/L_x < 2$, maka diklasifikasikan sebagai pelat dua arah.

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Preliminary Design* Pelat

Pelat	Balok y	Balok X	Bentang L_y	Bentang L_x	Lebar Balok bw y	Lebar Balok bw x	$L_n y$	$L_n x$	$L_n y / L_n x$	Tipe Pelat
			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
325 x 400	B2	B2	4000	3250	450	450	3650	2850	1,2807	Pelat 2 Arah
	BA2	BA2			350	250				
300 x 400	B2	B3	4000	3000	450	400	3575	2550	1,40196	Pelat 2 Arah
	B2	B2			450	450				
400 x 400	B2	B2	4000	4000	450	450	3600	3600	1	Pelat 2 Arah
	BA2	BA2			350	350				

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Tebal minimum untuk pelat dua arah dihitung sesuai pada SNI 2847-2019. Pada Pasal 8.3.1.1, dalam laporan perencanaan ini digunakan nilai kuat leleh baja tulangan (f_y) sebesar 420 Mpa dan karena pelat yang direncanakan merupakan panel interior, maka digunakan tebal minimum pelat sesuai ketentuan berikut:

$$\text{Tebal minimum} = \frac{L}{33}$$

Pelat	Bentang (mm)	Tebal minimum (mm)
325 x 400	2850	86,363636
300 x 400	2550	77,272727
400 x 400	3600	109,09091

Berikut merupakan rekapitulasi tebal pelat yang dipakai dalam perencanaan gedung Rumah Sakit Kaih Ibu Surakarta :

Tabel 4. 13 Rekapitulasi *Preliminary Design* Pelat

Tipe	t min	t pakai	Cek (tmin < tpakai)	Lokasi pakai
	mm	mm		
SP	109,091	150	OK	Lantai Bassement
SL	109,091	130	OK	Lantai Rumah Sakit
SA	109,091	110	OK	Lantai Atap

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.2.3 *Preliminary Design* Kolom

Perencanaan dimensi kolom desain SRPMK diperoleh menggunakan persamaan :

$$\frac{h_{kolom}}{h_{balok}} > \frac{I_{kolom}}{I_{balok}}$$

Keterangan:

h_{kolom} = Tinggi bersih kolom

h_{balok} = Bentang bersih balok

I_{kolom} = Inersia kolom ($\frac{1}{2} \times b \times h^3$)

I_{balok} = Inersia kolom ($\frac{1}{2} \times b \times h^3$)

Maka dengan persamaan diatas, diperoleh data desain dimensi kolom yang memenuhi batas minimum yang diijinkan.

Tabel 4. 14 Perhitungan *Preliminary Design* Kolom

Tipe	Bentang	Tinggi kolom	Tinggi balok	Lebar balok	h min	h pakai	Cek (hmin<hmax)	Dimensi Kolom
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
K1	10000	4000	900	500	617,93	1200	OK	1200 x 1200
K2	8000	4000	750	450	555,062	1000	OK	1000 x 1000
K3	6000	4000	700	400	549,941	900	OK	900 x 900
K4	6000	4200	900	500	710,721	800	OK	800 x 800
K5	6000	4000	800	400	607,869	700	OK	700 x 700

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.2.4 *Preliminary Design* Dinding Geser

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan tebal dinding geser yang di pakai dalam perencanaan gedung ini yang dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 dan SNI 2847-2019 menggunakan persamaan dibawah ini.

Tebal minimum 1 = Panjang (lw) / 25

Tebal minimum 2 = Tinggi (hw) / 25

Tebal minimum 3 = 8 x Diameter tulangan (Dt)

Tebal minimum 4 = $\frac{f_y \times D_t}{5,4 \times \sqrt{f_c'}}$

Tabel 4. 15 Perhitungan *Preliminary Design* Dinding Geser

Tipe	Panjang (lw)	Tinggi (hw)	Diameter Tulangan (Dt)	Fy	fc'	Tebal min 1	Tebal min 2	Tebal min 3	Tebal min 4	Tebal pakai	Tebal min < Tebal pakai
	mm	mm	mm	Mpa	Mpa	mm	mm	mm	mm	mm	mm
CW1	5580	5000	25	420	45	223,2	200	200	289,86	400	OK
CW2	5500	5000	25	420	45	220	200	200	289,86	400	OK
SW	6500	5000	25	420	45	260	200	200	289,86	450	OK

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.3 Beban Kombinasi (*Load Combination*)

Kombinasi pembebanan yang dikenakan pada struktur bangunan meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, serta beban air hujan, yang kemudian dikombinasikan dengan beban gempa baik gempa statik maupun dinamik pada arah x dan y. Kombinasi pembebanan tersebut disusun mengacu pada ketentuan Pasal 4.2.2 dalam SNI 2847-2019 dan dimasukan hasil dari SDS dan p kedalam rumus

komninasasi dasar pada pasal 4.2.21 dan 4.2.2.3. Berikut ini hasil perhitungan kombinasi yang digunakan dalam perencanaan ulang ini :

$$\text{LRFD 1} = 1,4 \text{ DL} + 1,4 \text{SIDL}$$

$$\text{LRFD 1} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ LL} + 0,5 \text{ Lr}$$

$$\text{LRFD 3} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ LL} + 0,5 \text{ R}$$

$$\text{LRFD 4} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 1,6 \text{ Lr}$$

$$\text{LRFD 5} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ Lr} + 0,5 \text{ Wx}$$

$$\text{LRFD 6} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ Lr} + 0,5 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 7} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ Lr} + 0,375 \text{ Ws} + 0,375 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 8} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 1,6 \text{ R}$$

$$\text{LRFD 9} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ R} + 0,5 \text{ Wx}$$

$$\text{LRFD 10} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ R} + 0,5 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 11} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1,6 \text{ R} + 0,375 \text{ Wx} + 0,375 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 12} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ Lr} + 1 \text{ Wx}$$

$$\text{LRFD 13} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ Lr} + 1 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 14} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ Lr} + 0,75 \text{ Wx} + 0,75 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 15} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ R} + 1 \text{ Wx}$$

$$\text{LRFD 16} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ R} + 1 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 17} = 1,2 \text{ DL} + 1,2 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,5 \text{ R} + 0,75 \text{ Wx} + 0,75 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 18} = 0,9 \text{ DL} + 0,9 \text{SIDL} + 1 \text{ Wx}$$

$$\text{LRFD 19} = 0,9 \text{ DL} + 0,9 \text{SIDL} + 1 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 20} = 0,9 \text{ DL} + 0,9 \text{SIDL} + 0,75 \text{ Wx} + 0,75 \text{ Wy}$$

$$\text{LRFD 21} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 1,3 \text{ Ex} + 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 22} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 1,3 \text{ Ex} - 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 23} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} - 1,3 \text{ Ex} + 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 24} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} - 1,3 \text{ Ex} - 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 25} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,39 \text{ Ex} + 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 26} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} - 0,39 \text{ Ex} + 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 27} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} + 0,39 \text{ Ex} - 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 28} = 1,3256 \text{ DL} + 1,3256 \text{SIDL} + 1 \text{ LL} - 0,39 \text{ Ex} - 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 29} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} + 1,3 \text{ Ex} + 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 30} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} + 1,3 \text{ Ex} - 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 31} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} - 1,3 \text{ Ex} + 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 32} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} - 1,3 \text{ Ex} - 0,39 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 33} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} + 0,39 \text{ Ex} + 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 34} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{SIDL} - 0,39 \text{ Ex} + 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 35} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{ SIDL} + 0,39 \text{ Ex} - 1,3 \text{ Ey}$$

$$\text{LRFD 36} = 0,7744 \text{ DL} + 0,7744 \text{ SIDL} - 0,39 \text{ Ex} - 1,3 \text{ Ey}$$

4.3 Analisis Struktur dengan ETABS

Analisa struktur merupakan tahapan desain material, komponen, dan pemodelan pembebanan struktur. Analisis struktur pada perencanaan tugas akhir ini dengan ETABS versi 20.

4.4.1 Kontrol Keamanan Struktur Terhadap Beban Gempa Dinamis

1. Bentuk dan Jumlah Ragam

Menurut Pasal 7.9.1.1 SNI 1726-2019, analisis struktur harus memenuhi jumlah mode getar yang memadai sehingga kombinasi partisipasi massa modalnya lebih dari 90% dari total massa aktual struktur pada setiap arah respons horizontal ortogonal yang dianalisis.

Tabel 4. 16 Bentuk dan Jumlah Ragam

Modal Participation Mass Ratio														
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	1,373	0,108	0,374	0	0,108	0,3735	0	0,263	0,083	0,074	0,263	0,083	0,074
Modal	2	1,293	0,443	0,112	0	0,5506	0,4855	0	0,082	0,352	0,003	0,345	0,435	0,077
Modal	3	1,005	0,006	0,093	0	0,5567	0,5788	0	0,077	0,005	0,479	0,422	0,44	0,556
Modal	4	0,421	0,005	0,175	0	0,5619	0,7539	0	0,187	0,005	0,034	0,609	0,445	0,59
Modal	5	0,36	0,22	0,006	0	0,7821	0,7598	0	0,006	0,189	0	0,615	0,634	0,59
Modal	6	0,266	0,001	0,028	0	0,7832	0,7878	0	0,028	0,001	0,193	0,643	0,635	0,783
Modal	7	0,204	0,001	0,062	0	0,7839	0,85	0	0,078	0,001	0,014	0,721	0,636	0,797
Modal	8	0,168	0,076	0,001	0	0,8599	0,8509	0	0,001	0,1	0	0,722	0,735	0,797
Modal	9	0,124	0	0	0	0,8601	0,8509	0	0	0	0,07	0,722	0,735	0,867
Modal	10	0,121	0	0,04	0	0,8603	0,8907	0	0,066	0,001	0,001	0,788	0,736	0,868
Modal	11	0,1	0,039	0	0	0,8989	0,8908	0	0	0,065	0	0,788	0,801	0,868
Modal	12	0,085	0	0,018	0	0,8989	0,909	0	0,031	0	0,005	0,82	0,801	0,872
Modal	13	0,074	0,001	0,003	0	0,8995	0,9124	0	0,006	0,001	0,032	0,826	0,802	0,904
Modal	14	0,071	0,02	0	0	0,9195	0,9126	0	0	0,035	0,001	0,826	0,838	0,906

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Jumlah Partisipasi massa pada 14 Mode arah-x dan arah-y sebesar $> 90\%$.

2. Analisis Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis

Tabel 4. 17 Analisis Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN-m	MY kN-m	MZ kN-m
Stat x	LinStatic	Step By Step	1	-55329,763	0	0,0013	0,0901	-2045688	1980894
Stat x	LinStatic	Step By Step	2	-55329,762	0	0,0015	0,1032	-2045688	2173491
Stat x	LinStatic	Step By Step	3	-55329,763	0	0,0011	0,0771	-2045688	1788297
Stat y	LinStatic	Step By Step	1	0	-52100	0,0001	1938868,3	0	-859729
Stat y	LinStatic	Step By Step	2	0	-52100	0,0001	1938868,3	0	-932570
Stat y	LinStatic	Step By Step	3	0	-52100	0,0002	1938868,3	0	-786889
Spec x	LinRespSpec	Max		24,238	6	0	213,6665	746	857,986
Spec y	LinRespSpec	Max		6,22	21,148	0	652,6415	217	621,448
ec x	LinStatic			-24,2	-1	0	217,0789	-836	891,701
~StaticSp	LinStatic			-6,215	-21,116	0	727,5836	-227	-134,215

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Tabel 4. 18 Kontrol Analisis Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis

Base Shear	Dinamik (Vd) Geser Dasar (kN)	Statik (Vs) Geser Dasar (kN)	Faktor Skala Vs/Vd	Kontrol (Vd)>= 100% Vs
Arah X	24,238	-24,2	-0,998	OK
Arah Y	21,148	-21,116	-0,998	OK

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

3. Simpangan antar Lantai

Mengacu pasal 17.12.1.1 SNI 1726-2019 untuk menghitung simpangan antar lantai menggunakan persamaan dibawah ini.

Simpangan Antar Tingkat Izin $\Delta\alpha = 0,01 h$

Faktor Redundansi $\rho = 1,3$

Story Drift Inelastik Izin $\Delta_{max} = \Delta/\rho$ *untuk KDS D
 $= 0,008 h$

Faktor Pembesaran Defleksi $Cd = 5,5$

Faktor Keutamaan Gempa $Ie = 1,5$

Story Drift Inelastik $\Delta = \delta * Cd / Ie$

Tabel 4. 19 Perhitungan Analisis Simpangan Antar Lantai

Story	Displacement		Elastic Drift		h	Inelastic Drift		Drift Limit	Cek
	δeX	δeY	δeX	δeY		ΔX	ΔY		
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	
RUMAH LIFT	0,056	0,044	0,004	0,003	3850	0,0147	0,011	30	OK
ATAP LIFT	0,052	0,041	0	-0,005	850	0	-0,0183	7	OK
DAK ATAP	0,052	0,046	0,005	0,004	4200	0,0183	0,0147	32	OK
LT12	0,047	0,042	0,005	0,004	4200	0,0183	0,0147	32	OK
LT11	0,042	0,038	0,006	0,004	4200	0,022	0,0147	32	OK
LT10	0,036	0,034	0,005	0,005	4200	0,0183	0,0183	32	OK
LT9	0,031	0,029	0,005	0,004	4200	0,0183	0,0147	32	OK
LT8	0,026	0,025	0,006	0,005	5000	0,022	0,0183	38	OK
LT7	0,02	0,02	0,004	0,004	4200	0,0147	0,0147	32	OK
LT6	0,016	0,016	0,004	0,004	2850	0,0147	0,0147	22	OK
P6M	0,012	0,012	0,001	0	1400	0,0037	0	11	OK
P6	0,011	0,012	0	0,002	550	0	0,0073	4	OK
LT5	0,011	0,01	0,001	0,001	950	0,0037	0,0037	7	OK
P5M	0,01	0,009	0,001	-0,001	1500	0,0037	-0,0037	12	OK
P5	0,009	0,01	0,002	0,003	1500	0,0073	0,011	12	OK
P4M	0,007	0,007	0,001	0	1500	0,0037	0	12	OK
P4	0,006	0,007	0,001	0,002	1500	0,0037	0,0073	12	OK
P3M	0,005	0,005	0,001	0,001	1050	0,0037	0,0037	8	OK
LT3	0,004	0,004	0	-0,001	450	0	-0,0037	3	OK
P3	0,004	0,005	0,001	0,002	1500	0,0037	0,0073	12	OK
P2M	0,003	0,003	0,001	0	1500	0,0037	0	12	OK
P2	0,002	0,003	0	0,001	550	0	0,0037	4	OK
LT2	0,002	0,002	0	0	950	0	0	7	OK
P1M	0,002	0,002	0,001	0,001	1500	0,0037	0,0037	12	OK
P1	0,001	0,001	0,001	0,001	1550	0,0023	0,0023	12	OK
LT 1	0,000368	0	0	0	1450	0,0009	0,0009	11	OK
Ground	0,000126	0	0	0	1500	0,0005	0,0005	12	OK

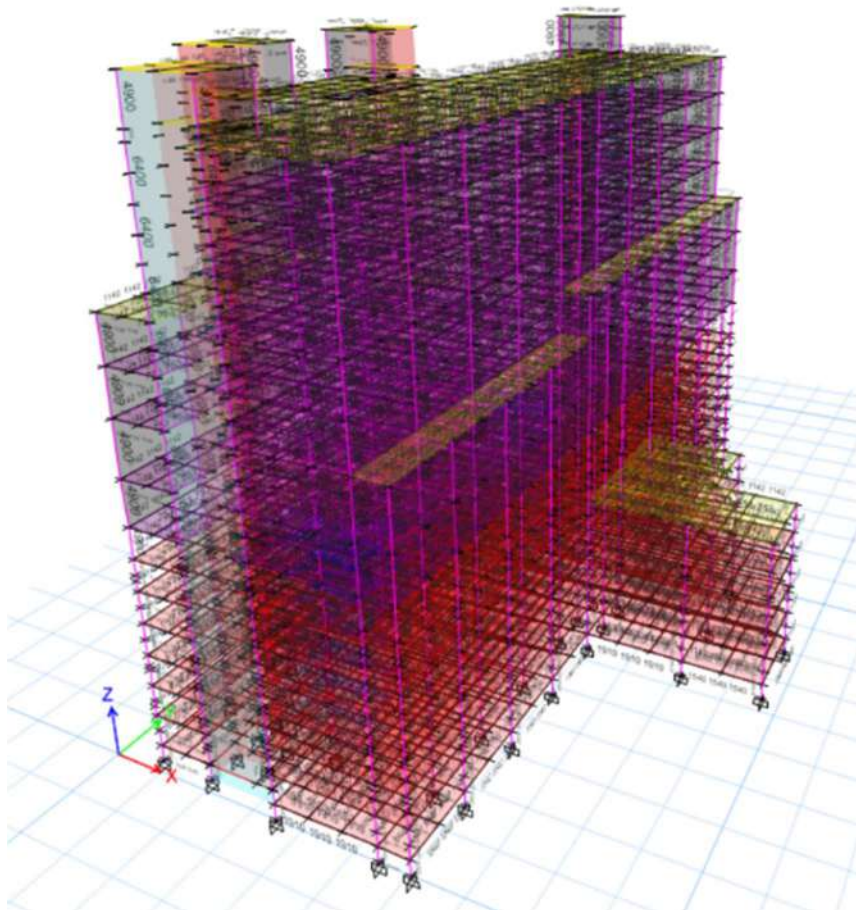
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Sesuai dengan pasal 7.12.1.1 SNI 1726-2019 untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari rangka pemikul momen pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik D, E, atau F, Simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi $\Delta\alpha/\rho$ untuk semua tingkatan. Dan dari perhitungan diatas persyaratan ini memenuhi ditunjukkan dengan “OK”.

4.4.2 Kontrol Analisis Ratio Batang

Kontrol analisis rasio dilakukan untuk memastikan seluruh elemen struktur, baik

balok maupun kolom, tidak mengalami overstress atau sudah dinyatakan aman. Nilai $> 1,0$ berarti elemen **tidak aman** (melampaui kapasitas), sedangkan $< 1,0$ berarti **aman** sesuai kode desain. Berdasarkan hasil tersebut, seluruh penampang rencana dinyatakan aman, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Hasil Kontrol Effisiensi Penampang
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.4.3 Kontrol Peraturan Sistem Ganda (*Dual System*)

Sistem ganda adalah gabungan dari dinding geser dan sistem momen rangka pemikul momen khusus memiliki kriteria untuk SRPMK harus mampu menahan paling sedikit 25% ($\geq 25\%$) dari gaya gempa yang bekerja secara keseluruhan baik arah x maupun arah y, (Pasal 4.4.3 SNI 1726, 2019). Maka dilakukan perbandingan joint reaction pada model struktur, berikut ini cara menghitung % gaya gempa yang diterima:

$$\% \text{ SRPMK} = 1 - \left(\frac{F_{SW}}{F_{SW+Rangka}} \right) \times 100\%$$

Tabel 4. 20 Perhitungan Syarat Sistem Ganda

	F (SW+Rangka)	F (SW)	% SW	% Rangka
X	20,4961	5,8596	28,59%	71,41%
Y	18,3739	5,1626	28,10%	71,90%

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Hasil analisis gaya dalam struktur yang diperoleh dari pemodelan dan analisis struktur Gedung RSKI Surakarta menggunakan *software* ETABS dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019 menunjukkan distribusi gaya-gaya internal pada elemen struktur utama. Gaya dalam yang dianalisis meliputi momen lentur (M), gaya geser (V), gaya aksial (N), dan torsi (T) pada berbagai elemen struktur seperti balok, kolom, dan dinding geser (*shear wall*) untuk kondisi beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa dengan arah X dan Y.

Verifikasi sistem ganda dilakukan dengan memastikan bahwa rangka pemikul momen mampu menahan minimal 25% dari total gaya geser dasar seismik, sebagaimana dipersyaratkan dalam SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.1. Perhitungan persentase kontribusi gaya geser menggunakan rumus:

Untuk arah X:

- Persentase SW (*Shear Wall*) = (FX SW / FX total) x 100%
- Persentase Rangka = (FX Rangka / FX total) x 100%

Untuk arah Y:

- Persentase SW (*Shear Wall*) = (FY SW / FY total) x 100%
- Persentase Rangka = (FY Rangka / FY total) x 100%

Dimana:

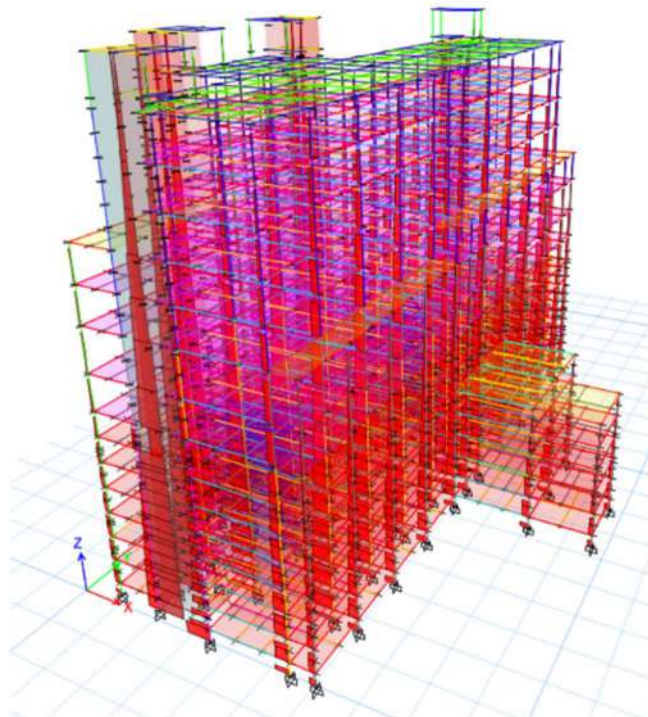
- FX, FY = Gaya geser dasar arah X dan Y (kN)
- SW = *Shear Wall* (Dinding geser)
- Syarat sistem ganda : Rangka $\geq 25\%$ dan SW $\leq 75\%$ dari total gaya geser

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan dalam Tabel 4.20, sistem struktur

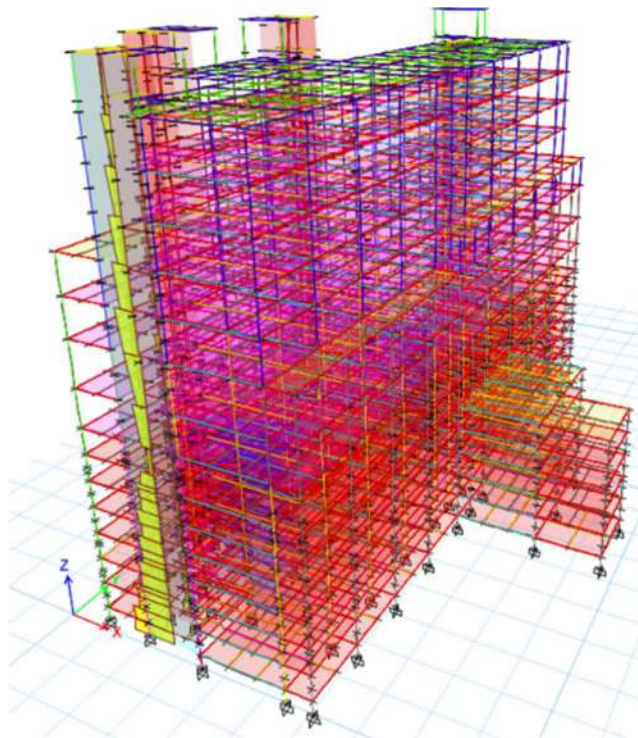
memenuhi persyaratan sistem ganda dengan distribusi beban lateral yang optimal antara dinding geser dan rangka pemikul momen.

4.4.4 Hasil Analisis Gaya Dalam Struktur

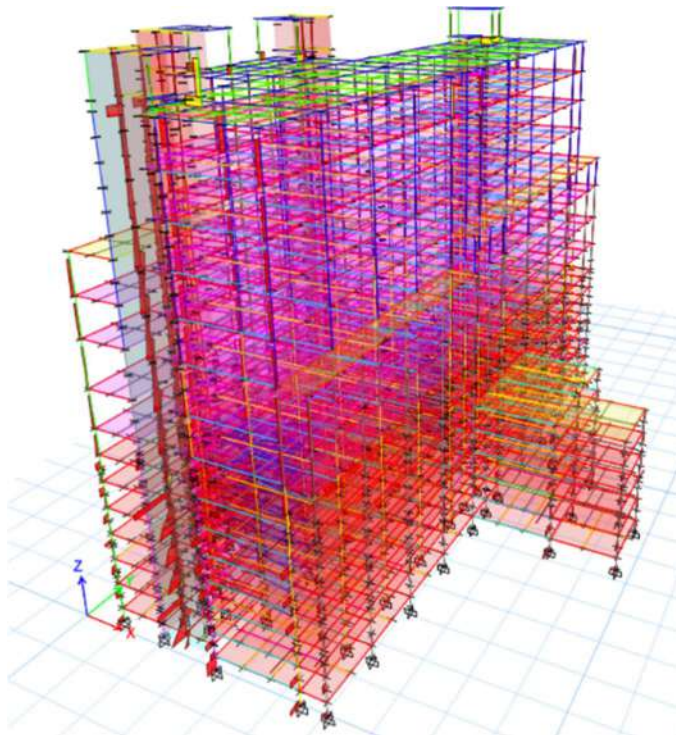
Gaya dalam yang didapatkan dari analisis struktur Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu surakarta dengan menggunakan ETABS dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019 menunjukkan distribusi gaya-gaya internal pada elemen struktur utama. Gaya dalam yang dianalisis meliputi momen lentur (M), gaya geser (V), dan gaya aksial (N) pada berbagai elemen struktur seperti balok, kolom, dan dinding geser (*shear wall*) untuk kondisi beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa dengan arah X dan Y. Visualisasi hasil analisis gaya dalam ini ditampilkan dalam bentuk diagram konur dan nilai numerik yang memperlihatkan lokasi kritis dengan gaya dalam maksimum, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk desain penulangan dan evaluasi kapasitas struktur sesuai persyaratan SNI 2847-2019, sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini antara lain :



Gambar 4. 5 Gaya Aksial
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 6 Gaya Momen
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 7 Gaya Geser
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.4 Perhitungan Tulangan Struktur Atas

4.5.1 Perhitungan Tulangan Balok

4.5.1.1 Perhitungan Tulangan Longitudinal

Pada penentuan kebutuhan tulangan, dibutuhkan tahapan perhitungan menggunakan rumus berikut ini :

1. Menghitung nilai momen ultimate (M_u) diperoleh dari ETABS
2. Menghitung nilai M_n menggunakan persamaan:

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

3. Menghitung nilai koefisien ketahanan (R_n) menggunakan persamaan:

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

4. Menghitung nilai ρ_{min} , $\rho_{balance}$, dan ρ_{maks} menggunakan persamaan:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_{balance}$$
$$\rho_{balance} = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f} \right)$$

5. Menghitung nilai ρ dengan persamaan berikut:

$$R_n = \rho \cdot f_y - \frac{0,59 \cdot \rho^2 \cdot f_y^2}{f_c}$$

6. Menghitung nilai ρ pakai dengan ketentuan berikut:

$$\begin{aligned} \rho < \rho_{min} &= \text{dipakai } \rho_{min} \\ \rho_{min} < \rho < \rho_{maks} &= \text{dipakai } \rho \\ \rho > \rho_{maks} &= \text{dipakai } \rho_{maks} \end{aligned}$$

7. Menghitung nilai A_s perlu dan A_s min menggunakan persamaan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \cdot b \cdot d \quad A_s \text{ min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Keterangan :

b = lebar balok

d = tinggi efektif (tinggi balok – selimut – d sengkang – d utama)

8. Menentukan nilai A_s pakai dengan membandingkan dengan A_s ETABS dengan ketentuan berikut:

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot \text{jumlah tulangan}$$

Syarat :

$A_s \text{ pakai} > (A_s \text{ min} ; A_s \text{ perlu} ; A_s \text{ ETABS})$

Jarak bersih antar tulangan $>$ (diameter tulangan utama; 30 mm)

Tabel 4. 21 Perhitungan Tulangan Longitudinal Balok

Nama Balok	Ukuran Balok (b x h)		cc	d	ρ min	ρ maks	(Mu)	Faktor Reduksi	Mn	Fn	ρ 1	ρ 2	Daerah	Letak Tulangan	As Perlu	As Min	As Etabs	db	Luas Penampang Tul. Utama	n	As Pakai	Jarak Bersih Antar Tulangan	Jarak Bersih >= db dan 30 mm?	Syarat As Terpasang g >= As Min	Syarat As Terpasang g >= As Perlu	Dipasang Tul utama		
	mm	x													mm	mm	mm		kNm		kNm	kgcm	mm2	mm2	mm2		mm	mm
B1	500	x	900	40	836	0.0033	0.0319	96.2	0.8	120.24	3.441	0.1687	0.0008	Tumpuan	Atas	1393	1393	2651	22	380.29	8	3042.3	31.14285714	OK	OK	OK	8 D22	
								96.2	0.8	120.24	3.441	0.1687	0.0008		Bawah	1393	1393	1653	22	380.29	7	2662	40	OK	OK	OK	7 D22	
								559.93	0.8	699.91	20.029	0.1646	0.0049		Lapangan	Atas	2053	1393	1653	22	380.29	7	2662	40	OK	OK	OK	7 D22
								559.93	0.8	699.91	20.029	0.1646	0.0049			Bawah	2053	1393	1765	22	380.29	8	3042.3	31.14285714	OK	OK	OK	8 D22
B2	450	x	750	40	686	0.0033	0.0319	594.14	0.8	742.68	35.07	0.1607	0.0088	Tumpuan	Atas	2719	1029	2712	22	380.29	8	3042.3	24	OK	OK	OK	8 D22	
								594.14	0.8	742.68	35.07	0.1607	0.0088		Bawah	2719	1029	2506	22	380.29	8	3042.3	24	OK	OK	OK	8 D22	
								467.01	0.8	583.76	27.566	0.1627	0.0068		Lapangan	Atas	2111	1029	1821	22	380.29	6	2281.7	42.4	OK	OK	OK	6 D22
								467.01	0.8	583.76	27.566	0.1627	0.0068			Bawah	2111	1029	1947	22	380.29	7	2662	31.66666667	OK	OK	OK	7 D22
B3	400	x	700	40	636	0.0033	0.0319	100.89	0.8	126.11	7.794	0.1676	0.0019	Tumpuan	Atas	848	848	1068	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22	
								100.89	0.8	126.11	7.794	0.1676	0.0019		Bawah	848	848	1015	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22	
								40.82	0.8	51.03	3.154	0.1687	0.0008		Lapangan	Atas	848	848	1225	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22
								40.82	0.8	51.03	3.154	0.1687	0.0008			Bawah	848	848	1015	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22
BA1	400	x	650	40	586	0.0033	0.0319	33.47	0.8	41.84	3.046	0.1688	0.0007	Tumpuan	Atas	781	781	1081	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22	
								33.47	0.8	41.84	3.046	0.1688	0.0007		Bawah	781	781	938	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22	
								42.52	0.8	53.15	3.87	0.1686	0.0009		Lapangan	Atas	781	781	938	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22
								42.52	0.8	53.15	3.87	0.1686	0.0009			Bawah	781	781	938	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22
BA2	350	x	600	40	536	0.0033	0.0319	81.34	0.8	101.68	10.112	0.167	0.0024	Tumpuan	Atas	625	625	930	22	380.29	5	1901.4	33.5	OK	OK	OK	5 D22	
								81.34	0.8	101.68	10.112	0.167	0.0024		Bawah	625	625	930	22	380.29	4	1521.1	52	OK	OK	OK	4 D22	
								40.51	0.8	50.64	5.036	0.1683	0.0012		Lapangan	Atas	625	625	930	22	380.29	4	1521.1	52	OK	OK	OK	4 D22
								40.51	0.8	50.64	5.036	0.1683	0.0012			Bawah	625	625	930	22	380.29	5	1901.4	33.5	OK	OK	OK	5 D22
BA3	300	x	450	40	387.5	0.0033	0.0319	81.34	0.8	101.68	22.571	0.1639	0.0056	Tumpuan	Atas	646	388	473	19	283.64	4	1134.6	39.33333333	OK	OK	OK	4 D19	
								81.34	0.8	101.68	22.571	0.1639	0.0056		Bawah	646	388	526	19	283.64	3	850.9	68.5	OK	OK	OK	3 D19	
								3.22	0.8	4.03	0.895	0.1693	0.0002		Lapangan	Atas	388	388	621	19	283.64	3	850.9	68.5	OK	OK	OK	3 D19
								3.22	0.8	4.03	0.895	0.1693	0.0002			Bawah	388	388	473	19	283.64	4	1134.6	39.33333333	OK	OK	OK	4 D19
RB	400	x	800	40	736	0.0033	0.0319	86.76	0.8	108.45	5.005	0.1683	0.0012	Tumpuan	Atas	981	981	1784	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22	
								86.76	0.8	108.45	5.005	0.1683	0.0012		Bawah	981	981	1671	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22	
								94.78	0.8	118.48	5.468	0.1682	0.0013		Lapangan	Atas	981	981	1169	22	380.29	5	1901.4	46	OK	OK	OK	5 D22
								94.78	0.8	118.48	5.468	0.1682	0.0013			Bawah	981	981	1466	22	380.29	6	2281.7	32.4	OK	OK	OK	6 D22
RBA	300	x	600	40	537.5	0.0033	0.0319	60.46	0.8	75.57	8.719	0.1674	0.0021	Tumpuan	Atas	538	538	899	19	283.64	4	1134.6	39.33333333	OK	OK	OK	4 D19	
								60.46	0.8	75.57	8.719	0.1674	0.0021		Bawah	538	538	686	19	283.64	3	850.9	68.5	OK	OK	OK	3 D19	
								36.2	0.8	45.25	5.221	0.1682	0.0013		Lapangan	Atas	538	538	737	19	283.64	3	850.9	68.5	OK	OK	OK	3 D19
								36.2	0.8	45.25	5.221	0.1682	0.0013			Bawah	538	538	646	19	283.64	4	1134.6	39.33333333	OK	OK	OK	4 D19
TB1	500	x	1000	40	937.5	0.0033	0.0319	212.24	0.8	265.3	6.037	0.168	0.0014	Tumpuan	Atas	1563	1563	1910	19	283.64	8	2269.1	34.57142857	OK	OK	OK	8 D19	
								212.24	0.8	265.3	6.037	0.168	0.0014		Bawah	1563	1563	1910	19	283.64	7	1985.5	43.5	OK	OK	OK	7 D19	
								170.02	0.8	212.53	4.836	0.1683	0.0012		Lapangan	Atas	1563	1563	1910	19	283.64	7	1985.5	43.5	OK	OK	OK	7 D19
								170.02	0.8	212.53	4.836	0.1683	0.0012			Bawah	1563	1563	1910	19	283.64	8	2269.1	34.57142857	OK	OK	OK	8 D19
TB2	450	x	900	40	837.5	0.0033	0.0319	66.88	0.8	83.61	2.649	0.1689	0.0006	Tumpuan	Atas	1256	1256	1834	19	283.64	7	1985.5	35.16666667	OK	OK	OK	7 D19	
								66.88	0.8	83.61	2.649	0.1689	0.0006		Bawah	1256	1256	1540	19	283.64	6	1701.9	46	OK	OK	OK	6 D19	
								65.36	0.8	81.7	2.588	0.1689	0.0006		Lapangan	Atas	1256	1256	1540	19	283.64	6	1701.9	46	OK	OK	OK	6 D19
								65.36	0.8	81.7	2.588	0.1689	0.0006			Bawah	1256	1256	1760	19	283.64	7	1985.5	35.16666667	OK	OK	OK	7 D19
TBA1	450	x	800	40	737.5	0.0033	0.0319	52.94	0.8	66.18	2.704	0.1688	0.0006	Tumpuan	Atas	1106	1106	1361	19	283.64	7	1985.5	35.16666667	OK	OK	OK	7 D19	
								52.94	0.8	66.18	2.704	0.1688	0.0006		Bawah	1106	1106	1361	19	283.64	6	1701.9	46	OK	OK	OK	6 D19	
								57.53	0.8	71.91	2.938	0.1688	0.0007		Lapangan	Atas	1106	1106	1361	19	283.64	6	1701.9	46	OK	OK	OK	6 D19
								57.53	0.8	71.91	2.938	0.1688	0.0007			Bawah	1106	1106	1361	19	283.64	7	1985.5	35.16666667	OK	OK	OK	7 D19
TBA2	400	x	700	40	637.5	0.0033	0.0319	20.27	0.8	25.33	1.558	0.1691	0.0004	Tumpuan	Atas	850	850	1208	19	283.64	6	1701.9	36	OK	OK	OK	6 D19	
								20.27	0.8	25.33	1.558	0.1691	0.0004		Bawah	850	850	1050	19	283.64	5	1418.2	49.75	OK	OK	OK	5 D19	
								18.07	0.8	22.59	1.389	0.1692	0.0003		Lapangan	Atas	850	850	1050	19	283.64	5	1418.2	49.75	OK	OK	OK	5 D19
								18.07	0.8	22.59	1.389	0.1692	0.0003			Bawah	850	850	1202	19	283.64	6	1701.9	36	OK	OK	OK	6 D19

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.1.2 Perhitungan Tulangan Transversal

Pada penentuan kebutuhan tulangan, dibutuhkan tahapan perhitungan menggunakan rumus berikut ini :

1. Menentukan nilai A_v/S perlu (output ETABS)
2. Menentukan luasan tulangan pakai sesuai dengan tulangan yang akan dipakai menggunakan rumus:

$$A_v \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot \text{jumlah kaki}$$

3. Menentukan S perlu menggunakan rumus:

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \text{ pakai}}{A_v/S \text{ perlu}}$$

4. Menentukan S maks menggunakan rumus berikut:

Berpedoman pada SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4.4, spasi sengkang memiliki nilai maksimum yaitu:

$$S \text{ maks 1} = \frac{d \text{ (tinggi efektif)}}{4}$$

$$S \text{ maks 2} = 6 \times d_b \text{ (diameter tulangan utama)}$$

$$S \text{ maks 3} = 150 \text{ mm}$$

$$S \text{ maks 4} = \frac{d \text{ (tinggi efektif)}}{2}$$

Keterangan:

d = tinggi balok – selimut balok – diameter sengkang – $\frac{1}{2}$ diameter utama

5. Menentukan nilai S pakai

$$S \text{ pakai} < S \text{ maks dan } S \text{ perlu}$$

6. Menentukan tulangan pinggang

Berpedoman pada SNI 2847-2019 Pasal 9.7.6.3.3, jarak tulangan pinggang memiliki nilai maksimum yaitu:

$$d \geq 300 \text{ mm, maka menggunakan tulangan pinggang}$$

Tabel 4. 22 Perhitungan Tulangan Transversal Balok

Nama Balok	Ukuran Balok (b x h)		cc	d	Daerah	Letak Tulangan	Diameter Tul. Utama, db	Diameter Tul. Pinggang, dp	Diameter Tul. Sengkang, ds	Jumlah kaki	Av pakai	Av /s perlu	S max 1 Tump	S max 2	S max 3	S perlu	S max 1 Lap	S pakai	S pakai < S max, S perlu	Dipasang Tul sengkang	Cek h<300	Dipasang Tul pinggang	
	mm	mm					mm	mm	mm			mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				mm
B1	500	x	900	40	836	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,92	209	132	150	138,4		125	OK	2013-125	tidak	4016-250
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,92	209	132	150	138,4		125	OK	2013-125	tidak	4016-250	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,21				219,1	418	200	OK	2013-200	tidak	4016-250
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,21				219,1	418	200	OK	2013-200	tidak	4016-250	
B2	450	x	750	40	686	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	2,1	171,5	132	150	126,5		125	OK	2013-125	tidak	2016-300
						Bawah	22	16	13	2	265,5	2,1	171,5	132	150	126,5		125	OK	2013-125	tidak	2016-300	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,2				221,3	343	200	OK	2013-200	tidak	2016-300
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,2				221,3	343	200	OK	2013-200	tidak	2016-300	
B3	400	x	700	40	636	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,6	159	132	150	165,7		125	OK	2013-125	tidak	2016-275
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,6	159	132	150	165,7		125	OK	2013-125	tidak	2016-275	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,19				223	318	200	OK	2013-200	tidak	2016-275
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,19				223	318	200	OK	2013-200	tidak	2016-275	
BA1	400	x	650	40	586	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,97	146,5	132	150	134,6		125	OK	2013-125	tidak	2016-250
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,97	146,5	132	150	134,6		125	OK	2013-125	tidak	2016-250	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	0,77				344,7	293	200	OK	2013-200	tidak	2016-250
						Bawah	22	16	13	2	265,5	0,77				344,7	293	200	OK	2013-200	tidak	2016-250	
BA2	350	x	600	40	536	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,73	134	132	150	153,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-225
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,73	134	132	150	153,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-225	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	0,68				390,5	268	200	OK	2013-200	tidak	2016-225
						Bawah	22	16	13	2	265,5	0,68				390,5	268	200	OK	2013-200	tidak	2016-225	
BA3	300	x	450	40	388	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,81	96,875	114	150	326,5		100	OK	2013-100	tidak	2016-200
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,81	96,875	114	150	326,5		100	OK	2013-100	tidak	2016-200	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,69				386,5	193,75	150	OK	2013-150	tidak	2016-200
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,69				386,5	193,75	150	OK	2013-150	tidak	2016-200	
RB	400	x	800	40	736	Tumpuan	Atas	22	16	13	2	265,5	2,01	184	132	150	132,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-275
						Bawah	22	16	13	2	265,5	2,01	184	132	150	132,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-275	
						Lapangan	Atas	22	16	13	2	265,5	1,5				177,2	368	150	OK	2013-150	tidak	2016-275
						Bawah	22	16	13	2	265,5	1,5				177,2	368	150	OK	2013-150	tidak	2016-275	
RBA	300	x	600	40	538	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	1,25	134,38	114	150	212,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	1,25	134,38	114	150	212,1		125	OK	2013-125	tidak	2016-250	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,88				303,2	268,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,88				303,2	268,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250	
TB1	500	x	1000	40	938	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	1,4	234,38	114	150	190,3		150	OK	2013-150	tidak	2016-275
						Bawah	19	16	13	2	265,5	1,4	234,38	114	150	190,3		150	OK	2013-150	tidak	2016-275	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	1,04				255,4	468,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-275
						Bawah	19	16	13	2	265,5	1,04				255,4	468,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-275	
TB2	450	x	900	40	838	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	1,13	209,38	114	150	234,9		125	OK	2013-125	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	1,13	209,38	114	150	234,9		125	OK	2013-125	tidak	2016-250	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,99				268	418,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,99				268	418,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250	
TBA1	450	x	800	40	738	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,88	184,38	114	150	300,3		150	OK	2013-150	tidak	2016-275
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,88	184,38	114	150	300,3		150	OK	2013-150	tidak	2016-275	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,65				405,9	368,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-275
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,65				405,9	368,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-275	
TBA2	400	x	700	40	638	Tumpuan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,68	159,38	114	150	388,2		125	OK	2013-125	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,68	159,38	114	150	388,2		125	OK	2013-125	tidak	2016-250	
						Lapangan	Atas	19	16	13	2	265,5	0,49				537,7	318,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250
						Bawah	19	16	13	2	265,5	0,49				537,7	318,75	200	OK	2013-200	tidak	2016-250	

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.1.3 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Balok

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan penulangan balok pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Balok

REKAP TULANGAN BALOK												
	B1	B2	B3	BA1	BA2	BA3	RB	RBA	TB1	TB2	TBA1	TBA2
Dimensi	50/90	45/75	40/70	40/65	35/60	30/45	40/80	30/60	50/100	45/90	45/80	40/70
Long. Tump Atas	8 D22	8 D22	6 D22	6 D22	5 D22	4 D19	6 D22	4 D19	8 D19	7 D19	7 D19	6 D19
Long Tump bawah	7 D22	8 D22	5 D22	5 D22	4 D22	3 D19	5 D22	3 D19	7 D19	6 D19	6 D19	5 D19
Long Lap atas	7 D22	6 D22	5 D22	5 D22	4 D22	3 D19	5 D22	3 D19	7 D19	6 D19	6 D19	5 D19
Long Lap bawah	8 D22	7 D22	6 D22	6 D22	5 D22	4 D19	6 D22	4 D19	8 D19	7 D19	7 D19	6 D19
Trans Tump atas	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-100	2D13-125	2D13-125	2D13-150	2D13-125	2D13-150	2D13-125
Trans Tump bawah	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-125	2D13-100	2D13-125	2D13-125	2D13-150	2D13-125	2D13-150	2D13-125
Trans Lap atas	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-150	2D13-150	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200
Trnas Lap bawah	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-150	2D13-150	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200	2D13-200
Pinggang	4D16-250	2D13-125	2D16-275	2D16-250	2D16-225	2D16-200	2D16-275	2D16-250	2D16-275	2D16-250	2D16-275	2D16-250

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Tabel 4. 24 Detail Penulangan Balok

DIMENSI DAN PENULANGAN BALOK												
KODE	B1		B2		B3		BA1		BA2		BA3	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	500 X 900	500 X 900	450 X 750	450 X 750	400 X 700	400 X 700	400 X 650	400 X 650	350 X 600	350 X 600	300 X 450	300 X 450
TULANGAN ATAS	8 D 22	7 D 22	8 D 22	6 D 22	6 D 22	5 D 22	6 D 22	5 D 22	5 D 22	4 D 22	4 D 19	3 D 19
TULANGAN BAWAH	7 D 22	8 D 22	6 D 22	8 D 22	5 D 22	6 D 22	5 D 22	6 D 22	4 D 22	5 D 22	3 D 19	4 D 19
TULANGAN BADAN	4 D 16	4 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16
SENGKANG	4D13-125	4D13-200	2D13-125	2D13-200	2D13-125	2D13-200	2D13-125	2D13-200	2D13-125	2D13-200	2D13-100	2D13-150

DIMENSI DAN PENULANGAN RING BALOK DAN TIEBEAM												
KODE	RB		RBA		TB1		TB2		TBA1		TBA2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN												
DIMENSI	400 X 800	400 X 800	300 X 600	300 X 600	500 X 1000	500 X 1000	450 X 900	450 X 900	450 X 800	450 X 800	400 X 700	400 X 700
TULANGAN ATAS	6 D 22	5 D 22	4 D 19	3 D 19	8 D 19	7 D 19	7 D 19	6 D 19	7 D 19	6 D 19	6 D 19	5 D 19
TULANGAN BAWAH	5 D 22	6 D 22	3 D 19	4 D 19	7 D 19	8 D 19	6 D 19	7 D 19	6 D 19	7 D 19	5 D 19	6 D 19
TULANGAN BADAN	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	4 D 16	4 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16	2 D 16
SENGKANG	2D13-125	2D13-150	2D13-125	2D13-200	2D13-150	2D13-200	2D13-125	2D13-200	2D13-150	2D13-200	2D13-125	2D13-200

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.2 Perhitungan Tulangan Pelat

Dalam menghitung kebutuhan tulangan, dibutuhkan tahapan proses menggunakan rumus berikut ini :

1. Menentukan nilai momen ultimate (M_u) arah X dan Y diperoleh dari ETABS
2. Menentukan nilai M_n menggunakan rumus:

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

3. Menentukan nilai koefisien ketahanan (R_n) menggunakan rumus:

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

4. Menentukan nilai ρ_{min} , $\rho_{balance}$, dan ρ_{maks} menggunakan rumus:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_{balance}$$

$$\rho_{balance} = 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

5. Menentukan nilai ρ dengan persamaan berikut:

$$R_n = \rho \cdot f_y - \frac{0,59 \cdot \rho^2 \cdot f_y^2}{f_c}$$

6. Menghitung nilai ρ pakai dengan ketentuan berikut:

$$\rho < \rho_{min} \quad = \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$\rho < \rho < \rho_{maks} \quad = \text{dipakai } \rho$$

$$\rho > \rho_{maks} \quad = \text{dipakai } \rho_{maks}$$

7. Menghitung nilai A_s perlu dan A_s min menggunakan persamaan:

$$A_s \text{ perlu} = \rho \text{ pakai} \cdot b \cdot d \quad A_s \text{ min} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$$

Keterangan :

b = lebar balok

d = tinggi efektif (tinggi balok – selimut – d sengkang – d utama)

8. Menentukan nilai S_{maks} atau jarak antar tulangan maksimal

Berpedoman pada SNI 2847-2019 Pasal 8.7.2.2, jarak antar tulangan pelat memiliki nilai maksimum, yaitu:

$$S_{maks} = 2 \times h \text{ (tebal pelat)}$$

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

9. Menentukan S pakai

$$S \text{ pakai} < S_{maks}$$

10. Menentukan nilai A_s pakai dengan membandingkan dengan A_s ETABS dengan ketentuan berikut:

$$A_s \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot \text{jumlah tulangan}$$

Keterangan:

Jumlah tulangan = lebar pelat (anggap 1000) / jarak antar tulangan

Syarat:

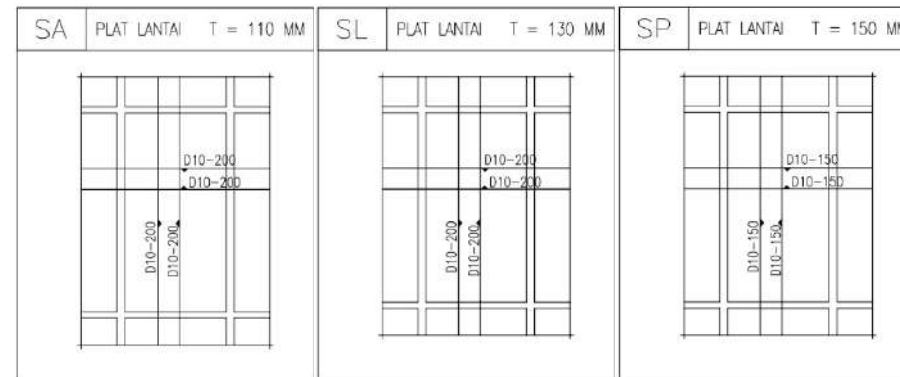
$$A_s \text{ pakai} > (A_s \text{ min dan } A_s \text{ perlu})$$

Berikut merupakan perhitungan penulangan pelat untuk rekapitulasi dan detail perhitungannya pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 25 Perhitungan Tulangan Pelat

PELAT	Tebal	Tinggi Efektif	Arah	daerah	MU	Mn	Rn	p pakai	As perlu	As min	S	Smax <450	Smax < 2h	db	As pakai	As pakai > As perlu	Tulangan
	mm	mm			kNm	Nmm			mm ²	mm ²	mm			mm	mm ²		
SP	150	120	x	tumpuan	-5,983	7478750	0,52	0,0033	400	210	150	OK	OK	10	524	TRUE	D10-150
				lapangan	2,441	3051250	0,21	0,0033	400	210	150	OK	OK	10	524	TRUE	D10-150
			y	tumpuan	-6,208	7760000	0,54	0,0033	400	210	150	OK	OK	10	524	TRUE	D10-150
				lapangan	5,132	6415000	0,45	0,0033	400	210	150	OK	OK	10	524	TRUE	D10-150
SL	130	100	x	tumpuan	-3,929	4911250	0,49	0,0033	333	182	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
				lapangan	2,982	3727500	0,37	0,0033	333	182	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
			y	tumpuan	-7,283	9103750	0,91	0,0033	333	182	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
				lapangan	7,108	8885000	0,89	0,0033	333	182	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
SA	110	80	x	tumpuan	-1,757	2196250	0,34	0,0033	267	154	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
				lapangan	1,512	1890000	0,3	0,0033	267	154	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
			y	tumpuan	-3,367	4208750	0,66	0,0033	267	154	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200
				lapangan	3,025	3781250	0,59	0,0033	267	154	200	OK	OK	10	393	TRUE	D10-200

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 8 Detail Tulangan Pelat

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.3 Perhitungan Tulangan Kolom

4.5.3.1 Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Dalam menentukan kebutuhan tulangan, dibutuhkan beberapa proses tahapan perhitungan menggunakan rumus berikut ini :

1. Menentukan nilai As perlu (*output* ETABS)
2. Menentukan As pakai menggunakan rumus:

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot \text{jumlah tulangan}$$

$$\text{Syarat : } As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$$

3. Menentukan rasio tulangan (ρ) menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{As \text{ pakai}}{b \times h}$$

Keterangan :

b = lebar kolom

h = panjang kolom

4. Menentukan batasan luas tulangan longitudinal kolom (A_{st}) sesuai prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB) berpedoman pada SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1 menggunakan persamaan :

$$1\% \leq \rho \leq 6\%$$

5. Menentukan kekuatan lentur minimum kolom sesuai prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB) menggunakan rumus:

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \times \sum M_{nb}$$

Keterangan:

$\sum M_{nc}$ = jumlah momen lentur nominal kolom di muka *joint* (*output Sp Column*)

$\sum M_{nb}$ = jumlah momen lentur nominal balok yang merangka ke *joint* tersebut (perhitungan M_n balok)

Tabel 4. 26 Perhitungan Tulangan Longitudinal Kolom

Tipe	Dimensi	As etabs	db	luas	n	As pakai	Cek As pasang > As etabs	Syarat rasio dimensi penampang	Rasio tul, p	Cek Aksial Lentur	Mnc (Sp Colum)	Min- Tumpuan Balok	Min+ Tumpuan Balok	cek SCWB	Dipasang Tul utama
	mm	mm ²		mm ²		mm ²									
K1	1200	14400	25	490,9	32	15708	TRUE	TRUE	1,09%	OK	6579,1	742,68	742,68	OK	32 D25
K2	1000	10000	22	380,1	28	10644	TRUE	TRUE	1,06%	OK	4552,5	742,68	742,68	OK	28 D22
K3	900	8100	22	380,1	24	9123,2	TRUE	TRUE	1,13%	OK	1491,6	742,68	742,68	OK	24 D22
K4	800	6400	22	380,1	20	7602,7	TRUE	TRUE	1,19%	OK	1323	742,68	742,68	OK	20 D22
K5	700	4900	22	380,1	16	6082,1	TRUE	TRUE	1,24%	OK	840	108,45	108,45	OK	16 D22

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.3.2 Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Pada penentuan kebutuhan tulangan, dibutuhkan beberapa proses tahapan perhitungan menggunakan rumus berikut ini :

1. Menghitung nilai A_v/S perlu (output ETABS)
2. Menghitung A_v pakai menggunakan rumus :

$$A_v \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot \text{jumlah tulangan}$$

3. Menghitung nilai S perlu menggunakan rumus :

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \text{ pakai}}{A_v / s \text{ perlu}}$$

4. Menghitung nilai S maks

Berpedoman pada SNI 2847-2019 pasal 18.7.5.3, jarak sengkang memiliki nilai maksimum yaitu:

$$S \text{ maks 1} = \frac{d \text{ (dimensi terkecil kolom)}}{4}$$

$$S \text{ maks 2} = 6 \times d_b \text{ (diameter tulangan utama)}$$

$$100 \text{ mm} \leq S \text{ maks 3} \leq 150 \text{ mm}$$

5. Menghitung nilai S pakai menggunakan rumus :

$$S \text{ pakai} \leq S \text{ maks dan } S \text{ perlu}$$

Tabel 4. 27 Perhitungan Tulangan Transversal Kolom

Tipe	Dimensi	ds	jumlah kaki	A_v/S perlu	A_v pakai	S perlu	S maks 1	S maks 2	S maks 3	S	cek $S \leq S_{\text{maks}}, S$ perlu	Dipasang Tul Sengkang
	mm						mm	mm	mm			
K1	1200	16	4	4,26	804,247719	188,659015	300	150	150	150	OK	4D16-150
K2	1000	16	4	3,2	804,247719	251,189258	250	132	150	125	OK	4D16-125
K3	900	16	4	5,43	804,247719	148,051117	225	132	150	125	OK	4D16-125
K4	800	13	4	2,54	530,929159	209,272753	200	132	150	125	OK	4D13-125
K5	700	13	4	2,88	530,929159	184,11259	175	132	150	125	OK	4D13-125

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.3.3 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Kolom

Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan penulangan kolom pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 28 Rekapitulasi Perhitungan Kolom

Tipe	Dimensi	db	n	ds	jumlah kaki	s	Cek As pasang > As etabs	Syarat rasio dimensi penampang	Rasio tul, p	Cek Aksial Lentur	cek SCWB	Dipasang Tul utama	Dipasang Tul Senggang
	mm												
K1	1200	25	32	16	4	150	TRUE	TRUE	1,09%	OK	OK	32 D25	4D16-150
K2	1000	22	28	16	4	125	TRUE	TRUE	1,06%	OK	OK	28 D22	4D16-125
K3	900	22	24	16	4	125	TRUE	TRUE	1,13%	OK	OK	24 D22	4D16-125
K4	800	22	20	13	4	125	TRUE	TRUE	1,19%	OK	OK	20 D22	4D13-125
K5	700	22	16	13	4	125	TRUE	TRUE	1,24%	OK	OK	16 D22	4D13-125

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Tabel 4. 29 Gambar Detail Penulangan Kolom

DIMENSI DAN PENULANGAN KOLOM										
KODE	K1		K2		K3		K4		K5	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN										
DIMENSI	1200 X 1200	1200 X 1200	1000 X 1000	1000 X 1000	900 X 900	900 X 900	800 X 800	800 X 800	700 X 700	700 X 700
TULANGAN	32 D 25	32 D 25	28 D 22	28 D 22	24 D 22	24 D 22	20 D 22	20 D 22	16 D 22	16 D 22
SENGKANG	4D16-150	4D16-150	4D16-125	4D16-125	4D16-125	4D16-125	4D13-125	4D13-125	4D13-125	4D13-125

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.4 Perhitungan Penulangan *Shear wall*

Perencanaan dinding struktural digunakan untuk menahan geser bidang dan momen lentur akibat gempa.

Data-data perencanaan tulangan shearwall :

Tipe shearwal	= Core wall (CW1)
Tinggi shearwall	= 57150 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 45 Mpa
Kuat leleh tulangan (f_y)	= 420 Mpa
Diameter tulangan	= 25 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Faktor β_1	= 0,838
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,65
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,75
Tebal shearwall	= 400 mm

Output gaya dalam dari ETABS

Aksial - Lentur			
Kondisi	P (kN)	M2 (kN-m)	M3 (kN-m)
P max	-8,204	-1,524	48,141
P min	-12918,6	-228,343	2005,039
M2 Max	-10653	2385,879	4984,447
M2 Min	-9277,52	-605,717	1247,931
M3 Max	-10653	2385,879	4984,447
M3 Min	-5312,18	-206,162	-1964,12
Geser			
V2 (kN)		V3 (kN)	
1504,105		230,475	

Kontrol Kebutuhan dua lapis tulangan

Tulangan baja vertikal maupun horizontal harus dipasang dalam dua lapis apabila gaya geser dalam terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi nilai batas berikut:

$$\begin{aligned} A_{cv} \text{ (Luas Penampang)} &= (2 \cdot \text{Lebar} \cdot \text{tinggi}) + (\text{panjang} \cdot \text{tinggi}) \\ &= (2 \cdot 3,25 \cdot 57,15) + (5,58 \cdot 57,15) \\ &= 4,832 \text{ m}^2 = 4832000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= V_2 / 0,75 \\ &= 1504,105 / 0,75 \\ &= 2005,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \text{ (Pasal 18.10.2 SNI 2847-2019)}$$

$$V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$V_u > 0,17 \cdot 4,832 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$V_u > 5510,387 \text{ kN}$$

$$V_u = 2005,47 \text{ kN}$$

$$2005,47 \text{ kN} < 5510,387 \text{ kN}$$

Maka bisa dipasang satu lapis tulangan. Tapi penulis menggunakan dua lapis tulangan, karena lebih baik menggunakan dua lapis.

Pada elemen dinding struktural, nilai minimum rasio tulangan longitudinal (ρ_l) dan transversal (ρ_t) ditetapkan sebesar 0,0025, dengan jarak maksimum antar tulangan adalah 450 mm. Namun, apabila nilai gaya geser terfaktor (V_u) memenuhi ketentuan $V_u \leq 0,083 A_{cv} \lambda \sqrt{f_c'}$, maka nilai ρ_l dan ρ_t diperbolehkan untuk dikurangi sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Pasal 18.10.2 SNI 2847:2019.

$$V_u \leq 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$V_u \leq 0,083 \cdot 4,832 \cdot 1 \cdot \sqrt{45}$$

$$2005,47 \text{ kN} \leq 2690,4 \text{ kN}$$

Maka diperlukan dua lapis tulangan yaitu ρ_l (0,0025) dan ρ_t (0,0012)

Luas penampang longitudinal dan transversal dinding geser per meter panjang :

$$0,4 \text{ m (tebal) } \times 1 \text{ m} = 0,4 \text{ m}^2$$

Luas minimal kebutuhan tulangan per meter panjang arah longitudinal (As perlu):

$$0,4 \text{ m}^2 \text{ (luas) } \times 0,0025 = 0,001 \text{ m}^2 = 1000 \text{ mm}^2$$

Bila dipakai tulangan ulir D25 untuk arah longitudinal, maka :

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2$$

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2$$

$$As \text{ pakai} = 490,87 \text{ mm}^2$$

Karena sistem penulangan menggunakan dua lapis, maka jumlah pasangan tulangan yang dibutuhkan dalam setiap meter panjang adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pakai}}$$

$$n = \frac{1000}{490,87}$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

Maka dipasang tulangan longitudinal 2D25

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Longitudinal

Berdasarkan pasal 18.10.2 SNI 2847 – 2019 nilai maksimum jarak antar tulangan yaitu $S \leq 450 \text{ mm}$. Maka dipakai $S = 200 \text{ mm}$ **(OK)**

Kontrol syarat spasi untuk arah longitudinal telah memenuhi syarat, sehingga dipasang 2D 25 – 200 mm

Luas minimal kebutuhan tulangan per meter panjang arah transversal (As perlu):

$$0,4 \text{ m}^2 \text{ (luas) } \times 0,0012 = 0,00048 \text{ m}^2 = 480 \text{ mm}^2$$

Bila dipakai tulangan ulir D25 untuk arah longitudinal, maka :

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2$$

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2$$

$$As \text{ pakai} = 283,385 \text{ mm}^2$$

Karena digunakan dua lapis tulangan, jumlah pasangan tulangan yang diperlukan per meter panjang adalah :

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pakai}}$$

$$n = \frac{480}{283,385}$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

Maka dipasang tulangan Transversal 2D19

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Transversal

Berdasarkan pasal 18.10.2 SNI 2847 – 2019 nilai maksimum jarak antar tulangan yaitu $S \leq 450 \text{ mm}$. Maka dipakai $S = 200 \text{ mm}$ **(OK)**

Kontrol syarat spasi untuk arah transversal telah memenuhi syarat, sehingga dipasang 2D 19 – 200 mm

Perhitungan Tulangan Geser

Kuat geser nominal dinding struktural dapat dihitung menggunakan rumus SNI 2847-2019 pasal 18.10.4.1 yaitu:

$$V_n = A_{cv} \cdot \alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + p_t \cdot f_y$$

Dimana $\alpha_c = 0,25$ untuk $h_w/l_w \leq 1,5$ dan $\alpha_c = 0,17$ untuk $h_w/l_w \geq 2,0$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{\text{tinggi total dinding}}{\text{panjang dinding}} = \frac{57150}{12080} = 4,73 \geq 2,0$$

Karena $h_w/l_w \geq 2,0$, maka $\alpha_c = 0,17$

Pada perencanaan dinding geser ini dipakai konfigurasi tulangan transversal 2D19-200. maka nilai rasio tulangan transversal terpasang yaitu :

$$p_t = \frac{2 \times A_s \text{ pakai}}{s \times t} = \frac{2 \times 283,385}{200 \times 200} = 0,0142 > p_{\min} (0,0012) \quad \textbf{(OK)}$$

Kuat geser nominal:

$$V_n = A_{cv} \cdot \alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + p_t \cdot f_y$$

$$V_n = 4832000 \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{45} + 0,014 \cdot 450$$

$$V_n = 5510392,992 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 5510392,992$$

$$\phi V_n = 4132794,744 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 4132,794 \text{ kN}$$

(OK, kuat terhadap geser)

Kuat geser nominal maksimum berdasarkan pasal 18.10.4.4 SNI 2847-2019 dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V_n \max = 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c'}$$

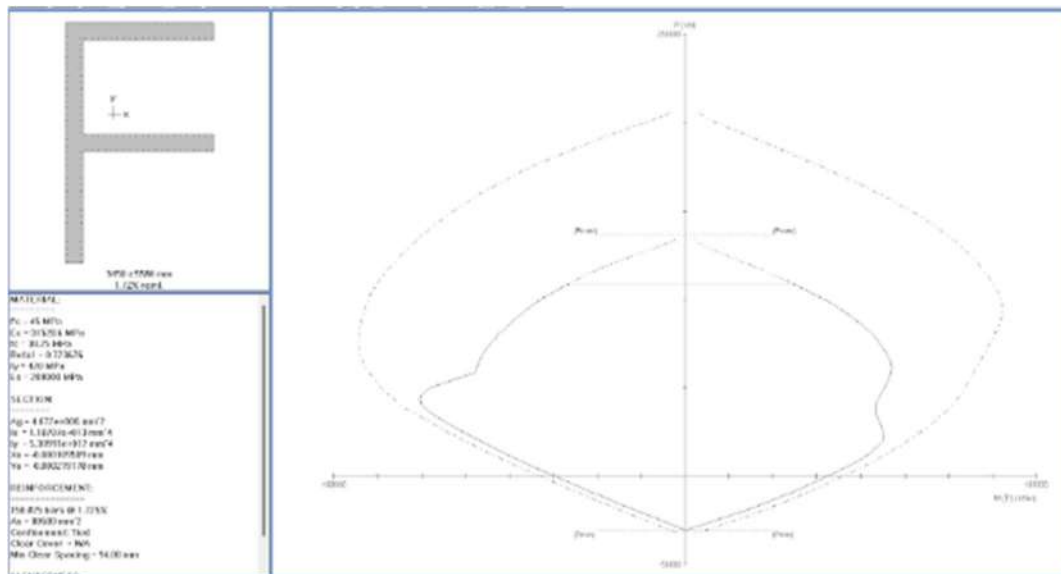
$$V_n \max = 0,66 \cdot 4832 \cdot \sqrt{45}$$

$$V_n \max = 21393,3 \text{ kN}$$

Kemudian dipilih nilai V_n yang terkecil, maka dipilih $V_n = 4132,794 \text{ kN}$.
Maka dipasang tulangan geser 2D19-200 mm untuk tulangan transversal.

Cek dengan program Sp Column

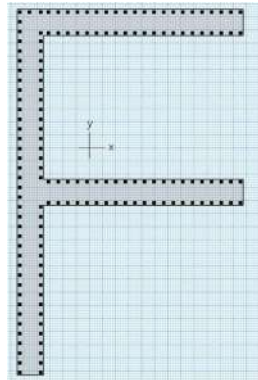
Output gaya dalam yang diperoleh dari ETABS dimasukkan dalam analisis Sp Column, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :



Gambar 4. 9 Hasil output grafik P-M Sp Column CW1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Jadi shearwall dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

Perhitungan Special Boundary Element (Komponen Batas Khusus)



Gambar 4. 10 Penampang CW1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan SNI 2847 pasal 18.10.2 daerah tekan pada dinding geser harus ditulangi dengan elemen batas khusus apabila :

$$c \geq \frac{\ell_w}{600 (1,5 \delta_u / h_w)}$$

$$1932 \geq \frac{12080}{600 \cdot 1,5 \cdot 0,005}$$

$$1932 \text{ mm} \leq 2684,4 \text{ mm}$$

Jadi berdasarkan perhitungan panjang zona tekan diatas tidak diperlukan elemen batas khusus

Mengacu pada SNI 2847 Pasal 18.10.6.3, dinding geser yang tidak dirancang sesuai dengan ketentuan Pasal 18.10.2 wajib dilengkapi dengan elemen batas khusus di sekitar wilayah struktural, yakni pada area yang mengalami tegangan tekan serat ekstrem maksimum akibat kombinasi beban, termasuk beban gempa, sesuai dengan persamaan berikut:

$$\text{Tegangan} > 0,2 \cdot f_c'$$

$$\frac{Pu}{Ag} + \frac{Muy}{I} > 0,2 \cdot f_c'$$

$$\frac{12918}{4,832} + \frac{4984 \cdot 0,0395}{6197,1} > 0,2 \cdot 45 \cdot 10^3$$

$$2673,46 \text{ kN/m}^2 < 9000 \text{ kN/m}^2$$

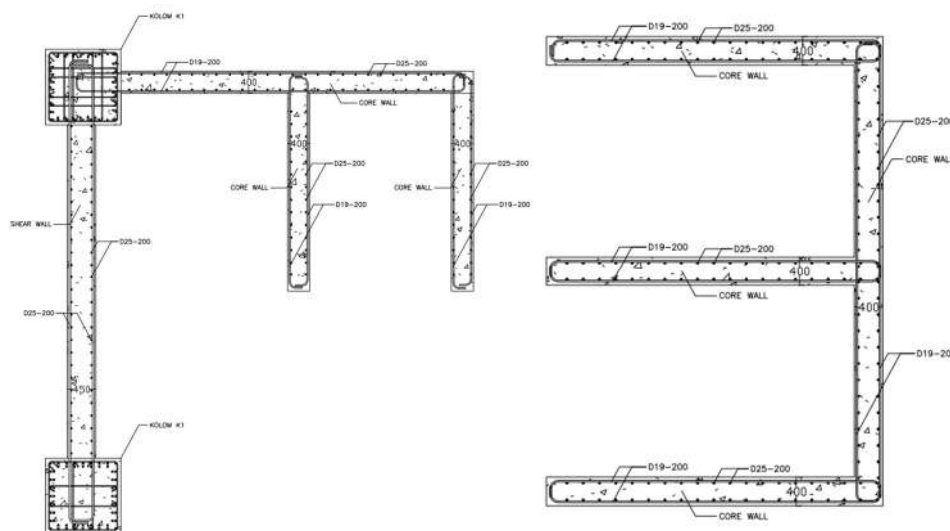
Dengan demikian, hasil analisis tegangan menunjukkan bahwa tidak diperlukan penerapan elemen batas khusus pada dinding struktural.

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan dinding geser pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 30 Rekapitulasi Penulangan Dinding Geser

Rekap Penulangan Dinding Geser			
Nama	CW1	CW2	SW
Tebal	40	40	45
Longitudinal	2 D25-200	2 D25-200	2 D25-200
Transversal	2D19-200	2D19-200	2 D25-200
Perlu elemen batas khusus ?	Tidak Perlu Batas Khusus	Tidak Perlu Batas Khusus	Tidak Perlu Batas Khusus

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 11 Detail Penulangan Dinding Geser

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5 Perencanaan Tulangan Struktur Bawah

Analisis penulangan struktur bawah baik untuk *bored pile* maupun *pilecap* harus ditinjau berdasarkan kondisi tanahnya melalui penyelidikan tanah *Standard Penetration Test* atau uji N-SPT dan kualitas bahan atau materialnya.

4.6.1 Perencanaan *Bored Pile*

Berikut ini merupakan data perencanaan desain penulangan bored pile

Tipe fondasi = F2

Diameter pile (d) = 60 cm = 600 mm = 1,9685

Beban yang diterima (Pu) = 18904,55 kN = 1927,07 ton (output ETABS)

Panjang pile (h) = 16 m = 1600 cm = 52,49344 ft

Berikut ini adalah hasil uji NSPT fondasi bored pile

Tabel 4. 31 Hasil uji N-SPT

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi Tanah	N (SPT)	N'
1	Pasir	Pasir sedang (coklat)	2	2
2			3	3
3			20	17,5
4			29	22
5		Pasir Lanau (coklat, kuning)	30	22,5
6			32	23,5
7			33	24
8			34	24,5
9			36	25,5
10		Buatan / Cadas (Coklat, abu - abu)	39	227
11			42	28,5
12			44	29,5
13			46	30,5
14			50	32,5
15		pasir kasar (coklat, kuning)	50	32,5
16			50	32,5
17			52	33,5
18		Pasir kasar (abu - abu)	53	34
19			53	34
20			55	35

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

N-SPT diatas dasar tiang = 4D

= 4.60

= 240 cm = 2,4 m

Nilai N' = koreksi harga N di bawah MAT

= 15 + 0,5 (50-15)

= 32,5

$$\begin{aligned}
\text{NSPT di ujung tiang (Np)} &= \text{harga rata" 4d diatas hingga dibawah dasar tiang} \\
&= \frac{(30,5+32,5+32,5+32,5+32,5+33,5+34+ \quad)}{7} \\
&= 37,43 \\
\text{Luas penampang (Ap)} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
&= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 60^2 \\
&= 2827,43 \text{ cm}^2 = 0,2827 \text{ m}^2 \\
\text{Keliling penampang (K)} &= \pi \cdot d \cdot h \\
&= \pi \cdot 60 \cdot 1600 \\
&= 301592,89 \text{ cm} = 3015,93 \text{ m} \\
\text{Volume (V)} &= \text{Ap} \cdot h \\
&= 2827,43 \cdot 1600 \\
&= 4523893,42 \text{ cm}^3 = 4,52 \text{ m}^3 \\
\text{Daya dukung ujung tiang (Qp)} &= 4 \cdot \text{Ap} \cdot \text{Np} \\
&= 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1,9685^2 \cdot 37,43 \\
&= 455,64 \text{ ton} \\
\text{N-SPT} &= 23,53 \\
\text{As pile} &= \pi \cdot d \cdot h \\
&= \pi \cdot 1,9685 \cdot 52,49344 \\
&= 324,63 \text{ ft}^2 \\
\text{Daya dukung friksi tiang (Qs)} &= \frac{\text{As pile} \cdot \text{N-SPT}}{50} \\
&= \frac{324,63 \cdot 23,53}{50} \\
&= 152,77 \text{ ton} \\
\text{Daya dukung ultimate (Qu)} &= \text{Qp tiang} + \text{Qs tiang} \\
&= 455,64 + 152,77 \\
&= 608,42 \text{ ton} \\
\text{Berat beton(w)} &= V \cdot \gamma_{\text{beton}} \\
&= 4,52 \cdot 2400 \\
&= 10857,34 \text{ kg} = 10,86 \text{ ton} \\
\text{Daya dukung netto (Qnett)} &= \text{Qu} - w \\
&= 608,42 - 10,86
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 597,56 \text{ ton} \\
\text{Jumlah pile (n)} &= \frac{Pu}{Q_{nett}} \\
&= \frac{1927,07}{597,56} \\
&= 3,22 = 4 \text{ pile} \\
\text{Jumlah baris (m)} &= 2 \\
\text{Jumlah tiang dalam 1 baris (n')} &= 2 \\
\text{Jarak antar pile (S)} &= \text{interval } 2D - 4D \\
&= 1200 \text{ mm} - 2400 \text{ mm} \\
&= 1700 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)} \\
\emptyset &= \text{Arctan} \\
&= \text{Arctan} \\
&= 0,32175 \\
\text{Efisiensi kelompok pile (Eff)} &= 1 - \frac{\emptyset}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right] \\
&= 1 - \frac{0,32175}{90} \left[\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2 \cdot 2} \right] \\
&= 100\% \\
\text{Daya dukung izin (Qall)} &= n \cdot \text{Eff} \cdot Q_{nett} \\
&= 4 \cdot 100\% \cdot 597,56 \\
&= 2381,69 \text{ ton} \\
\text{Cek beban pile} &= Pu < Q_{all} \\
&= 1927,07 \text{ ton} < 2381,69 \text{ ton} \quad \textbf{(OK)}
\end{aligned}$$

4.6.2 Penulangan Longitudinal *Bored Pile*

Direncanakan fondasi *bored pile* dengan data berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Diameter fondasi (dia)} &= 600 \text{ mm} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m} \\
\text{Diameter tulangan, (db)} &= 19 \text{ mm} \\
\text{Jumlah tulangan (ns)} &= 10 \\
\text{Selimut (sb)} &= 75 \text{ mm} \\
\text{Kuat Tekan beton (fc')} &= 45 \text{ Mpa} \\
\text{Kuat Leleh Tulangan (fy)} &= 420 \text{ Mpa} \\
\text{Tinggi efektif (d)} &= dia - sb - 0,5 \cdot db
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 600 - 75 - 0,5 \cdot 19 \\
&= 515,5 \text{ mm} = 0,5155 \text{ m} \\
A_g &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dia^2 \\
&= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 600^2 \\
&= 282743,34 \text{ mm}^2 \\
p_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{420} \\
&= 0,0033 \\
A_{s \text{ perlu}} &= p_{\min} \cdot A_g \\
&= 0,0033 \cdot 282743,34 \\
&= 942,48 \text{ mm}^2 \\
A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot ns \\
&= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \cdot 10 \\
&= 2835,29 \text{ mm}^2 \\
p_{\text{pakai}} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_g} \\
&= \frac{2835,29}{282743,34} \\
&= 0,01 \\
\text{Cek } p_{\text{pakai}} > p_{\min} &= 0,01 > 0,0033 \quad \textbf{(OK)} \\
\text{Maka dipakai tulangan utama bored pile yaitu } &10D19
\end{aligned}$$

4.6.3 Penulangan Transversal Bored pile

Direncanakan fondasi bored pile dengan data berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Diameter fondasi (dia)} &= 600 \text{ mm} = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m} \\
\text{Diameter tulangan, (db)} &= 19 \text{ mm} \\
\text{Diameter sengkang (ds)} &= 16 \text{ mm} \\
\text{Selimut (sb)} &= 75 \text{ mm} \\
\text{Kuat Tekan beton (fc')} &= 45 \text{ Mpa} \\
\text{Kuat Leleh Tulangan (fy)} &= 420 \text{ Mpa} \\
\text{Tinggi efektif (d)} &= dia - sb - 0,5 \cdot db - ds
\end{aligned}$$

	$= 600 - 75 - 0,5 \cdot 19 - 16$	
	$= 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$	
Ag	$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot dia^2$	
	$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 600^2$	
	$= 282743,34 \text{ mm}^2$	
bw	$= \frac{Ag}{0,8 \cdot dia}$	
	$= \frac{282743,34}{0,8 \cdot 600}$	
	$= 589,049 \text{ mm}$	
Av perlu 1	$= 0,35 \cdot bw \cdot S/fy$	
	$= 0,35 \cdot 589,049 \cdot 1000/420$	
	$= 490,874 \text{ mm}^2$	
Av perlu 2	$= 0,062 \cdot \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot S/fy$	
	$= 0,062 \cdot \sqrt{45} \cdot 589,049 \cdot 1000/420$	
	$= 583,311 \text{ mm}^2$	
Dipilih Av perlu	$= 583,311 \text{ mm}^2$	
S max 1	$= 16 \text{ db}$	
	$= 16 \cdot 19$	
	$= 304 \text{ mm}$	
S max 2	$= 48 \text{ ds}$	
	$= 48 \cdot 16$	
	$= 768 \text{ mm}$	
S max 3	$= 600 \text{ mm}$	
S max 4	$= d/2$	
	$= 500/2$	
	$= 250 \text{ mm}$	
Dipakai S	$= 250$	(OK)
Av terpasang	$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot ds^2 \cdot L/S$	
	$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000/250$	
	$= 804,248 \text{ mm}^2$	
Av terpasang > As perlu	$= 804,248 \text{ mm}^2 > 583,311 \text{ mm}^2$	(OK)

Maka dipakai tulangan Transversal bored pile yaitu D16-250

4.6.4 Rekapitulasi Penulangan *Bored Pile*

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan tulangan bored pile pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 32 Rekapitulasi Penulangan Bored Pile

REKAP TULANGAN BOREPILE									
Tipe	Diameter	Jumlah pile	Pu	Q netto	Q izin	Effisiensi	Pu < Q izin	Tul Utama	Tul Spiral
	cm		Ton	Ton	Ton				
F1	60	2	768,08	597,56	1192,98	100%	OK	10D19	D16-250
F2	60	4	1927,07	597,56	2381,69	100%	OK	10D19	D16-250
F3	60	4	1316,88	597,56	2379,55	100%	OK	10D19	D16-250
F4	60	8	1567,26	597,56	4756,97	100%	OK	10D19	D16-250
F5	60	8	2072,01	597,56	4759,18	100%	OK	10D19	D16-250

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.6.5 Perencanaan *Pile Cap*

Direncanakan pile cap dengan data berikut :

Tipe pile cap	= PCF2
Diameter fondasi (dia)	= 600 mm = 60 cm = 0,6 m
Diameter kolom pendek (c1)	= 1000 mm = 1 m
Diameter kolom panjang (c2)	= 1000 mm = 1 m
Jarak antar pile (S)	= 1700 mm
Diameter tulangan, (db)	= 19 mm
Diameter sengkang (ds)	= 16 mm
Selimut (sb)	= 75 mm
Kuat Tekan beton (fc')	= 45 Mpa
Kuat Leleh Tulangan (fy)	= 420 Mpa
Panjang pile cap (p)	= 3300 mm = 3,3 m
Lebar pile cap (l)	= 3300 mm = 3,3 m
Tebal pile cap	= ≥ 300 mm, dipakai 1200 mm (OK)

$$\begin{aligned}\text{Jarak tiang ke tepi} &= \text{Interval 1D} - 2D \text{ (600mm} - 1200\text{mm)} \\ &= 800 \text{ mm} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Cek Kontrol terhadap Geser 1 Arah (Arah x)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Pu}{A} = \frac{Pu}{p \cdot l} \\ &= \frac{18904,6}{3,3 \cdot 3,3} \\ &= 1735,955 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif } pile \text{ cap (d)} &= t - sb - 0,5 \cdot dia \\ &= 1200 - 75 - 0,5 \cdot 19 \\ &= 1115,5 \text{ mm} = 1,1155 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Daerah pembebanan geser, } G' &= 1 - \left(\frac{l}{2} + \frac{c_1}{2}\right) + d \\ &= 3,3 - \left(\frac{3,3}{2} + \frac{1}{2}\right) + 1,1155 \\ &= 0,0345\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \cdot l \cdot G' \\ &= 1735,955 \cdot 3,3 \cdot 0,0345 \\ &= 197,64 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \cdot \left(\frac{\sqrt{f_{c'}}}{6}\right) \cdot l \cdot d \\ &= 0,75 \cdot \left(\frac{\sqrt{45}}{6}\right) \cdot 3300 \cdot 1115,5 \\ &= 3086738,11 \text{ N} = 3086,74 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat } \phi V_c > V_u \quad = 3086,74 \text{ kN} > 197,64 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Cek Kontrol terhadap Geser 1 Arah (Arah y)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Pu}{A} = \frac{Pu}{p \cdot l} \\ &= \frac{18904,6}{3,3 \cdot 3,3} \\ &= 1735,955 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif } pile \text{ cap (d)} &= t - sb - 0,5 \cdot dia \\ &= 1200 - 75 - 0,5 \cdot 19 \\ &= 1115,5 \text{ mm} = 1,1155 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Daerah pembebanan geser, } G' = 1 - \left(\frac{l}{2} + \frac{c_1}{2}\right) + d$$

$$\begin{aligned}
&= 3,3 - \left(\frac{3,3}{2} + \frac{1}{2}\right) + 1,1155 \\
&= 0,0345 \\
V_u &= \sigma \cdot l \cdot G' \\
&= 1735,955 \cdot 3,3 \cdot 0,0345 \\
&= 197,64 \text{ kN} \\
\phi V_c &= 0,75 \cdot \left(\frac{\sqrt{f_{c'}}}{6}\right) \cdot l \cdot d \\
&= 0,75 \cdot \left(\frac{\sqrt{45}}{6}\right) \cdot 3300 \cdot 1115,5 \\
&= 3086738,11 \text{ N} = 3086,74 \text{ kN} \\
\text{Syarat } \phi V_c > V_u &= 3086,74 \text{ kN} > 197,64 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}
\end{aligned}$$

Cek Kontrol terhadap Geser 2

$$\begin{aligned}
B' \text{ dan } L' &= \text{lebar kolom} + d/2 \cdot 2 \\
&= 1 + 1,1155/2 \cdot 2 \\
&= 2,1155 \text{ m} \\
b) &= 2 (B' + L') \\
&= 2 (2,1155 + 2,1155) \\
&= 8,462 \text{ m}
\end{aligned}$$

Menghitung tegangan geser dari 3 rumus berikut:

$$\begin{aligned}
V_{c1} &= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b_0 \cdot d \\
&= 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \cdot 8462 \cdot 1115,5 \\
&= 32293790,9 \text{ N} = 32293,79 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{c2} &= \frac{1}{12} \cdot \left(2 + \frac{\sigma \cdot d}{b_0}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b_0 \cdot d \\
&= \frac{1}{12} \cdot \left(2 + \frac{40 \cdot 1115,5}{8462}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \cdot 8462 \cdot 1115,5 \\
&= 38377820,29 \text{ N} = 38377,82 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{c3} &= \frac{1}{3} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b_0 \cdot d \\
&= \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot \sqrt{45} \cdot 8462 \cdot 1115,5 \\
&= 21107052,9 \text{ N} = 21107,05 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Dipilih nilai V_c yang terkecil = 21107,05 kN

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \cdot 21107,05 \\ &= 15830,29 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada tanah

$$\begin{aligned}V_u &= \sigma \cdot (p \cdot l - B' \cdot L') \\ &= 1735,955 \cdot (3,3 \cdot 3,3 - 2,1155 \cdot 2,1155) \\ &= 11135,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Syarat } \phi V_c > V_u \quad = 15830,29 \text{ kN} > 11135,56 \text{ kN} \quad \textbf{(OK)}$$

4.6.6 Perencanaan Tulangan *Pile Cap*

$$\begin{aligned}\text{Tipe pile cap} &= \text{PCF2} \\ \text{Dimensi panjang pile cap (p)} &= 3300 \text{ mm} = 3,3 \text{ m} \\ \text{Dimensi lebar pile cap (l)} &= 3300 \text{ mm} = 3,3 \text{ m} \\ \text{Diameter kolom pendek (c1)} &= 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m} \\ \text{Diameter kolom panjang (c2)} &= 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m} \\ \text{Selimut (sb)} &= 75 \text{ mm} \\ \text{Beban yang diterima (Pu)} &= 18904,55 \text{ kN} = 1927,07 \text{ ton} \\ \text{Jarak antar pile (S)} &= 1700 \text{ mm} \\ \text{Jarak pile cap ke tepi PC} &= 800 \text{ mm} \\ \text{Diameter tulangan, (db)} &= 22 \text{ mm} \\ \text{Jumlah tulangan (ndb)} &= 8 \\ \text{Kuat Tekan beton (fc')} &= 45 \text{ Mpa} \\ \text{Kuat Leleh Tulangan (fy)} &= 420 \text{ Mpa} \\ \text{Tebal pile cap} &= 1200 \text{ mm} \\ \text{Tinggi efektif (d)} &= 1114 \text{ mm} \\ n \text{ pile} &= 4 \text{ pile} \\ \text{Daerah kritis tulangan PC} &= \frac{\text{Dimensi PC}}{2} - \frac{\text{Dimensi Kolom}}{2} \\ &= \frac{3300}{2} - \frac{1000}{2} \\ &= 1150 \text{ mm} = 1,15 \text{ m} \\ \text{Berat sendiri PC (q)} &= \gamma \cdot \text{dimensi PC} \cdot \text{tebal PC} \\ &= 2400 \cdot 3300 \cdot 1200 \cdot 10^{-6}\end{aligned}$$

$$= 9504 \text{ kg/m} = 93,14 \text{ kN/m}$$

Tulangan Pile Cap Bawah Arah X

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimate (Mu)} &= n \cdot \left(\frac{Pu}{n \text{ tiang}} - s \right) - \frac{1}{2} \cdot q \cdot B^2 \\ &= 2 \cdot \left(\frac{18904,5506}{4} - 1700 \right) - \frac{1}{2} \cdot 93,14 \cdot 1,15^2 \\ &= 5990,69 \text{ kNm} = 5990687 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketahanan Rn} &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{5990687}{0,9 \cdot 3300 \cdot 1114^2} \\ &= 0,00163 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p \text{ perlu} &= 0,85 \cdot \frac{f_{c'}}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_{c'}}} \right) \\ &= 0,85 \cdot \frac{45}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,00163}{0,85 \cdot 45}} \right) \\ &= 0,000004 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} p \text{ max} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_{c'}}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{45}{420} \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0342 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai } p \text{ min} = 0,0033$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= p \text{ min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0033 \cdot 3300 \cdot 1114 \\ &= 12254 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot L/S \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 3300/100 \\ &= 12544,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As pasang} > \text{As perlu} = 12544,38 \text{ mm}^2 > 12254 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka dipasang tulangan pile cap bawah arah x D22-100

Tulangan Pile Cap Atas Arah X

$$\begin{aligned}\text{As perlu tulangan atas} &= 20\% \cdot \text{As terpasang tulangan bawah} \\ &= 20\% \cdot 12544,38 \text{ mm}^2 \\ &= 2508,876 \text{ mm}^2 \\ \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot L/S \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 3300/100 \\ &= 6635,04 \text{ mm}^2 \\ \text{As pasang} > \text{As perlu} &= 6635,04 \text{ mm}^2 > 2508,876 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK}) \\ \text{Maka dipasang tulangan pile cap atas arah x D16-100}\end{aligned}$$

Tulangan Pile Cap Bawah Arah Y

$$\begin{aligned}\text{Momen ultimate (Mu)} &= n \cdot \left(\frac{Pu}{n \text{ tiang}} - s \right) - \frac{1}{2} \cdot q \cdot B^2 \\ &= 2 \cdot \left(\frac{18904,5506}{4} - 1700 \right) - \frac{1}{2} \cdot 93,14 \cdot 1,15^2 \\ &= 5990,69 \text{ kNm} = 5990687 \text{ Nmm} \\ \text{Ketahanan Rn} &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} \\ &= \frac{5990687}{0,9 \cdot 3300 \cdot 1114^2} \\ &= 0,001563 \\ p \text{ perlu} &= 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot Rn}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\ &= 0,85 \cdot \frac{45}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,00163}{0,85 \cdot 45}} \right) \\ &= 0,000004 \\ p \text{ min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033 \\ p \text{ max} &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \beta \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot 0,85 \cdot \frac{45}{420} \cdot \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,0342 \\ \text{Dipakai p min} &= 0,0033 \\ \text{As perlu} &= p \text{ min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0033 \cdot 3300 \cdot 1114\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 12254 \text{ mm}^2 \\
 \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot L/S \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \cdot 3300/100 \\
 &= 12544,38 \text{ mm}^2 \\
 \text{As pasang} > \text{As perlu} &= 12544,38 \text{ mm}^2 > 12254 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)} \\
 \text{Maka dipasang tulangan pile cap bawah arah y D22-100}
 \end{aligned}$$

Tulangan Pile Cap Atas Arah Y

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu tulangan atas} &= 20\% \cdot \text{As terpasang tulangan bawah} \\
 &= 20\% \cdot 12544,38 \text{ mm}^2 \\
 &= 2508,876 \text{ mm}^2 \\
 \text{As pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot db^2 \cdot L/S \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 3300/100 \\
 &= 6635,04 \text{ mm}^2 \\
 \text{As pasang} > \text{As perlu} &= 6635,04 \text{ mm}^2 > 2508,876 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)} \\
 \text{Maka dipasang tulangan pile cap atas arah y D16-100}
 \end{aligned}$$

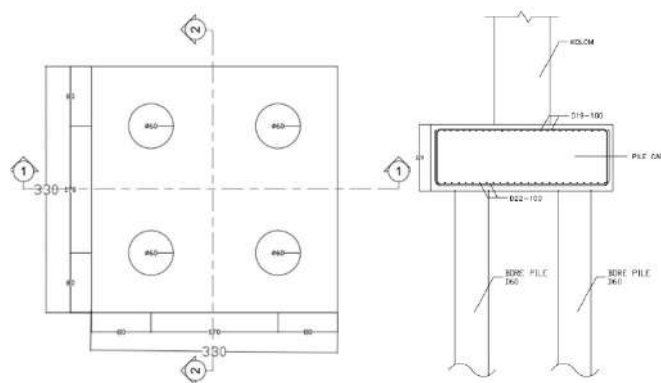
4.6.7 Rekapitulasi Tulangan Pile Cap

Berikut merupakan ringkasan hasil perhitungan tulangan pile cap pada perencanaan tugas akhir ini.

Tabel 4. 33 Rekapitulasi Penulangan Pile Cap

REKAP TULANGAN PILE CAP											
Tipe	db	Dimensi pilecap			n	Arah Tul	Letak Tul	As perlu	As pakai	Tulangan	As pakai > As perlu
		X (cm)	Y (cm)	t (cm)				mm ²	mm ²		
PCF1	60	330	200	120	2	X	Atas	1520,53	4021,24	D16-100	OK
							Bawah	7436,67	7602,65	D22-100	OK
						Y	Atas	2508,88	6635,04	D16-100	OK
							Bawah	12270,5	12544,38	D22-100	OK
PCF2	60	330	330	120	4	X	Atas	2508,88	6635,04	D16-100	OK
							Bawah	12254	12544,38	D22-100	OK
						Y	Atas	2508,88	6635,04	D16-100	OK
							Bawah	12254	12544,38	D22-100	OK
PCF3	60	420	480	120	4	X	Atas	3193,11	8444,6	D16-100	OK
							Bawah	15596	15965,57	D22-100	OK
						Y	Atas	3649,27	9650,97	D16-100	OK
							Bawah	17824	18246,37	D22-100	OK
PCF4	60	460	650	120	8	X	Atas	3497,22	9248,85	D16-100	OK
							Bawah	17081,33	17486,1	D22-100	OK
						Y	Atas	4941,73	13069,03	D16-100	OK
							Bawah	24136,67	24708,63	D22-100	OK
PCF5	60	280	1000	120	8	X	Atas	2128,74	5629,73	D16-100	OK
							Bawah	10397,33	10643,72	D22-100	OK
						Y	Atas	7602,65	20106,19	D16-100	OK
							Bawah	37133,33	38013,27	D22-100	OK

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

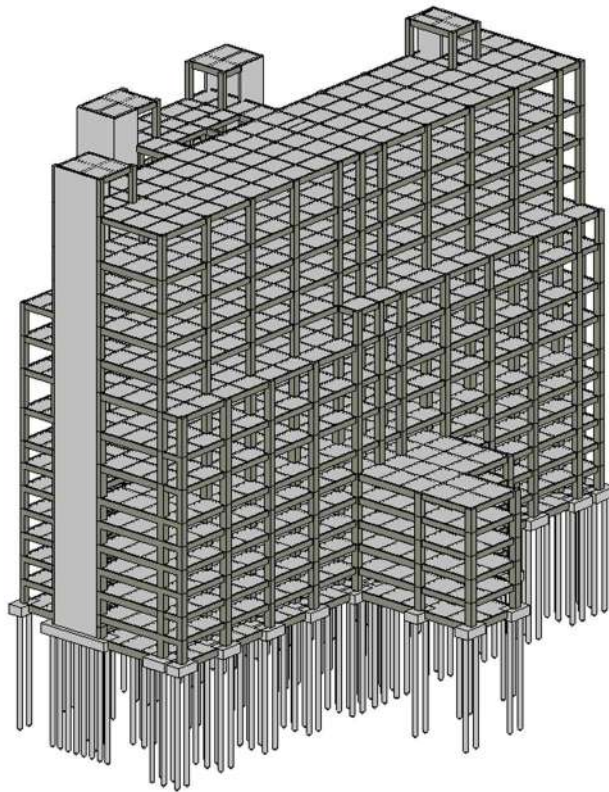


Gambar 4. 12 Detail Penulangan Pilecap dan Borepile F2

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.6 Pemodelan 3D dengan Autodesk Revit

Setelah selesai menghitung kebutuhan tulangan struktur atas dan struktur bawah, maka dilanjutkan dengan memodelkan desain tiga dimensi (3D) dengan bantuan *software* Autodesk Revit. Pemodelan dimulai dari mendesain struktur bagian bawah terlebih dahulu seperti fondasi, *pile cap* dan *tie beam* kemudian dilanjutkan struktur atas seperti balok, pelat, kolom, dan *shear wall*. Berikut ini hasil pemodelan 3D Struktur Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta menggunakan *Autodesk Revit*:



Gambar 4. 13 Pemodelan 3D pada *Autodesk Revit*
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.7 Analisis Quantity Take Off (QTO)

Analisis quantity take off (QTO) atau yang disebut rekapitulasi volume pekerjaan, dilakukan setelah pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit. Rekapitulasi volume pekerjaan dikelompokkan berdasarkan tiap-tiap elemen struktur bangunan, seperti struktur fondasi, *pilecap*, *tie beam*, balok, kolom dan dinding geser. Volume yang diperoleh dari hasil quantity take off (QTO) di *autodesk revit* meliputi volume

bekisting, penulangan (pembesian) dan pengecoran (volume beton). Volume ini yang kemudian dijadikan dasar untuk diolah lebih lanjut dalam pembuatan rencana anggaran biaya (RAB) pada perencanaan Struktur Gedung Rumah Sakit Kasih Ibu Surakarta.

A	B	C
Family and Type	Base Level	Volume
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. Ground	12.03 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. Ground	74.85 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. Ground	40.21 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. 1	12.81 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. 1	20.49 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. 1	3.15 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K5 700/700	Lt. 1	7.30 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P1	10.20 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P1	75.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. P1	40.21 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P1-M	4.73 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P1-M	20.14 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K5 700/700	Lt. P1-M	7.08 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. 2	11.09 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. 2	3.15 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P2	10.20 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P2	75.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. P2	40.21 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P2-M	2.42 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P2-M	20.14 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K5 700/700	Lt. P2-M	7.08 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P3	10.20 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P3	75.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. P3	40.21 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. 3	11.23 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. 3	3.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P3-M	2.42 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P3-M	20.14 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K5 700/700	Lt. P3-M	7.08 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P4	9.96 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P4	75.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. P4	40.21 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K1 1200/1200	Lt. P4-M	13.67 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K2 1000/1000	Lt. P4-M	20.14 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K3 900/900	Lt. P4-M	3.19 m³
M_Concrete-Rectangular-Column: K5 700/700	Lt. P4-M	7.18 m³

Gambar 4. 14 Hasil *Quantity Take Off* (QTO) pada Autodesk Revit
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.8 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan Microsoft Excel

Setelah mendapatkan hasil rekapitulasi volume pekerjaan (QTO) dari autodesk revit, kemudian dilanjutkan dengan perancangan biaya proyek (RAB). RAB didapat dari hasil operasi perhitungan antara volume pekerjaan dikalikan dengan analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) sesuai daerah proyek gedung yaitu Kota Surakarta. AHSP yang digunakan dalam perhitungan RAB ini yaitu AHSP kota Surakarta tahun 2024. Hasil untuk perhitungan RAB yang diperoleh yaitu Rp 83.634.363.000,00 dengan rincian seperti berikut:

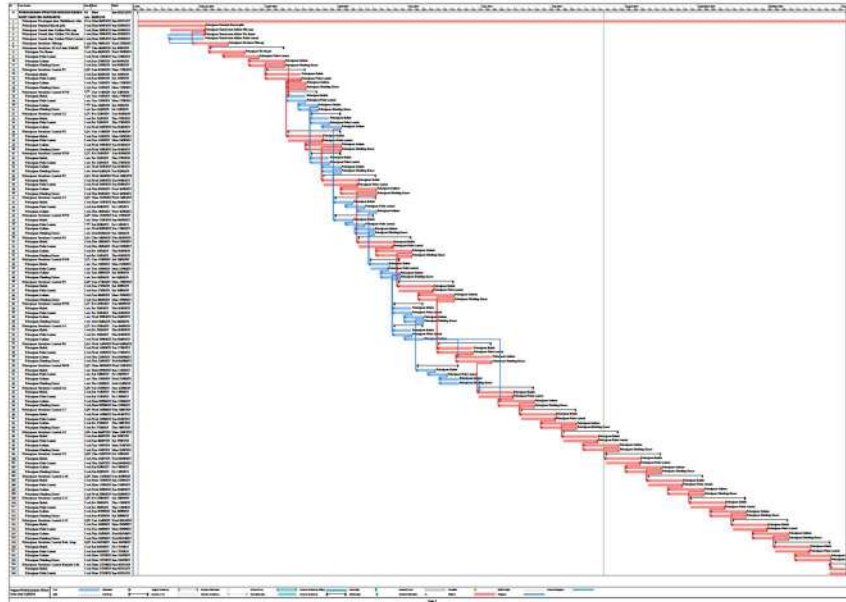
REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA		
PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT KASIH IBU SURAKARTA		
Tahun 2025		
NO	ITEM PEKERJAAN	TOTAL HARGA
1	Pekerjaan Persiapan	250.646.851,23
2	Pekerjaan Pondasi Bored pile	4.297.219.026,12
3	Pekerjaan Tanah dan Galian Pile cap	166.652.154,71
4	Pekerjaan Tanah dan Galian Tie Beam	204.963.559,67
5	Pekerjaan Tanah dan Galian Pelat Lantai	209.158.701,80
6	Pekerjaan Struktur Pilecap	2.722.058.691,58
7	Pekerjaan Struktur Lantai Parkir	32.655.870.595,97
8	Pekerjaan Struktur Lantai L6	4.680.542.847,42
9	Pekerjaan Struktur Lantai L7	5.663.380.267,43
10	Pekerjaan Struktur Lantai L8	4.910.107.656,73
11	Pekerjaan Struktur Lantai L9	4.307.300.483,36
12	Pekerjaan Struktur Lantai L10	3.941.987.334,40
13	Pekerjaan Struktur Lantai L11	3.864.467.167,50
14	Pekerjaan Struktur Lantai L12	4.318.003.630,16
15	Pekerjaan Struktur Lantai Dak Atap	2.957.796.504,83
16	Pekerjaan Struktur Lantai Rumah Lift	196.117.589,48
TOTAL		75.346.273.062,39
PPN (11%)		8.288.090.036,86
TOTAL RAB PEMBANGUNAN RSKI		83.634.363.099,26
PEMBULATAN RAB		83.634.363.000,00
Terbilang : Delapan Puluh Tiga Miliar Enam Ratus Tiga Puluh Empat Juta Tiga Ratus Enam Puluh Tiga Ribu Rupiah		

Gambar 4. 15 Rekapitulasi RAB
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.9 Penyusunan *Time Schedule* dengan Microsoft Project

Penjadwalan proyek disusun dengan menentukan nilai bobot tiap pekerjaan yang mengacu pada hasil RAB dengan cara harga tiap-tiap pekerjaan dibagi dengan total harga pekerjaan. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan durasi waktu tiap pekerjaan sehingga diperoleh kurva S rencana yang menjadi pedoman dalam pembuatan time line di microsoft project. Pada microsoft project diperoleh time line yang lebih akurat dengan menampilkan durasi waktu lengkap dengan stat date hingga finish, lintasan kritis (*critical path*), serta kurva s biaya pada menu *cash flow*. Pada perencanaan ini diperoleh total durasi 43 minggu dengan jumlah jam bekerja 12 jam/hari. Estimasi waktu pekerjaan dilaksanakan selama 7 hari kerja

dalam seminggu dengan total jam kerja per hari puku 08.00-12.00, 13.00-18.00, 19.00-22.00 WIB. Berikut ini penyusunan time schedule pada perencanaan ini :



Gambar 4. 16 Time Schedule Pada Microsoft Project
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

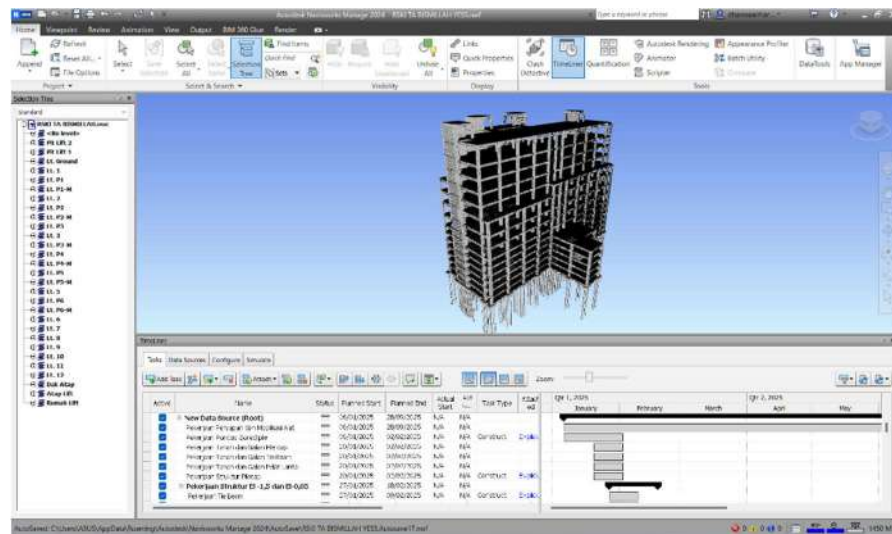


Gambar 4. 17 Cash Flow dan Kurva S pada Microsoft Project
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

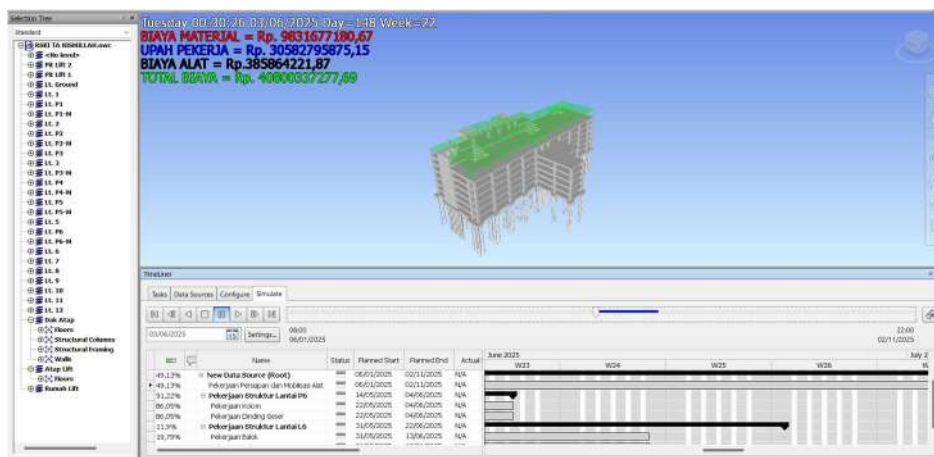
4.10 Integrasi BIM 5D

Integrasi BIM 5D menggunakan Navisworks, menggabungkan tiga komponen utama proyek yaitu desain 3D, penjadwalan, dan biaya menjadi satu sistem yang saling terhubung. Model tiga dimensi yang dibuat di autodesk revit menjadi fondasi visual, lengkap dengan data teknis tiap komponen bangunan. Sementara itu, jadwal pelaksanaan dari Microsoft Project diimpor ke dalam Navisworks dan disesuaikan dengan elemen dalam model, sehingga dapat divisualisasikan dalam urutan waktu

(4D). Langkah berikutnya adalah mengaitkan data biaya dari RAB ke komponen pekerjaan, sehingga menghasilkan simulasi 5D yang menggambarkan perkembangan biaya seiring waktu. Berdasarkan simulasi 5D, hasil yang didapatkan berupa total jangka waktu seluruh pekerjaan yakni 43 minggu dan jumlah biaya keseluruhan yakni Rp 75.346.273.062,00. Berikut ini hasil visualisasi BIM 5D pada perencanaan ini :



Gambar 4. 18 Input Time Liner dan Cost Estimation kedalam Autodesk Navisworks
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 19 Simulasi BIM 5D di Autodesk Navisworks
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)