

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Penentuan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen

Berikut ini merupakan hasil analisa penentuan metode *system* rangka pemikul momen struktur Gedung 2 RS Hermina Banyumanik berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

4.1.1. Kategori Risiko Struktur dan Faktor Keutamaan Gempa

Objek perencanaan Tugas Akhir ini memiliki fungsi sebagai rumah sakit. Berikut di bawah ini pada Tabel 4.1. menampilkan kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

Tabel 4. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas Kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
---	--

(Sumber : Tabel 3 SNI 1726:2019, 2019)

Berdasarkan Tabel 4.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa, Gedung 2 RS Hermina Banyumanik dikategorikan sebagai gedung dengan kategori risiko tingkat IV.

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.2. menampilkan faktor keutamaan gempa.

Tabel 4. 2 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber : Tabel 4 SNI 1726:2019, 2019)

Berdasarkan Tabel 4.2 Faktor Keutamaan Gempa, kategori risiko tingkat IV memiliki faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,50.

4.1.2. Klasifikasi Situs Berdasarkan Hasil Uji SPT

Uji SPT pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik dilakukan di 3 titik. Berikut di bawah ini pada Tabel 4.3. merupakan hasil pengujian SPT titik BH1.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian dan Perhitungan SPT BH1

No	Kedalaman (m)	T (m)	N BH1	N' = T/N
1.	2	2	10	0,2
2.	4	2	11	0,182
3.	6	2	6	0,333
4.	8	2	7	0,286
5.	10	2	13	0,154
6.	12	2	60	0,033
7.	13,5	1,5	60	0,025
8.	15	1,5	60	0,025
9.	16,5	1,5	60	0,025
10.	18	1,5	60	0,025
11.	20	2	60	0,033
Total		20	407	1,321

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

$$N_{BH1} = \frac{\sum T}{\sum N'}$$

$$N_{BH1} = \frac{20}{1,321}$$

$$N_{BH1} = 15,136$$

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.4. merupakan hasil pengujian SPT titik BH2.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian dan Perhitungan SPT BH 2

No	Kedalaman (m)	T (m)	N BH2	N' = T/N
1.	2	2	4	0,5
2.	4	2	4	0,5
3.	6	2	5	0,4
4.	8	2	2	1
5.	10	2	7	0,286

6.	11,5	1,5	60	0,025
7.	13	1,5	60	0,025
8.	14,5	1,5	60	0,025
9.	16	1,5	60	0,025
10.	18	2	60	0,033
11.	20	2	60	0,033
Total		20	382	2,852

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

$$N_{BH2} = \frac{\sum T}{\sum N'}$$

$$N_{BH2} = \frac{20}{2,852}$$

$$N_{BH2} = 7,012$$

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.5. merupakan hasil pengujian SPT titik BH3.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian dan Perhitungan SPT BH3

No	Kedalaman (m)	T (m)	N BH3	N' = T/N
1.	2	2	9	0,222
2.	4	2	8	0,25
3.	6	2	7	0,286
4.	8	2	4	0,5
5.	10	2	60	0,033
6.	12	2	8	0,25
7.	14	2	25	0,08
8.	15,5	1,5	60	0,025
9.	17	1,5	60	0,025
10.	18,5	1,5	60	0,025
11.	20	1,5	60	0,025
Total		20	361	1,721

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

$$N_{BH3} = \frac{\sum T}{\sum N'}$$

$$N_{BH3} = \frac{20}{1,721}$$

$$N_{BH3} = 11,619$$

Dari hasil nilai N pada ketiga titik tersebut dapat dihitung nilai N rata-rata seperti dibawah ini.

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N_{BH1} + N_{BH2} + N_{BH3}}{3}$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{15,136 + 7,012 + 11,619}{3}$$

$$N \text{ rata-rata} = \frac{33,767}{3}$$

$$N \text{ rata-rata} = 11,256$$

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.6. menampilkan klasifikasi situs.

Tabel 4. 6 Klasifikasi Situs

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

respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ kPa
---	---

(Sumber : Tabel 5 SNI 1726:2019, 2019)

Berdasarkan Tabel 4.6 Klasifikasi Situs, nilai N rata-rata = 11,256 termasuk ke dalam kategori kelas situs SE (Tanah Lunak).

4.1.3. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik (KDS) diidentifikasi berdasarkan parameter respons percepatan *spectral* pada periode pendek (S_{DS}) dan parameter respons percepatan *spectral* pada periode 1 detik (S_{D1}). Nilai S_{DS} dan S_{D1} didapat dari *website* Desain Spektra Indonesia yang disediakan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Berikut pada Gambar 4.1. adalah hasil Spektrum Respon Desain untuk wilayah Kota Semarang dengan kelas situs SE (Tanah Lunak).

T0(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
0.18	0.89	0.71	0.63

Gambar 4. 1 Hasil Spektrum Respon Desain
(Sumber : RSA Cipta Karya, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.1 Hasil Spektrum Respon Desain diperoleh nilai S_{DS} yaitu 0,71 g dan nilai S_{D1} yaitu 0,63 g.

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.7. menampilkan kategori desain seismik berdasarkan parameter S_{DS} .

Tabel 4. 7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

(Sumber : Tabel 8 SNI 1726:2019, 2019)

Berikut di bawah ini pada Tabel 4.8. menampilkan kategori desain seismik berdasarkan parameter S_{DI} .

Tabel 4. 8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

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

(Sumber : Tabel 9 SNI 1726:2019, 2019)

Berdasarkan Tabel 4.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek, diperoleh KDS D. Sedangkan berdasarkan Tabel 4.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik, diperoleh KDS D. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa KDS pada proyek Gedung 2 RS Hermina Banyumanik adalah KDS D.

4.1.4. Penentuan Metode Sistem Pemikul

Penentuan metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) berdasarkan pada Kategori Desain Seismik (KDS). Berikut di bawah ini pada Tabel 4.9. menampilkan jenis metode SRPM yang dapat digunakan berdasarkan KDS.

Tabel 4. 9 Jenis Metode SRPM yang Dapat Digunakan Berdasarkan KDS

Kategori Desain Seismik	Jenis Metode yang Dapat Digunakan
KDS B	• SRPMB • SRPMM • SRPMK
KDS C	• SRPMM • SRPMK
KDS D	• SRPMK

(Sumber : DM Atmana, 2018)

Berdasarkan Tabel 4.9 Jenis Metode SRPM yang Dapat Digunakan Berdasarkan KDS, dapat disimpulkan proyek Gedung 2 RS Hermina Banyumanik menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

4.2. Preliminary Design Struktur Atas

Sebelum pembuatan desain pada suatu perencanaan proyek konstruksi dilakukan tahap *preliminary design* untuk mendapatkan perkiraan dimensi struktur atas. Preliminary design pada perencanaan ini mengacu pada SNI 2847:2019.

4.2.1. Preliminary Design Pelat

Berikut merupakan data preliminary design pelat sebagai dasar acuan perencanaan ulang ini.

Tipe Pelat	= S1
Mutu Beton (f'_c)	= 25 MPa
Mutu Tulangan (f_y)	= 420 MPa
L_y	= 5,5 m
L_x	= 5,375 m

4.2.1.1. Penentuan Jenis Pelat

Penentuan jenis pelat didasarkan pada panjang bentang L_y dan L_x . Pelat dikatakan satu arah apabila $\frac{L_y}{L_x} > 2$, sedangkan pelat dua arah harus memenuhi syarat $\frac{L_y}{L_x} \leq 2$.

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{5,5}{5,375} = 1,023 \leq 2$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka pelat S1 dikategorikan sebagai pelat dua arah (*two way slab*).

4.2.1.2. Penentuan Tebal Pelat

Berdasarkan Tabel 8.3.1.1 SNI 2847:2019 maka direncanakan pelat dua arah tanpa drop panel sebagai berikut:

$$h = \frac{L_x}{33} = \frac{5,375}{33} = 16,288 \text{ cm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka digunakan ketebalan pelat rencana sebesar 17 cm.

Setelah merencanakan ketebalan pelat, selanjutnya adalah pengecekan terhadap tebal minimum pelat. Untuk mendapatkan tebal minimum pelat dibutuhkan nilai rata-rata rasio kekakuan penampang sekitar pelat lantai (α_m).

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}}$$

$$I_{\text{balok}} = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{L_x \times t^3}{12}$$

$$\text{Dimana } k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right) \times \left(4 - 6 \times \left(\frac{b_e}{b_w}\right) + 4 \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)^3\right)}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h_w}\right)}$$

Pelat S1 ditumpu oleh 4 balok dengan masing-masing dimensi sebagai berikut:

Dimensi Balok X1 = 450 × 900 mm

Dimensi Balok X2 = 450 × 900 mm

Dimensi Balok Y1 = 300 × 700 mm

Dimensi Balok Y2 = 300 × 700 mm

Dibawah ini merupakan perhitungan α yang ditampilkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Penentuan nilai α pada plat S1

Penampang	h (cm)	bw (cm)	be (cm)	k balok	I balok (cm ²)	I pelat (cm ⁴)	α
X1	90	45	181	1,738	4750237,976	220061,458	21,586
X2	90	45	181	1,738	4750237,976	220061,458	21,586
Y1	70	30	136	1,845	1581947,488	220061,458	7,189
Y2	70	30	136	1,845	1581947,488	220061,458	7,189

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{21,586 + 21,586 + 7,189 + 7,189}{4} = 14,387$$

Berdasarkan Tabel 8.3.1.2 SNI 2847:2019 untuk nilai $\alpha_{fm} > 2,0$ maka h minimum merupakan nilai terbesar dari:

$$h_{\min 1} = \frac{L_n \times \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta} = \frac{505 \times \left(0,8 + \frac{420}{1400}\right)}{36 + 9 \times 1,023} = 12,287 \text{ cm}$$

$$h_{\min 2} = 9 \text{ cm}$$

Maka h min yang diambil adalah sebesar 12,287 cm.

Syarat, h rencana > h min

$$17 \text{ cm} > 12,287 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Digunakan **h S1 = 17 cm**.

4.2.1.3. Rekapitulasi Dimensi Pelat

Rekapitulasi dimensi pelat pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Dimensi Pelat Lantai

Tipe Plat	Letak	Ly (cm)	Lx (cm)	α_{fm}	h min 1 (cm)	h min 2 (cm)	h (cm)	h > h min
S1	Lt 1	550	537,5	14,387	12,287	9	17	OK
S2	Lt 2 - Lt Atap	550	350	28,713	11,407	9	12,5	OK

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.2.2. Preliminary Design Balok

4.2.2.1. Preliminary Design Balok Induk

Tinggi dan lebar balok induk yang direncanakan adalah sebagai berikut.

$$h = \frac{L}{12}$$

$$b = \frac{h}{2}$$

4.2.2.1.1. Penentuan Dimensi Balok Induk

Berikut merupakan data *preliminary design* balok induk 5 (B5) sebagai dasar acuan perencanaan ulang ini.

Tipe Balok = B5

Bentang Balok = 1000 cm

Dengan bentang balok seperti diatas, maka direncanakan dimensi B5 adalah sebagai berikut.

$$h = \frac{L}{12} = \frac{1000}{12} = 83,33 \approx 90 \text{ cm}$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{83,33}{2} = 41,67 \approx 45 \text{ cm}$$

Setelah merencanakan tinggi dan lebar balok, selanjutnya adalah pengecekan terhadap tinggi dan lebar efektif dengan syarat sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.2.1 yaitu sebagai berikut.

1) $L_n > 4d$

$$L - \frac{h}{2} - \frac{h}{2} > 4 \times (h - \text{selimut beton} - \phi \text{ tul. sengkang} - \frac{\phi \text{ tul. utama}}{2})$$

$$1000 - \frac{90}{2} - \frac{90}{2} > 4 \times (90 - 5 - 1,3 - \frac{2,5}{2})$$

$$910 \text{ mm} > 329,8 \text{ mm} \text{ OK}$$

2) $b \geq 250 \text{ mm}$

$$450 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \text{ OK}$$

3) $b \geq 0,3h$

$$450 > 0,3 \times 900$$

$$450 \text{ mm} > 270 \text{ mm} \text{ OK}$$

Digunakan **h B5 = 90 cm** dan **b B5 = 45 cm**.

4.2.2.1.2. Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Rekapitulasi dimensi balok induk pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

No	Bentang (cm)	Dimensi (cm)				Tipe Balok Realisasi
		Tinggi Kebutuhan	Lebar Kebutuhan	Tinggi Realisasi	Lebar Realisasi	
1	650	54,17	27,08	70	30	B1 30X70
2	800	66,67	33,33	70	40	B2 40X70
3	1350	112,5	56,25	120	60	B3 60X120
4	340	28,33	14,17	30	25	B4 25X30
5	1000	83,33	41,67	90	45	B5 45X90
6	157,5	13,13	6,56	30	30	B6 30X30
7	1250	104,17	52,08	105	55	B7 55X105

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.2.2.1.3. Pengecekan Syarat Tinggi dan Lebar Efektif Balok Induk

Pengecekan syarat terhadap tinggi dan lebar efektif balok induk pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Pengecekan Syarat Tinggi dan Lebar Balok Induk

No	Bentang (cm)	Tipe Balok	b (cm)	h (cm)	Ln (cm)	d (cm)	Syarat Tinggi Efektif	Syarat Lebar Efektif
1	650	B1 30X70	30	70	580	62,45	OK	OK
2	800	B2 40X70	40	70	730	62,45	OK	OK
3	1350	B3 60X120	60	120	1230	112,45	OK	OK
4	340	B4 25X30	25	30	310	22,45	OK	OK
5	1000	B5 45X90	45	90	910	82,45	OK	OK
6	157,5	B6 30X30	30	30	127,5	22,45	OK	OK
7	1250	B7 55X105	55	105	1145	97,45	OK	OK

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.2.2.2. Preliminary Design Balok Anak

Tinggi dan lebar balok anak yang direncanakan adalah sebagai berikut.

$$h = \frac{L}{16}$$

$$b = \frac{h}{2}$$

4.2.2.2.1. Penentuan Dimensi Balok Anak

Berikut merupakan data *preliminary design* balok anak 3 (ba3) sebagai dasar acuan perencanaan ulang ini.

Tipe Balok = ba3

Bentang Balok = 1000 cm

Dengan bentang balok seperti diatas, maka direncanakan dimensi b3 adalah sebagai berikut.

$$h = \frac{L}{16} = \frac{1000}{16} = 62,5 \approx 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{62,5}{2} = 31,25 \approx 40 \text{ cm}$$

Setelah merencanakan tinggi dan lebar balok, selanjutnya adalah pengecekan terhadap tinggi dan lebar efektif dengan syarat sebagai berikut.

$$1) \quad L_n > 4d$$

$$L - \frac{h}{2} - \frac{h}{2} > 4 \times (h - \text{selimut beton} - \phi \text{ tul. sengkang} - \frac{\phi \text{ tul. utama}}{2})$$

$$1000 - \frac{70}{2} - \frac{70}{2} > 4 \times (70 - 5 - 1,3 - \frac{2,5}{2})$$

$$930 \text{ cm} > 249,8 \text{ cm} \text{ OK}$$

$$2) \quad b \geq 250 \text{ mm}$$

$$400 \text{ cm} > 250 \text{ cm} \text{ OK}$$

$$3) \quad b \geq 0,3h$$

$$400 \geq 0,3 \times 700$$

$$400 \text{ mm} \geq 210 \text{ mm} \text{ OK}$$

Digunakan **h ba3 = 70 cm** dan **b ba3 = 40 cm**.

4.2.2.2.2. Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Rekapitulasi dimensi balok anak pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

No	Bentang (cm)	Dimensi (cm)				Tipe Balok Realisasi
		Tinggi Kebutuhan	Lebar Kebutuhan	Tinggi Realisasi	Lebar Realisasi	
1	800	50	25	70	30	ba1 30X70
2	800	50	25	50	25	ba2 25X50
3	1000	62,5	31,25	70	40	ba3 40X70
4	157,5	9,84	4,92	30	30	ba4 30X30

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.2.2.2.3. Pengecekan Syarat Tinggi dan Lebar Balok Anak

Pengecekan syarat terhadap tinggi dan lebar efektif balok anak pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Pengecekan Syarat Terhadap Tinggi dan Lebar Balok Anak

No	Bentang (cm)	Tipe Balok	b (cm)	h (cm)	Ln (cm)	d (cm)	Syarat Tinggi Efektif	Syarat Lebar Efektif
1	800	ba1 30X70	30	70	730	62,45	OK	OK
2	800	ba2 25X50	25	50	750	42,45	OK	OK
3	1000	ba3 40X70	40	70	930	62,45	OK	OK
4	157,5	ba4 30X30	30	30	127,5	22,45	OK	OK

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.2.3. Preliminary Design Kolom

Berikut merupakan data *preliminary design* kolom 2 (K2) sebagai dasar acuan perencanaan ulang ini.

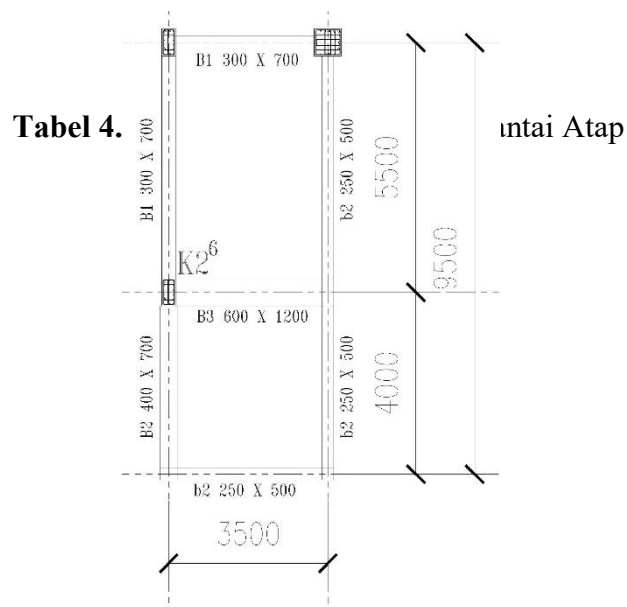
Tipe Kolom	= K2
Lokasi yang ditinjau	= As A-3
Tinggi kolom (H)	= 3800 mm
Mutu beton (f'_c)	= 35 MPa
Mutu tulangan (f_y)	= 420 MPa

4.2.3.1. Analisis Pembebanan Pada Kolom

Analisis pembebanan pada kolom dilakukan untuk memperkirakan ukuran dan kapasitas kolom dalam menahan beban, yaitu beban mati (*Dead Load/DL*), beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load/SDL*), dan beban hidup (*Live Load/LL*).

4.2.3.1.1. Analisis Pembebanan pada Lantai Atap

Dibawah ini merupakan Gambar 4.2. yang menampilkan lokasi K2 yang ditinjau pada lantai atap.



Gambar 4. 2 Lokasi K2
pada Lantai Atap

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Perhitungan beban mati tambahan pada lantai atap ditampilkan pada Tabel 4.16. dibawah ini.

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
Hujan, t = 4 cm	0,04	3.5	9.5	1000	1330
Waterproofing		3.5	9.5	28	931
Spesi, t = 3 cm		3.5	9.5	63	2094.75
Plafon		3.5	9.5	11	365.75

Rangka plafon		3.5	9.5	7	232.75
Ducting + ME		3.5	9.5	25	831.25
Plumbing + Hydrant		3.5	9.5	20	665
Dinding parapet	1,8			250	450
Σ SDL					6900,5

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban mati pada lantai atap ditampilkan pada Tabel 4.17. dibawah ini.

Tabel 4. 17 Beban Mati Pada Lantai Atap

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
Pelat Atap	0.125	9.5	3.5	2400	9975
B1	0.3	0.7	9	2400	4536
B2	0.4	0.7	4	2400	2688
B3	0.6	1.2	3.5	2400	6048
ba2	0.25	0.5	13	2400	3900
Σ DL					27147

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban hidup pada lantai atap ditampilkan pada Tabel 4.18. dibawah ini.

Tabel 4. 18 Beban Hidup Pada Lantai Atap

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Jumlah Pelat	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ²)	Berat (kg)
Pelat Atap	1	9,5	3,5	100	3325
Σ LL					3325

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Kombinasi Pembebanan 1

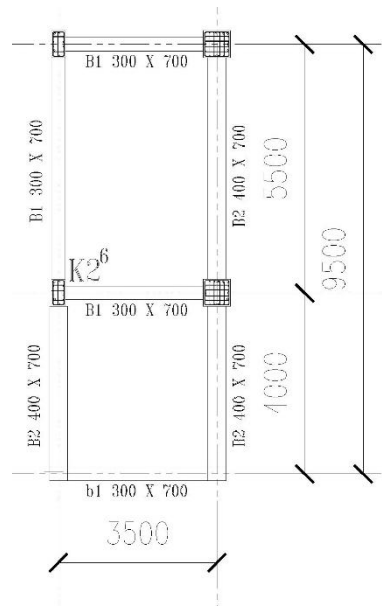
$$P_u = 1,4 \times DL = 1,4 \times 27147 = 38005,8 \text{ kg}$$

Kombinasi Pembebanan 2

$$P_u = 1,2 \text{ } SDL + 1,6 \text{ } LL = 1,2 \times 6900,5 + 1,6 \times 3325 = 13600,6 \text{ kg}$$

4.2.3.1.2. Analisis Pembebanan pada Lantai 2-6

Dibawah ini merupakan Gambar 4.3. yang menampilkan lokasi K2 yang ditinjau pada lantai 2-6.



Gambar 4. 3 Lokasi K2
pada Lantai 2-6

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Perhitungan beban mati tambahan pada lantai 2-6 ditampilkan pada Tabel 4.19. dibawah ini.

Tabel 4. 19 Beban Mati Tambahan Lantai 2-6

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
Spesi, t = 3 cm		3.5	9.5	63	2094.75
Keramik		3.5	9.5	24	798
Dinding, t = 3,8 m	3.8			300	1140
Plafon		3.5	9.5	11	365.75
Rangka plafon		3.5	9.5	7	232.75

Ducting + ME		3.5	9.5	25	831.25
Plumbing + Hydrant		3.5	9.5	20	665
Sanitasi		3.5	9.5	20	665
Dinding parapet	1.8			250	450
Σ SDL (satu lantai)					7242,5
Σ SDL (total banyak lantai)					36212,5

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban mati pada lantai 2-6 ditampilkan pada Tabel 4.20. dibawah ini.

Tabel 4. 20 Beban Mati Pada Lantai 2-6

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
Pelat Atap	0.125	9.5	3.5	2400	9975
B1	0.3	0.7	12.5	2400	6300
B2	0.4	0.7	13.5	2400	9072
ba1	0.3	0.7	3.5	2400	1764
Σ DL (satu lantai)					27111
Σ DL (total banyak lantai)					135555

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban hidup pada lantai 2-6 ditampilkan pada Tabel 4.21. dibawah ini.

Tabel 4. 21 Beban Hidup Pada Lantai 2-6

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Jumlah Pelat	Lebar (m)	Panjang (m)	Beban (kg/m ²)	Berat (Kg)
Pelat Atap	5	9,5	3,5	250	41562,5
Σ LL					41562,5

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Kombinasi Pembebanan 1

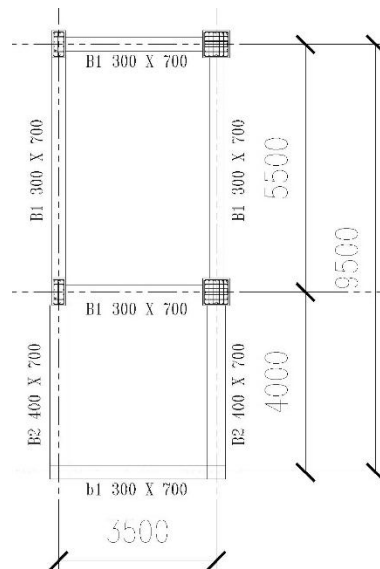
$$P_u = 1,4 \times DL = 1,4 \times 135555 = 189777 \text{ kg}$$

Kombinasi Pembebanan 2

$$P_u = 1,2 \text{ SDL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times 36212,5 + 1,6 \times 41562,5 = 109955 \text{ kg}$$

4.2.3.1.3. Analisis Pembebanan pada Lantai 1

Dibawah ini merupakan Gambar 4.4. yang menampilkan lokasi K2 yang ditinjau pada lantai 1.



Gambar 4. 4 Lokasi K2
pada Lantai 1

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Perhitungan beban mati tambahan pada lantai 1 ditampilkan pada Tabel 4.22. dibawah ini.

Tabel 4. 22 Beban Mati Tambahan Lantai 1

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ²)	Berat (kg)
Tanah Lunak		3.5	9.5	2000	66500
Σ SDL					66500

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban mati pada lantai 1 ditampilkan pada Tabel 4.23. dibawah ini.

Tabel 4. 23 Beban Mati Pada Lantai 1

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Tinggi (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	Berat (kg)
Pelat Atap	0.17	9.5	3.5	2400	13566
B1	0.3	0.7	18	2400	9072
B2	0.4	0.7	8	2400	5376
ba1	0.3	0.7	3.5	2400	1764
Σ DL					29778

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Perhitungan beban hidup pada lantai 1 ditampilkan pada Tabel 4.24. dibawah ini.

Tabel 4. 24 Beban Hidup Pada Lantai 1

Beban	Perhitungan Pembebanan				
	Jumlah Pelat	Lebar (m)	Panjang (m)	Beban (kg/m ²)	Berat (Kg)
Parkir	1	9,5	3,5	800	26600
Σ LL					26000

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

Kombinasi Pembebanan 1

$$P_u = 1,4 \times DL = 1,4 \times 29778 = 41689,2 \text{ kg}$$

Kombinasi Pembebanan 2

$$P_u = 1,2 \text{ SDL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times 66500 + 1,6 \times 26600 = 122360 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ (akibat DL struktur)} &= 38005,8 + 189777 + 41689,2 \\ &= 269472 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ (akibat SDL struktur)} &= 13600,6 + 109955 + 122360 \\ &= 245915,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \text{ (beban aksial total)} &= 269472 + 245915,6 \\ &= 515387,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$A = \frac{Pu}{\phi \times f'c} = \frac{515387,6}{0,3 \times 350} = 4908,45 \text{ cm}^2$$

$$b \text{ min} = \sqrt{A} = \sqrt{4908,45} = 70,06 \text{ cm}$$

$$b \text{ pakai} = 75 \text{ cm}$$

Dengan hasil berikut maka direncanakan dimensi K2 yaitu h x b adalah 75 cm x 75 cm.

4.2.3.2. Rekapitulasi Dimensi Kolom

Rekapitulasi dimensi kolom pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Dimensi Kolom

No	Pu (kg)	A (cm ²)	b min (cm)	b pakai (cm)	Tipe Kolom
1	1078528	10271,7	101	105	K1 105X105
2	515387,6	4908,45	70,06	75	K2 75X75
3	71544,24	681,37	26,1	55	K3 55X55
4	67289,14	640,85	25,32	30	K4 30X30

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.3. Hasil Analisis Pembebanan Struktur

4.3.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati juga disebut sebagai beban permanen atau statis merupakan beban utama yang berasal dari berat struktur bangunan itu sendiri dan nilainya relatif tetap saat bangunan dalam keadaan diam maupun selama waktu berjalan. Beban mati pada perencanaan ulang struktur ini merupakan beban struktur itu sendiri yang nantinya dikalkulasikan otomatis dengan software analisis struktur yaitu software Autodesk RSAP.

Berikut merupakan data analisis beban mati tambahan berdasarkan SNI 1727:2020 pada perencanaan ulang Gedung 2 RS Hermina Banyumanik :

a. Beban Mati Tambahan Terdistribusi pada Pelat Atap

Dibawah ini merupakan Tabel 4.26. yang menampilkan perhitungan beban mati tambahan yang terdistribusi pada pelat atap.

Tabel 4. 26 Beban Mati Tambahan Terdistribusi Pelat Atap

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Air hujan (t = 4 cm)	0.4
Waterproofing	0.07
Spesi (t = 2 cm)	0.42
Rangka + plafon	0.18
Ducting + ME	0.25
Plumbing + Hydrant	0.2
ΣSDL	1.52

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

b. Beban Mati Tambahan Terdistribusi pada Pelat Lantai 2-6

Dibawah ini merupakan Tabel 4.27. yang menampilkan perhitungan beban mati tambahan yang terdistribusi pada pelat lantai 2-6.

Tabel 4. 27 Beban Mati Tambahan Terdistribusi Pelat Lantai 2-6

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Spesi (t = 2 cm)	0.42
Keramik (t = 1 cm)	0.24
Rangka + plafon	0.18
Ducting + ME	0.25
Sanitasi	0.2
Plumbing + Hydrant	0.2
ΣSDL	1.49

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

c. Beban Mati Tambahan Terdistribusi pada Pelat Lantai 1

Dibawah ini merupakan Tabel 4.28. yang menampilkan perhitungan beban mati tambahan yang terdistribusi pada pelat lantai 1.

Tabel 4. 28 Beban Mati Tambahan Terdistribusi Pelat Lantai 1

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Rangka + plafon	0.18
Ducting + ME	0.25

Plumbing + Hydrant	0.2
Sanitasi	0.2
Σ SDL	0.83

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

d. Beban Mati Tambahan Terdistribusi pada Balok Kantilever

Dibawah ini merupakan Tabel 4.29. yang menampilkan perhitungan beban mati tambahan yang terdistribusi pada balok kantilever.

Tabel 4. 29 Beban Mati Tambahan Terdistribusi Balok Kantilever

Jenis Beban	Berat (kN/m)
Dinding parapet (t = 1,8 m)	4,5
Σ SDL	4,5

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

e. Beban Mati Tambahan Terdistribusi pada Balok

Dibawah ini merupakan Tabel 4.30. yang menampilkan perhitungan beban mati tambahan yang terdistribusi pada balok.

Tabel 4. 30 Beban Mati Tambahan Terdistribusi Balok

Jenis Beban	Berat (kN/m ²)
Bata hebel	2,47
Plester	0,0076
Acian	0,000228
Σ SDL	2,48

(Sumber : Analisis Penulis, 2025)

4.3.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang tidak permanen, adanya beban ini akibat aktivitas penghuni, penggunaan bangunan, serta benda-benda yang bisa dipindahkan selama masa penggunaan bangunan.

Berdasarkan SNI 1727:2020 beban hidup pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik antara lain :

a. Beban Hidup Plat Lantai Atap

- Lantai Atap = 1 kN/m²
- b. Beban Hidup Plat Lantai 2-6
Ruang Rumah Sakit = 2,5 kN/m²
- c. Beban Hidup Plat Lantai 1
Ruang Parkir = 8 kN/m²

4.3.3. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin merupakan gaya yang timbul akibat tekanan udara yang mengenai permukaan bangunan struktur. Perencanaan beban angin berdasarkan SNI 1727-2020 bertujuan untuk memastikan struktur tersebut mampu menahan gaya lateral yang ditimbulkan oleh angin sehingga tidak terjadi keruntuhan atau deformasi berlebihan.

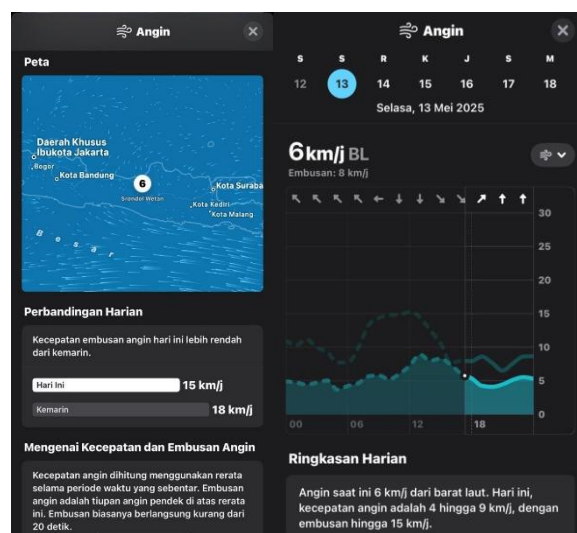
Berikut merupakan langkah-langkah perencanaan beban angin pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik :

1. Menentukan kategori risiko

Sesuai standar SNI 1727:2019, bangunan ini merupakan rumah sakit serta dikelompokkan ke dalam kategori risiko IV melihat statusnya sebagai fasilitas penting dan tingkat risiko yang tinggi.

2. Menetapkan Kecepatan Angin

Berdasarkan informasi diatas pada tanggal 13 Mei 2025, kecepatan angin di Srandol Wetan mencapai 15 km/jam atau 4,167 m/s yang nantinya nilai tersebut diinput kedalam software Autodesk RSAP untuk dihitung secara otomatis.



Gambar 4. 5 Kecepatan Angin di Kota Semarang
(Sumber : *Iphone Weather App*, 2025)

4.3.4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Perhitungan beban gempa dalam perencanaan ini berdasarkan pada SNI 1726:2019, analisis beban gempa merupakan tahapan penting dalam perancangan struktur bangunan. Perencanaan ulang ini menerapkan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sebagai penahan gaya gempa utama yang sudah disesuaikan berdasarkan Kategori Desain Seismik (KDS). Berikut merupakan Tabel 4.31. yang menampilkan faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik yang nantinya nilai tersebut diinput untuk menghitung beban gempa pada software Autodesk RSAP.

Tabel 4. 31 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Rangka Pemikul Momen

C.	Sistem rangka pemikul momen	R	Ω_0	Cd	h_n (m)				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D	E	F
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TI
3	Rangka baja pemikul momen menengah	$4\frac{1}{2}$	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4	Rangka baja pemikul momen biasa	$3\frac{1}{2}$	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5	Rangka beton bertulang pemikul momen khususm	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
6	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
7	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

(Sumber : Tabel 12 SNI 1726:2019, 2019)

Koefisien modifikasi respons (R) = 8

Faktor kuat lebih sistem (Ω_0) = 3

$$\text{Faktor pembesaran defleksi (Cd)} = 5,5$$

4.3.5. Kombinasi Pembebanan

Analisis struktur atas menggunakan perhitungan terhadap beberapa jenis beban, khususnya beban gempa yang akan ditinjau secara analisis gempa statis maupun analisis gempa dinamis. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur :

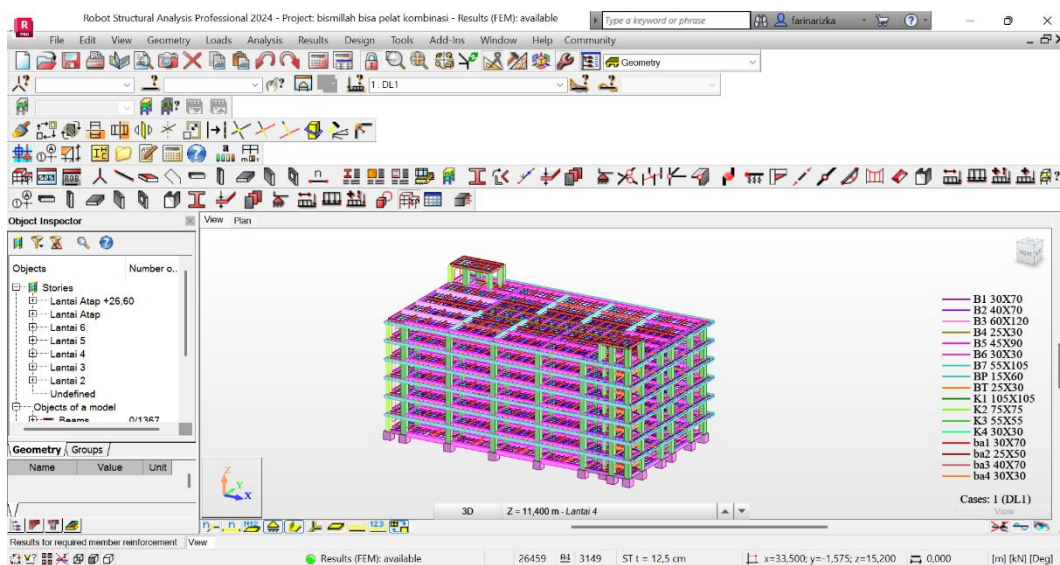
1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L$
3. $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$
4. $1,2D + 1,6L_r + L$
5. $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_{Lx+}$
6. $1,2D + 1,6L_r - 0,5W_{Lx+}$
7. $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_{Ly+}$
8. $1,2D + 1,6L_r - 0,5W_{Ly+}$
9. $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_{Lx-}$
10. $1,2D + 1,6L_r - 0,5W_{Lx-}$
11. $1,2D + 1,6L_r + 0,5W_{Ly-}$
12. $1,2D + 1,6L_r - 0,5W_{Ly-}$
13. $1,2D + L + W_{Lx+} + 0,5L_r$
14. $1,2D + L - W_{Lx+} + 0,5L_r$
15. $1,2D + L + W_{Ly+} + 0,5L_r$
16. $1,2D + L - W_{Ly+} + 0,5L_r$
17. $1,2D + L + W_{Lx-} + 0,5L_r$
18. $1,2D + L - W_{Lx-} + 0,5L_r$
19. $1,2D + L + W_{Ly-} + 0,5L_r$
20. $1,2D + L - W_{Ly-} + 0,5L_r$
21. $0,9D + W_{Lx+}$
22. $0,9D - W_{Lx+}$
23. $0,9D + W_{Ly+}$
24. $0,9D - W_{Ly+}$

25. $0.9D + WL_x -$
26. $0.9D - WL_x -$
27. $0.9D + WL_y -$
28. $0.9D - WL_y -$
29. $1.2D + E_{qx} + 0.3E_{qy} + L$
30. $1.2D + E_{qx} - 0.3E_{qy} + L$
31. $1.2D - E_{qx} + 0.3E_{qy} + L$
32. $1.2D - E_{qx} - 0.3E_{qy} + L$
33. $1.2D + 0.3E_{qx} + E_{qy} + L$
34. $1.2D + 0.3E_{qx} - E_{qy} + L$
35. $1.2D - 0.3E_{qx} + E_{qy} + L$
36. $1.2D - 0.3E_{qx} - E_{qy} + L$
37. $0.9D + E_{qx} + 0.3E_{qy}$
38. $0.9D + E_{qx} - 0.3E_{qy}$
39. $0.9D - E_{qx} + 0.3E_{qy}$
40. $0.9D - E_{qx} - 0.3E_{qy}$
41. $0.9D + 0.3E_{qx} + E_{qy}$
42. $0.9D + 0.3E_{qx} - E_{qy}$
43. $0.9D - 0.3E_{qx} + E_{qy}$
44. $0.9D - 0.3E_{qx} - E_{qy}$
45. $(1.2 + 0.2SDS)D + 1.3E_{qx} + 0.39E_{qy} + 0.1L$
46. $(1.2 + 0.2SDS)D + 1.3E_{qx} - 0.39E_{qy} + 0.1L$
47. $(1.2 + 0.2SDS)D - 1.3E_{qx} + 0.39E_{qy} + 0.1L$
48. $(1.2 + 0.2SDS)D - 1.3E_{qx} - 0.39E_{qy} + 0.1L$
49. $(1.2 + 0.2SDS)D + 0.39E_{qx} + 1.3E_{qy} + 0.1L$
50. $(1.2 + 0.2SDS)D + 0.39E_{qx} - 1.3E_{qy} + 0.1L$
51. $(1.2 + 0.2SDS)D - 0.39E_{qx} + 1.3E_{qy} + 0.1L$
52. $(1.2 + 0.2SDS)D - 0.39E_{qx} - 1.3E_{qy} + 0.1L$
53. $(0.9 - 0.2SDS)D + 1.3E_{qx} + 0.39E_{qy}$
54. $(0.9 - 0.2SDS)D + 1.3E_{qx} - 0.39E_{qy}$
55. $(0.9 - 0.2SDS)D - 1.3E_{qx} + 0.39E_{qy}$

56. $(0.9 - 0.2SDS)D - 1.3Eq_x - 0.39Eq_y$
57. $(0.9 - 0.2SDS)D + 0.39Eq_x + 1.3Eq_y$
58. $(0.9 - 0.2SDS)D + 0.39Eq_x - 1.3Eq_y$
59. $(0.9 - 0.2SDS)D - 0.39Eq_x + 1.3Eq_y$
60. $(0.9 - 0.2SDS)D - 0.39Eq_x - 1.3Eq_y$

4.4. Hasil Analisis Struktur

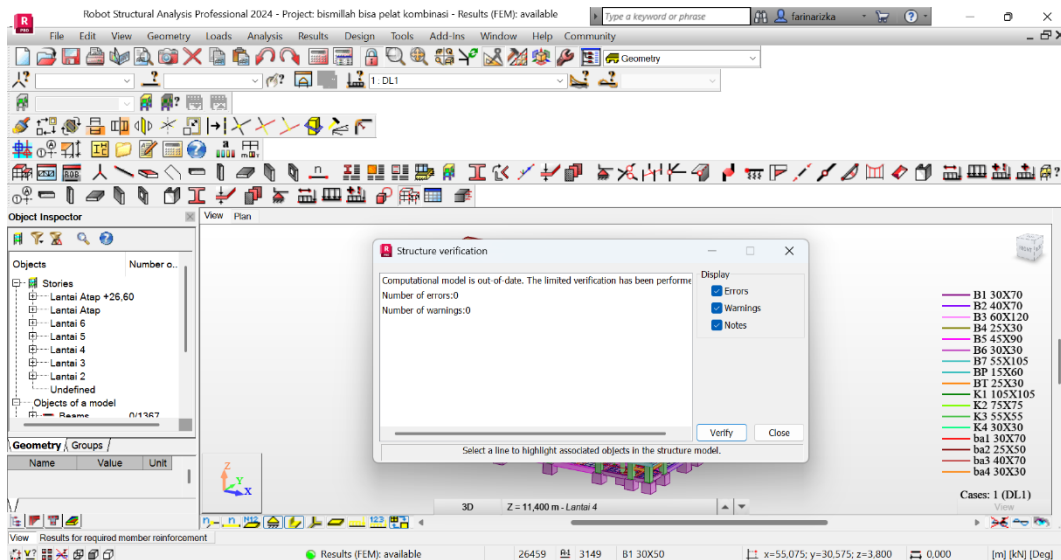
Untuk melakukan analisa struktur, dilakukan pemodelan struktur dengan dimensi yang sudah direncanakan serta menginput pembebanan pada model. Dibawah ini merupakan Gambar 4.6. yang menampilkan hasil pemodelan 3D yang dibuat di software Autodesk RSAP.



Gambar 4. 6 Hasil Pemodelan 3D pada *Software* Autodesk RSAP
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.4.1. Verifikasi Struktur

Dibawah ini merupakan Gambar 4.7. yang menampilkan hasil verifikasi struktur.



Gambar 4. 7 Hasil Verifikasi Struktur
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.7. di atas, tidak terdapat *warning* ataupun *error* pada pemodelan perencanaan ulang ini, yang artinya elemen-elemen struktur seperti pelat, balok, dan kolom telah memenuhi standar yang berlaku, dan telah aman dan kuat dalam menahan beban yang bekerja.

4.4.2. Analisis Jumlah Ragam dan Partisipasi Massa

Dibawah ini merupakan Gambar 4.8. yang menampilkan hasil jumlah ragam dan partisipasi massa.

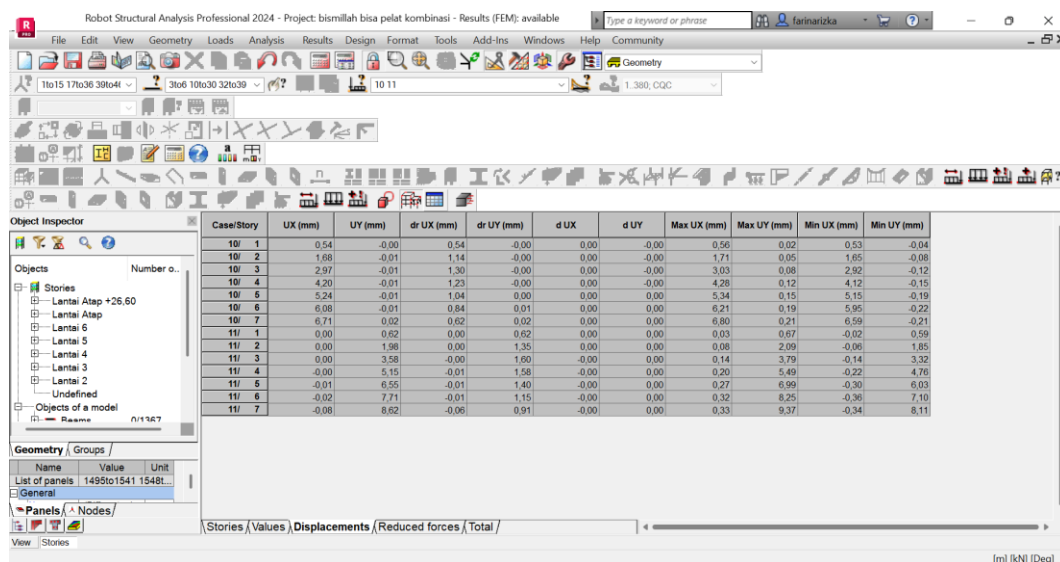
Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel. mass UX (%)	Rel. mass UY (%)	Rel. mass UZ (%)	Cur. mass UX (%)	Cur. mass UY (%)	Cur. mass UZ (%)	Total mass UX (kg)	Total mass UY (kg)	Total mass UZ (kg)
9/ 240	52.76	0.02	84.96	96.28	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 241	52.87	0.02	84.81	96.34	0.00	0.15	0.06	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 242	52.93	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 243	53.09	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 244	53.12	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 245	53.32	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 246	53.40	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 247	53.68	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 248	53.83	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 249	53.93	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 250	54.16	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 251	54.29	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 252	54.39	0.02	84.81	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 253	54.59	0.02	87.32	96.34	0.00	2.51	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 254	54.72	0.02	87.32	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 255	54.86	0.02	87.32	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 256	54.97	0.02	87.33	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 257	55.00	0.02	94.05	96.34	0.00	6.72	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 258	55.17	0.02	94.05	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 259	55.50	0.02	94.05	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00
9/ 260	55.64	0.02	94.05	96.34	0.00	0.00	0.00	0.00	16255578.67	16255578.67	0.00

Gambar 4. 8 Hasil Analisis Jumlah Ragam dan Partisipasi Massa
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.8. di atas, hasil analisis partisipasi modal menunjukkan 257 jumlah ragam dengan nilai persentasi sebesar 94,05% untuk arah X dan 96,34% untuk arah Y. Oleh karena itu, analisis partisipasi modal telah memenuhi syarat yaitu minimal 90% dari masing-masing arah x ataupun arah y.

4.4.3. Analisa Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Dibawah ini merupakan Gambar 4.9. yang menampilkan hasil *output* nilai *displacement* per lantai dari perencanaan ulang ini.



Case/Story	UX (mm)	UY (mm)	dr UX (mm)	dr UY (mm)	d UX	d UY	Max UX (mm)	Max UY (mm)	Min UX (mm)	Min UY (mm)
10/ 1	0.54	-0.00	0.54	-0.00	0.00	0.00	0.56	0.02	0.53	-0.04
10/ 2	1.68	-0.01	1.14	-0.00	0.00	-0.00	1.71	0.05	1.65	-0.08
10/ 3	2.97	-0.01	1.30	-0.00	0.00	-0.00	3.03	0.08	2.92	-0.12
10/ 4	4.20	-0.01	1.23	-0.00	0.00	-0.00	4.28	0.12	4.12	-0.15
10/ 5	5.24	-0.01	1.04	0.00	0.00	0.00	5.34	0.15	5.15	-0.19
10/ 6	6.08	-0.01	0.84	0.01	0.00	0.00	6.21	0.19	5.95	-0.22
10/ 7	6.71	0.02	0.62	0.02	0.00	0.00	6.80	0.21	6.59	-0.21
11/ 1	0.00	0.62	0.00	0.62	0.00	0.00	0.03	0.67	-0.02	0.59
11/ 2	0.00	1.98	0.00	1.35	0.00	0.00	0.08	2.09	-0.06	1.85
11/ 3	0.00	3.58	-0.00	1.60	-0.00	0.00	0.14	3.79	-0.14	3.32
11/ 4	-0.00	5.15	-0.01	1.58	-0.00	0.00	0.20	5.49	-0.22	4.76
11/ 5	-0.01	6.55	-0.01	1.40	-0.00	0.00	0.27	6.99	-0.30	6.03
11/ 6	-0.02	7.71	-0.01	1.15	-0.00	0.00	0.32	8.25	-0.36	7.10
11/ 7	-0.08	8.62	-0.06	0.91	-0.00	0.00	0.33	9.37	-0.34	8.11

Gambar 4. 9 *Output* Nilai *Displacement* Per Lantai

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Menurut SNI 1726 Tahun 2019 pasal 7.12.1 simpangan antar lantai desain (Δ) tidak diizinkan lebih besar dari simpangan antar lantai izin (Δa). Simpangan pusat massa (δx) ditentukan sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$\delta x = \frac{cd \times \delta x e}{I_e}$$

Berdasarkan Tabel 20 SNI 1726 Tahun 2019 untuk menentukan simpangan maksimum antar lantai yang diizinkan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\Delta a = 0,02 \times h x$$

Dengan rumus tersebut, maka simpangan maksimum antar lantai yang diizinkan pada perencanaan ulang ini adalah sebagai berikut :

$$\Delta a = 0,02 \times 3,8$$

$$= 0,057 \text{ m} = 57 \text{ mm}$$

Dengan output nilai displacement dapat menghitung simpangan lantai arah X dan simpangan lantai arah Y. Berikut adalah perhitungan simpangan lantai arah X pada lantai 1 (Δx_1)

$$\begin{aligned}\Delta x_1 &= \frac{cd \times \delta x_e}{I_e} \\ &= \frac{5,50 \times (0,56 - 0,00)}{1,50} \\ &= 2,05 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berikut adalah perhitungan simpangan lantai arah Y pada lantai 1 (Δy_1)

$$\begin{aligned}\Delta y_1 &= \frac{cd \times \delta y_e}{I_e} \\ &= \frac{5,50 \times (0,67 - 0,00)}{1,50} \\ &= 2,46 \text{ mm}\end{aligned}$$

Di bawah ini merupakan Tabel 4.33. yang merupakan hasil perhitungan analisis simpangan antar lantai arah X.

Tabel 4. 33 Hasil Analisis Simpangan Lantai Arah X

Lantai	Hsx (m)	dx (mm)	Δx (mm)	Δa (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta a$
Atap	3,80	6,80	2,16	57,00	OK
Lantai 6	3,80	6,21	3,19	57,00	OK
Lantai 5	3,80	5,34	3,89	57,00	OK
Lantai 4	3,80	4,28	4,58	57,00	OK
Lantai 3	3,80	3,03	4,84	57,00	OK
Lantai 2	3,80	1,71	4,22	57,00	OK
Lantai 1	3,80	0,56	2,05	57,00	OK
Base	0,00	0,00	0,00	0,00	

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Di bawah ini merupakan Tabel 4.34. yang merupakan hasil perhitungan analisis simpangan antar lantai arah Y.

Tabel 4. 34 Hasil Analisis Simpangan Lantai Arah Y

Lantai	Hsx (m)	dy (mm)	Δy (mm)	Δa (mm)	Kontrol $\Delta x < \Delta a$
Atap	3,80	9,37	4,11	57,00	OK
Lantai 6	3,80	8,25	4,62	57,00	OK
Lantai 5	3,80	6,99	5,50	57,00	OK
Lantai 4	3,80	5,49	6,23	57,00	OK

Lantai 3	3,80	3,79	6,23	57,00	OK
Lantai 2	3,80	2,09	5,21	57,00	OK
Lantai 1	3,80	0,67	2,46	57,00	OK
Base	0,00	0,00	0,00	0,00	

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.35. dan Tabel 4.36. perencanaan ulang ini telah memenuhi syarat SNI 1726 Tahun 2019 pasal 7.12.1 yaitu simpangan antar lantai desain (Δ) lebih kecil dari simpangan antar lantai izin (Δa).

4.4.4. Analisis Rasio Struktur

Untuk mendapatkan nilai rasio pada struktur kolom dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R = \frac{P_u}{\phi \times P_n}$$

$$P_n = (0,80) \times [0,85 \times f'_c \times A_g \times A_{st} \times (f_y - 0,85 \times f'_c)]$$

$$A_{st} = \rho \times A_g$$

$$\rho = 2,50\%$$

Berikut pada Tabel 4.35. di bawah ini menampilkan rekapitulasi analisis rasio struktur kolom.

Tabel 4. 35 Hasil Analisis Rasio Struktur Kolom

Member/ Node/ Case	Tipe Kolom	A_g (mm ²)	A_{st} (mm ²)	P_u (N)	ϕ	P_n (N)	R	Kontrol $R < 1$
37/ 12/ 17	K1 1050X1050	1102500	27562,5	5617250	0,65	34844512,5	0,25	OK
5/ 15/ 61	K2 750X750	562500	14062,5	1883300	0,65	17777812,5	0,16	OK
3098/ 120/ 45	K3 550X550	302500	7562,5	1844660	0,65	9560512,5	0,3	OK
71/ 247/ 26	K4 300X300	90000	2250	162910	0,65	2844450	0,09	OK

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.35., struktur kolom pada perencanaan ulang ini telah memenuhi syarat rasio < 1 yang artinya struktur kolom memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban.

Untuk mendapatkan nilai rasio pada struktur balok dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$R = \frac{Mu}{\phi \times Mn}$$

$$Mn = As \times fy \times \left(d - \frac{As \times fy}{1,7 \times fc \times b} \right)$$

$$Ast = \rho \times Ag$$

$$\rho = 2,50\%$$

Berikut pada Tabel 4.36. di bawah ini menampilkan rekapitulasi analisis rasio struktur balok.

Tabel 4. 36 Hasil Analisis Rasio Struktur Balok

Member/ Node/ Case	Tipe Balok	Ag (mm ²)	Ast (mm ²)	Mu (Nm)	φ	Mn (Nm)	R	Kontrol R < 1
Balok Lantai Atap +26,60								
1486/ 218/ 15	ba2 250X500	125000	3125	73080	0,8	441617,65	0,21	OK
Balok Lantai Atap								
1268/ 207/ 13	B1 300X700	210000	5250	436160	0,8	1073964,71	0,51	OK
1273/ 207/ 13	B2 400X700	280000	7000	383430	0,8	1431952,94	0,33	OK
1311/ 170/ 15	B3 600X1200	720000	18000	1155880	0,8	6528282,35	0,22	OK
1300/ 236/ 18	B4 250X300	75000	1875	29980	0,8	146382,35	0,26	OK
1286/ 204/ 12	B5 450X900	405000	10125	640550	0,8	2711594,12	0,3	OK
2978/ 1324/ 15	B6 300X300	90000	2250	38880	0,8	175658,82	0,28	OK
1247/ 200/ 15	B7 550X1050	577500	14437,5	1486290	0,8	4551379,41	0,41	OK
2992/ 1847/ 15	BP 150X600	90000	2250	3820	0,8	389117,65	0,01	OK
336/ 402/ 12	ba2 250X500	125000	3125	126640	0,8	441617,65	0,36	OK
1353/ 1328/ 22	ba3 400X700	280000	7000	273000	0,8	1431952,94	0,24	OK
2994/ 1338/ 15	ba4 300X300	90000	2250	23420	0,8	175658,82	0,17	OK
Balok Lantai 6								
1061/ 183/ 16	B1 300X700	210000	5250	313550	0,8	1073964,71	0,36	OK
1069/ 190/ 17	B2 400X700	280000	7000	431070	0,8	1431952,94	0,38	OK
1068/ 183/ 16	B5 450X900	405000	10125	680520	0,8	2711594,12	0,31	OK
2805/ 1140/ 17	B6 300X300	90000	2250	39740	0,8	175658,82	0,28	OK
3138/ 1769/ 16	BP 150X600	90000	2250	4960	0,8	389117,65	0,02	OK
1143/ 1187/ 17	ba1 300X700	210000	5250	95660	0,8	1073964,71	0,11	OK

1237/ 1275/ 16	ba2 250X500	125000	3125	101320	0,8	441617,65	0,29	OK
1178/ 1235/ 17	ba3 400X700	280000	7000	203750	0,8	1431952,94	0,18	OK
2832/ 1230/ 17	ba4 300X300	90000	2250	24680	0,8	175658,82	0,18	OK
Balok Lantai 5								
920/ 960/ 64	B1 300X700	210000	5250	112760	0,8	1073964,71	0,13	OK
879/ 938/ 16	B2 400X700	280000	7000	399800	0,8	1431952,94	0,35	OK
878/ 929/ 17	B5 450X900	405000	10125	706030	0,8	2711594,12	0,33	OK
2707/ 964/ 16	B6 300X300	90000	2250	40170	0,8	175658,82	0,29	OK
3136/ 1722/ 17	BP 150X600	90000	2250	4970	0,8	389117,65	0,02	OK
953/ 994/ 17	ba1 300X700	210000	5250	95460	0,8	1073964,71	0,11	OK
1045/ 1067/ 16	ba2 250X500	125000	3125	104470	0,8	441617,65	0,30	OK
993/ 1049/ 17	ba3 400X700	280000	7000	200130	0,8	1431952,94	0,17	OK
2779/ 1062/ 16	ba4 300X300	90000	2250	22810	0,8	175658,82	0,16	OK
Balok Lantai 4								
727/ 756/ 64	B1 300X700	210000	5250	115770	0,8	1073964,71	0,13	OK
684/ 734/ 16	B2 400X700	280000	7000	396190	0,8	1431952,94	0,35	OK
683/ 725/ 17	B5 450X900	405000	10125	696690	0,8	2711594,12	0,32	OK
2611/ 760/ 17	B6 300X300	90000	2250	40270	0,8	175658,82	0,29	OK
3134/ 1669/ 17	BP 150X600	90000	2250	4980	0,8	389117,65	0,02	OK
760/ 790/ 17	ba1 300X700	210000	5250	92860	0,8	1073964,71	0,11	OK
788/ 832/ 16	ba2 250X500	125000	3125	105970	0,8	441617,65	0,30	OK
814/ 871/ 17	ba3 400X700	280000	7000	193370	0,8	1431952,94	0,17	OK
2646/ 837/ 17	ba4 300X300	90000	2250	26770	0,8	175658,82	0,19	OK
Balok Lantai 3								
523/ 569/ 13	B1 300X700	210000	5250	668480	0,8	1073964,71	0,78	OK
487/ 545/ 13	B2 400X700	280000	7000	671860	0,8	1431952,94	0,59	OK
530/ 570/ 12	B5 450X900	405000	10125	1055310	0,8	2711594,12	0,49	OK
2514/ 571/ 17	B6 300X300	90000	2250	40250	0,8	175658,82	0,29	OK
3132/ 1629/ 17	BP 150X600	90000	2250	4980	0,8	389117,65	0,02	OK
559/ 601/ 17	ba1 300X700	210000	5250	92230	0,8	1073964,71	0,11	OK

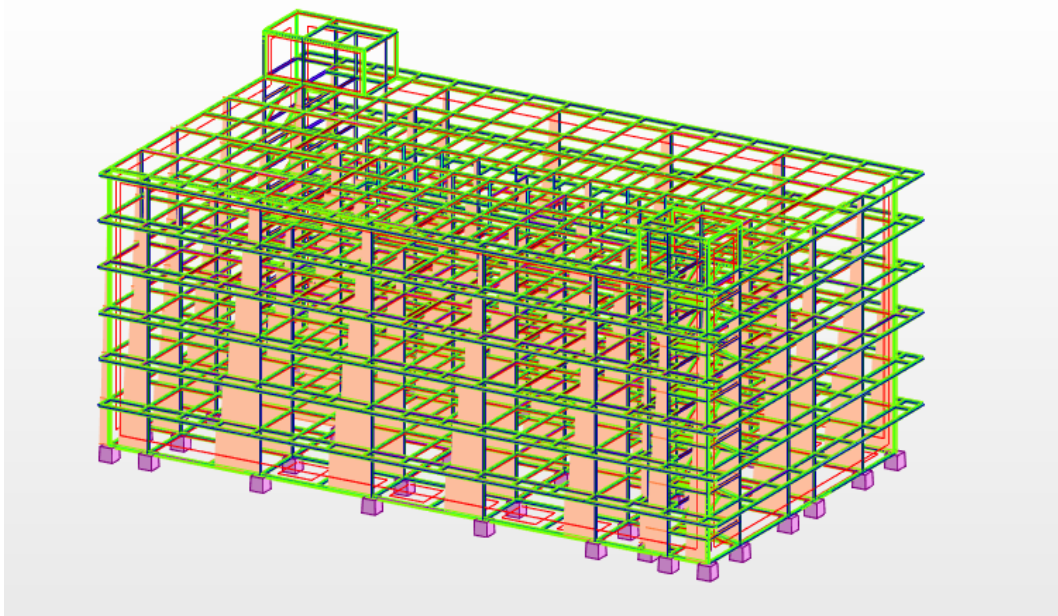
297/ 347/ 12	ba2 250X500	125000	3125	194560	0,8	441617,65	0,55	OK
616/ 675/ 16	ba3 400X700	280000	7000	185560	0,8	1431952,94	0,16	OK
2549/ 676/ 17	ba4 300X300	90000	2250	26290	0,8	175658,82	0,19	OK
Balok Lantai 2								
257/ 311/ 64	B1 300X700	210000	5250	98150	0,8	1073964,71	0,11	OK
213/ 289/ 16	B2 400X700	280000	7000	415870	0,8	1431952,94	0,36	OK
212/ 280/ 17	B5 450X900	405000	10125	694010	0,8	2711594,12	0,32	OK
274/ 315/ 17	B6 300X300	90000	2250	40190	0,8	175658,82	0,29	OK
2503/ 1566/ 17	BP 150X600	90000	2250	4050	0,8	389117,65	0,01	OK
343/ 412/ 17	ba1 300X700	210000	5250	91920	0,8	1073964,71	0,11	OK
414/ 486/ 16	ba2 250X500	125000	3125	103980	0,8	441617,65	0,29	OK
419/ 491/ 16	ba3 400X700	280000	7000	186670	0,8	1431952,94	0,16	OK
457/ 492/ 16	ba4 300X300	90000	2250	26280	0,8	175658,82	0,19	OK
Balok Lantai 1								
93/ 28/ 16	B1 300X700	210000	5250	402690	0,8	1073964,71	0,47	OK
128/ 18/ 16	B2 400X700	280000	7000	605280	0,8	1431952,94	0,53	OK
155/ 28/ 16	B5 450X900	405000	10125	1149150	0,8	2711594,12	0,53	OK
165/ 140/ 16	ba1 300X700	210000	5250	175850		1073964,71	0,20	OK
160/ 46/ 16	ba2 250X500	125000	3125	90420	0,8	441617,65	0,26	OK

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.36., struktur balok pada perencanaan ulang ini telah memenuhi syarat rasio < 1 yang artinya struktur balok memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban.

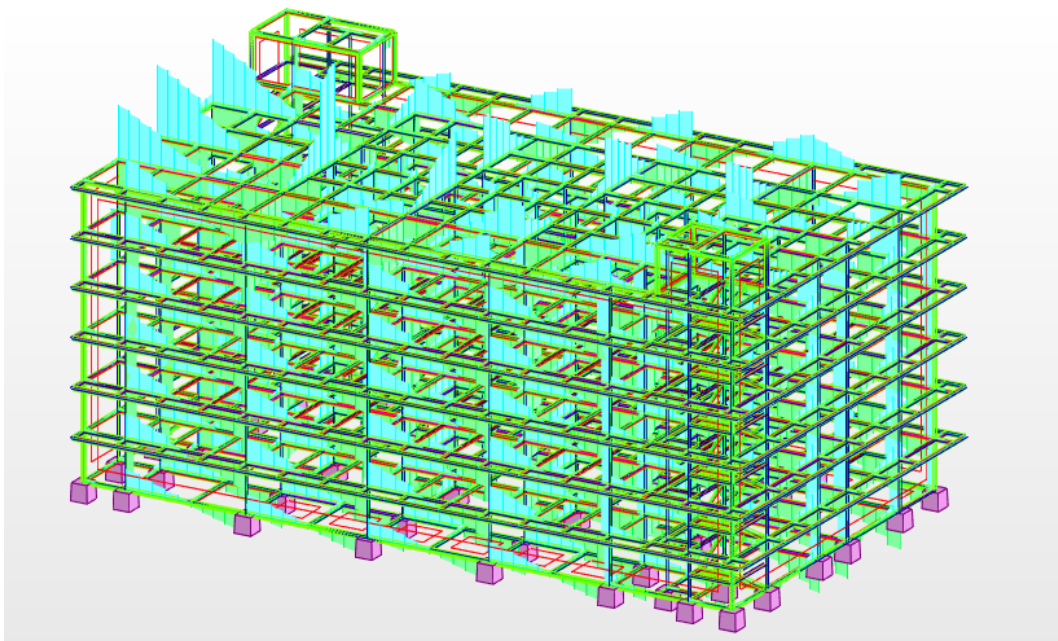
4.4.5. Output Analisis Struktur

Berikut pada Gambar 4.10. menampilkan hasil *output* gaya aksial setelah dilakukan analisis struktur pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik.



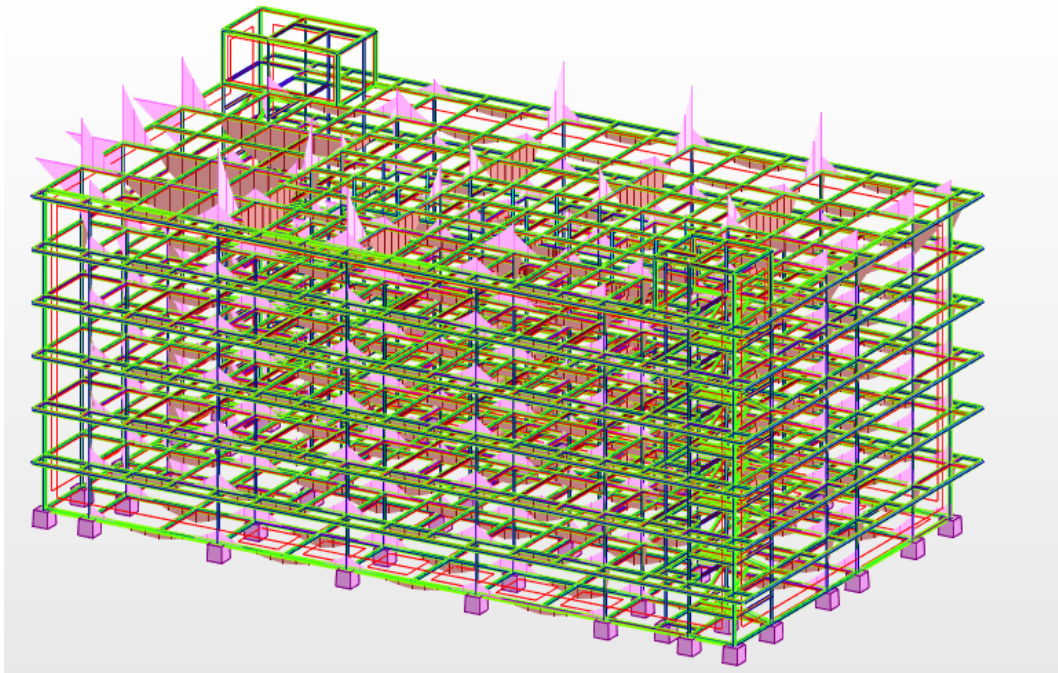
Gambar 4. 11 Hasil *Output* Gaya Aksial
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.11. menampilkan hasil *output* gaya geser setelah dilakukan analisis struktur pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik.



Gambar 4. 10 Hasil *Output* Gaya Geser
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.12. menampilkan hasil *output* momen setelah dilakukan analisis struktur pada Gedung 2 RS Hermina Banyumanik.



Gambar 4. 12 Hasil *Output* Momen
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5. Perhitungan Penulangan Struktur Atas

4.5.1. Perhitungan Penulangan Pelat

Untuk merencanakan tulangan pelat, terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu nilai momen tumpuan dan lapangan pada pelat. Nilai tersebut merupakan output dari *software* Autodesk RSAP. Berikut adalah perhitungan penulangan pelat :

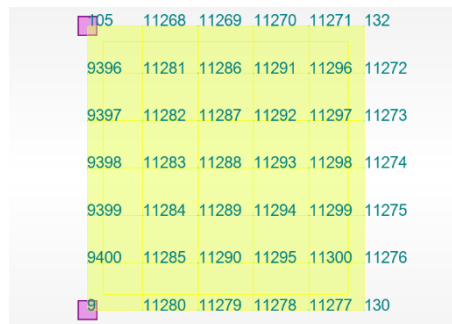
Tipe Pelat	= S1
Mutu Beton	= 25 MPa
Mutu Tulangan	= 420 MPa
Ly	= 5,5 m
Lx	= 5,375 m
Tebal Pelat	= 170 mm
Selimut Beton	= 20 mm
Ø Tulangan Lentur	= 13 mm
Perhitungan tebal efektif pelat	

$$\begin{aligned}
 dx &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \emptyset \\
 &= 170 - 20 - \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 143,5 \text{ mm} \\
 dy &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \emptyset \\
 &= 170 - 20 - \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 143,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batasan tulangan

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,019
 \end{aligned}$$

Di bawah ini merupakan Gambar 4.13. yang menampilkan nodes pelat S1.



Gambar 4. 13 Nodes Pelat S1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan gambar di atas tumpuan arah X dilabeli *nodes* 11274 dan 9398. Sedangkan tumpuan arah Y dilabeli dengan *nodes* 11269, 11270, 11278, dan 11279. Untuk lapangan dilabeli dengan *nodes* 11288 dan 11293. Dari semua *nodes* tersebut diambil momen terbesar dari masing-masing arah untuk dijadikan dasar dalam menghitung penulangan pelat. Berikut di bawah ini Tabel 4.37. yang menampilkan hasil momen pada pelat S1.

Tabel 4. 37 Hasil Momen Pelat S1

Letak	Panel/ Node/ Case	MXX (kNm/m)	MYY (kNm/m)
Tumpuan X	1529/ 9398/ 16	30.22	-4.37
Tumpuan Y	1529/ 11269/ 16	11.91	44.1
Lapangan X	1529/ 11293/ 16	-16.69	-17.2
Lapangan Y	1529/ 11288/ 16	-5.66	-17.07

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

1. Perhitungan Tumpuan Arah X

$$Mu = 30,22 \text{ kNm} = 30220000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{30220000}{0,8} \\ &= 37775000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\ &= \frac{37775000}{1000 \times 143,5^2} \\ &= 1,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times fc}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times fc}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,83}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0046 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat } \rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0,0033 &< 0,0046 < 0,019 \end{aligned}$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,0046$

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0046 \times 1000 \times 143,5 \\ &= 656,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{656,44} \\ &= 202,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{\max} < 2h$

$$202,28 < 2 \times 170$$

$$202,28 \text{ mm} < 340 \text{ mm}$$

OK

Sehingga dipakai spasi antar tulangan, $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 885,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$885,24 \text{ mm}^2 > 656,44 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = D13 – 150

2. Perhitungan Tumpuan Arah Y

$$M_u = 44,1 \text{ kNm} = 44100000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{44100000}{0,8} \\ &= 55125000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{55125000}{1000 \times 143,5^2} \\ &= 2,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,68}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0068 \end{aligned}$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0033 < 0,0068 < 0,019$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,0068$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0068 \times 1000 \times 143,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 980,89 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{980,89} \\
 &= 135,37 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{\max} < 2h$

$$135,37 < 2 \times 170$$

$$135,37 \text{ mm} < 340 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan, $S = 125 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{125} \\
 &= 1062,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$1062,29 \text{ mm}^2 > 980,89 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = D13 – 125

3. Perhitungan Lapangan Arah X

$$M_u = 16,69 \text{ kNm} = 16690000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{16690000}{0,8} \\
 &= 20862500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d x^2} \\
 &= \frac{20862500}{1000 \times 143,5^2} \\
 &= 1,01
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,01}{0,85 \times 25}}\right) \\
 &= 0,0025
 \end{aligned}$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0033 < 0,0025 < 0,019$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,0033$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 1000 \times 143,5 \\ &= 478,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{478,33} \\ &= 277,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{\max} < 2h$

$$277,60 < 2 \times 170$$

$$277,60 \text{ mm} < 340 \text{ mm}$$

OK

Sehingga dipakai spasi antar tulangan, $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{150} \\ &= 885,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$885,24 \text{ mm}^2 > 478,33 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = D13 – 150

4. Perhitungan Lapangan Arah Y

$$M_u = 17,2 \text{ kNm} = 17200000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{17200000}{0,8} \\ &= 21500000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{21500000}{1000 \times 143,5^2} \\ &= 1,04 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,04}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,0026$$

Syarat $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0033 < 0,0026 < 0,019$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,0033$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \times 143,5$$

$$= 478,33 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{478,33}$$

$$= 277,60 \text{ mm}$$

Syarat spasi antar tulangan $S_{\max} < 2h$

$$277,60 < 2 \times 170$$

$$277,60 \text{ mm} < 340 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Sehingga dipakai spasi antar tulangan, $S = 125 \text{ mm}$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 13^2 \times 1000}{125}$$

$$= 1062,29 \text{ mm}^2$$

Syarat $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$1062,29 \text{ mm}^2 > 478,33 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = D13 – 125

4.5.1.1. Rekapitulasi Penulangan Pelat

Rekapitulasi penulangan pelat pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.38.

Tabel 4. 38 Rekapitulasi Penulangan Pelat

Tipe	Data Penulangan	Tumpuan X	Lapangan X	Tumpuan Y	Lapangan Y
S1 (Lantai 1)	Tebal Pelat (mm)	170	170	170	170
	Mu (Nmm)	30220000	16690000	44100000	17200000

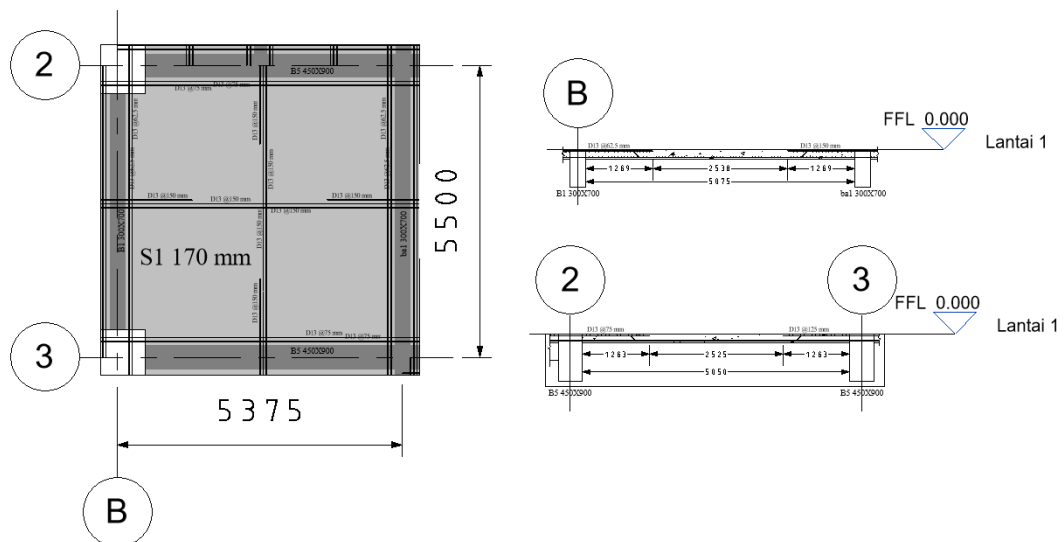
	As Perlu (mm ²)	656,44	478,33	980,89	478,33
	As Pakai (mm ²)	885,24	885,24	1062,29	1062,29
	S Perlu (mm)	202,28	277,60	135,37	277,60
	S Pakai (mm)	150	150	125	125
	Dipakai Tulangan	D13 – 150	D13 – 150	D13 – 125	D13 – 125
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
S2 (Lantai 2)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	10540000	4690000	8830000	3490000
	As Perlu (mm ²)	333,33	333,33	333,33	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	235,71	235,71	235,71	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
S2 (Lantai 3)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	10570000	4720000	8790000	3500000
	As Perlu (mm ²)	333,33	333,33	333,33	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	235,71	235,71	235,71	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
S2 (Lantai 4)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	3030000	4670000	8810000	3490000
	As Perlu (mm ²)	333,33	333,33	333,33	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	235,71	235,71	235,71	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
S2 (Lantai 5)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	10710000	4810000	8630000	3490000
	As Perlu (mm ²)	333,33	333,33	333,33	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	235,71	235,71	235,71	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
S2 (Lantai 6)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	10890000	4120000	9330000	3450000
	As Perlu (mm ²)	335,21	333,33	333,33	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	234,39	235,71	235,71	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK

S2 (Lantai Atap)	Tebal Pelat (mm)	125	125	125	125
	Mu (Nmm)	6540000	2300000	11270000	4650000
	As Perlu (mm ²)	333,33	333,33	347,34	333,33
	As Pakai (mm ²)	392,86	392,86	392,86	392,86
	S Perlu (mm)	235,71	235,71	226,21	235,71
	S Pakai (mm)	200	200	200	200
	Dipakai Tulangan	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200	D10 – 200
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.14. menampilkan hasil penulangan pelat

S1.

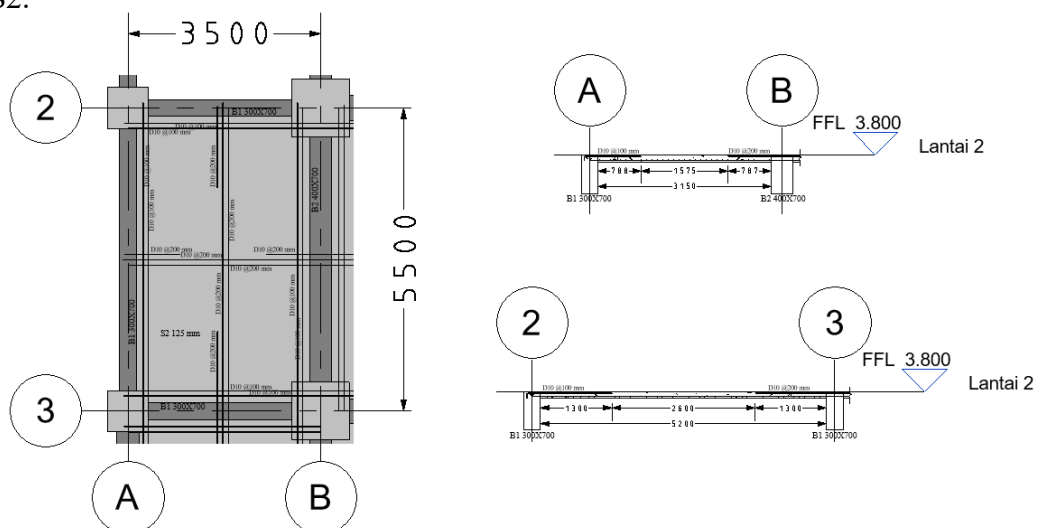


Gambar 4. 14 Hasil Penulangan Pelat S1

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.15. menampilkan hasil penulangan pelat

S2.



Gambar 4. 15 Hasil Penulangan Pelat S2

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

masing-masing tipe balok. Momen tumpuan dan lapangan untuk perhitungan tulangan lentur balok, sedangkan gaya geser tumpuan dan lapangan untuk perhitungan tulangan geser balok. Nilai-nilai tersebut merupakan output dari *software* Autodesk RSAP. Berikut adalah perhitungan penulangan balok :

Tipe Balok = B1

Lebar Balok = 300 mm

Tinggi Balok = 700 mm

Mutu Beton = 25 MPa

Mutu Tulangan = 420 MPa

Ø Tulangan Lentur = 19 mm

Ø Tulangan Sengkang = 10 mm

Selimut Beton = 50 mm

Perhitungan tinggi efektif balok

$$\begin{aligned} d &= h - \text{selimut beton} - \text{Ø Tulangan Sengkang} - \frac{1}{2} \times \text{Ø Tulangan Lentur} \\ &= 700 - 50 - 10 - \frac{1}{2} \times 19 \\ &= 630,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

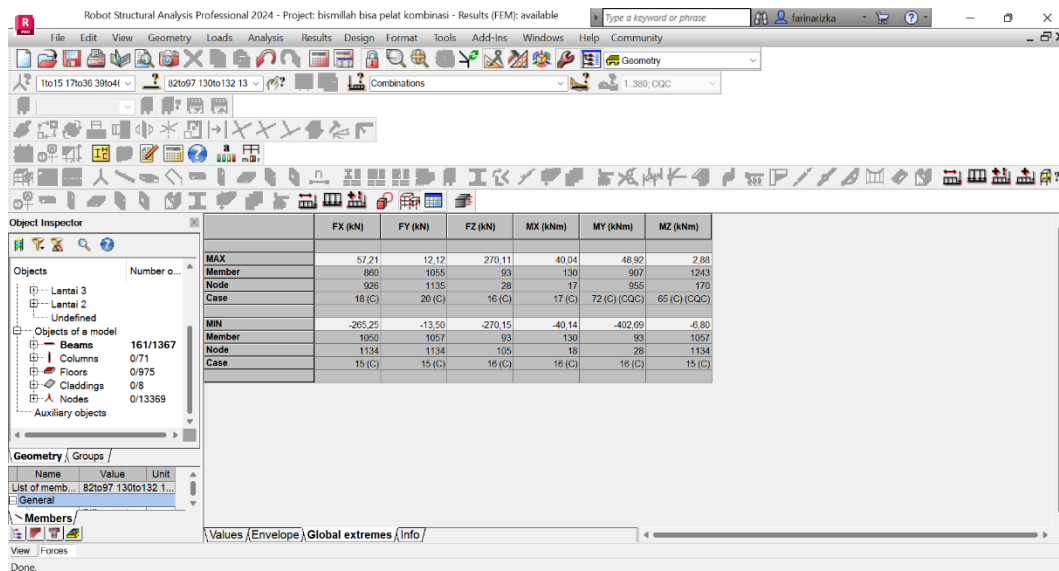
Perhitungan batasan tulangan

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

4.5.2.1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok

Untuk menghitung penulangan lentur balok dibutuhkan nilai momen dari masing-masing tipe balok. Berikut di bawah ini Gambar 4.16. menunjukkan hasil gaya-gaya dalam pada balok tipe B1.

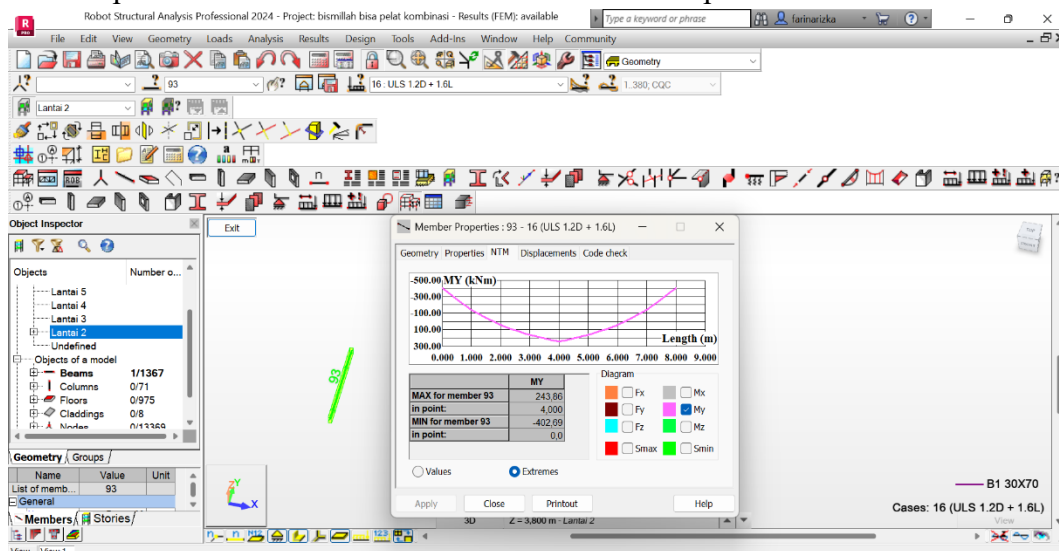


Gambar 4. 16 Hasil Gaya-Gaya Dalam pada B1

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan gambar di atas momen terbesar B1 terletak pada member 93.

Berikut pada Gambar 4.17. adalah detail nilai momen pada member 93.



Gambar 4. 17 Detail Nilai Momen Max B1

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan gambar di atas, B1 memiliki Mu tumpuan sebesar 402,69 kNm dan Mu lapangan sebesar 243,86 kNm.

1. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$Mu = 402,69 \text{ kNm} = 402690000 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{402690000}{0,8} \\ &= 503362500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } Mu < Mn$$

$$402690000 \text{ Nmm} < 503362500 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b \times dx^2} \\ &= \frac{503362500}{300 \times 630,5^2} \\ &= 4,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,22}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0033 < 0,011 < 0,019$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,011$

➤ Tumpuan Tarik

$$As \text{ perlu RSAP} = 1831,92 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As \text{ perlu hitung} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,011 \times 300 \times 630,5 \\ &= 2140,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min} &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 300 \times 630,5 \\ &= 630,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } As \text{ perlu} = 2140,14 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As \text{ perlu}}{0,25 \times \pi \times \phi^2} \\
 &= \frac{2140,14}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} \\
 &= 7,54 \approx 8 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Cek Kontrol :

$$\begin{aligned}
 As \text{ pakai} &= n \times \text{Luas Tulangan} \\
 &= 8 \times 283,64 \\
 &= 2269,14 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } As \text{ pakai} &> As \text{ perlu} \\
 2269,14 \text{ mm}^2 &> 2140,14 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Maka tulangan yang dipakai = 8D19

$$\begin{aligned}
 ds &= \text{Selimut Beton} + \phi \text{ Tulangan Sengkang} + \phi \text{ Tulangan Lentur} \\
 &= 50 + 10 + 19 \\
 &= 79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{b - 2 \times ds}{\phi \text{ Tulangan Lentur} + S_n} + 1 \\
 &= \frac{300 - 2 \times 79}{19 + 25} + 1 \\
 &= 4,23
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan baris 1 (m1)} = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan baris 2 (m2)} &= \text{Jumlah Tulangan} - m1 \\
 &= 8 - 4 \\
 &= 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_n \text{ pakai} &= \frac{b - 2 \times \text{Selimut Beton} - 2 \times \phi \text{ Tulangan Sengkang} - m \times \phi \text{ Tulangan Lentur}}{m - 1} \\
 &= \frac{300 - 2 \times 50 - 2 \times 10 - 4 \times 19}{4 - 1} \\
 &= 34,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat } S_n \text{ max} &> S_n \text{ pakai} > S_n \text{ min} \\
 150 \text{ mm} &> 34,67 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

➤ Tumpuan Tekan

$$As \text{ perlu RSAP} = 524,86 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.1, luas tulangan tekan harus $> 1/3$ tulangan Tarik.

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu hitung} &= \frac{1}{3} \times \text{As pakai tulangan atas} \\
 &= \frac{1}{3} \times 2269,14 \\
 &= 756,38 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= \rho_{\min} \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 300 \times 630,5 \\
 &= 630,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka, As perlu} = 756,38 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As perlu}}{0,25 \times \pi \times \phi^2} \\
 &= \frac{756,38}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} \\
 &= 2,67 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Cek Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= n \times \text{Luas Tulangan} \\
 &= 3 \times 283,64 \\
 &= 850,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As pakai > As perlu

$$850,93 \text{ mm}^2 > 756,38 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = 3D19

$$\begin{aligned}
 ds &= \text{Selimut Beton} + \phi \text{ Tulangan Sengkang} + \phi \text{ Tulangan Lentur} \\
 &= 50 + 10 + 19 \\
 &= 79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{b - 2 \times ds}{\phi \text{ Tulangan Lentur} + S_n} + 1 \\
 &= \frac{300 - 2 \times 79}{19 + 25} + 1 \\
 &= 4,23
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan baris 1 (m1)} = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan baris 2 (m2)} &= \text{Jumlah Tulangan} - m1 \\
 &= 3 - 3 \\
 &= 0 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$S_n \text{ pakai} = \frac{b - 2 \times \text{Selimut Beton} - 2 \times \phi \text{ Tulangan Sengkang} - m \times \phi \text{ Tulangan Lentur}}{m - 1}$$

$$= \frac{300 - 2 \times 50 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1}$$

$$= 61,5 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat } S_n \text{ max} > S_n \text{ pakai} > S_n \text{ min}$$

$$150 \text{ mm} > 61,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ OK}$$

2. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$M_u = 243,86 \text{ kNm} = 243860000 \text{ Nmm}$$

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

$$= \frac{243860000}{0,8}$$

$$= 304825000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Syarat } M_u < M_n$$

$$243860000 \text{ Nmm} < 304825000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

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

$$= \frac{304825000}{300 \times 630,5^2}$$

$$= 2,56$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,56}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,0065$$

$$\text{Syarat } \rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0033 < 0,0065 < 0,019$$

Sehingga dipakai $\rho = 0,0065$

➤ Lapangan Tarik

$$A_s \text{ perlu RSAP} = 11065,59831,92 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ perlu hitung} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0065 \times 300 \times 630,5$$

$$= 1230,17 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \rho_{\text{min}} \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 300 \times 630,5$$

$$= 630,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, As perlu} = 1230,17 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{0,25 \times \pi \times \phi^2} \\ &= \frac{1230,17}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} \\ &= 4,34 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Cek Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= n \times \text{Luas Tulangan} \\ &= 5 \times 283,64 \\ &= 1418,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat As pakai > As perlu

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 1230,17 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = 5D19

$$\begin{aligned} ds &= \text{Selimut Beton} + \phi \text{ Tulangan Sengkang} + \phi \text{ Tulangan Lentur} \\ &= 50 + 10 + 19 \\ &= 79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{b - 2 \times ds}{\phi \text{ Tulangan Lentur} + S_n} + 1 \\ &= \frac{300 - 2 \times 79}{19 + 25} + 1 \\ &= 4,23 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan baris 1 (m1)} = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan baris 2 (m2)} &= \text{Jumlah Tulangan} - m1 \\ &= 5 - 3 \\ &= 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_n \text{ pakai} &= \frac{b - 2 \times \text{Selimut Beton} - 2 \times \phi \text{ Tulangan Sengkang} - m \times \phi \text{ Tulangan Lentur}}{m - 1} \\ &= \frac{300 - 2 \times 50 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1} \\ &= 61,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat $S_n \text{ max} > S_n \text{ pakai} > S_n \text{ min}$

$$150 \text{ mm} > 61,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

➤ Lapangan Tekan

$$As \text{ perlu RSAP} = 0 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4.1, luas tulangan tekan harus $> 1/3$ tulangan Tarik.

$$\begin{aligned} As \text{ perlu hitung} &= \frac{1}{3} \times As \text{ pakai tulangan atas} \\ &= \frac{1}{3} \times 1418,21 \\ &= 472,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min} &= p_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 300 \times 630,5 \\ &= 630,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Maka, } As \text{ perlu} = 630,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{0,25 \times \pi \times \phi^2} \\ &= \frac{630,5}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} \\ &= 2,22 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Cek Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= n \times \text{Luas Tulangan} \\ &= 4 \times 283,64 \\ &= 1134,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

$$1134,57 \text{ mm}^2 > 630,5 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = 4D19

$$\begin{aligned} ds &= \text{Selimut Beton} + \phi \text{ Tulangan Sengkang} + \phi \text{ Tulangan Lentur} \\ &= 50 + 10 + 19 \\ &= 79 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{b - 2 \times ds}{\phi \text{ Tulangan Lentur} + S_n} + 1 \\ &= \frac{300 - 2 \times 79}{19 + 25} + 1 \\ &= 4,23 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan baris 1 (m1)} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tulangan baris 2 (m2)} = \text{Jumlah Tulangan} - m1$$

$$= 4 - 4$$

$$= 0 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Sn pakai} &= \frac{b - 2 \times \text{Selimut Beton} - 2 \times \emptyset \text{ Tulangan Sengkang} - m \times \emptyset \text{ Tulangan Lentur}}{m - 1} \\ &= \frac{300 - 2 \times 50 - 2 \times 10 - 4 \times 19}{4 - 1} \\ &= 34,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} \quad \text{Sn max} > \text{Sn pakai} > \text{Sn min}$$

$$150 \text{ mm} > 34,67 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

4.5.2.1.1. Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok

Rekapitulasi penulangan lentur balok pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.39.

Tabel 4. 39 Rekapitulasi Penulangan Lentur Balok

Tipe Balok	Data Penulangan	Tumpuan Atas	Tumpuan Bawah	Lapangan Atas	Lapangan Bawah
B1 300X700	Mu (Nmm)	402690000	402690000	243860000	243860000
	As Perlu RSAP (mm ²)	1831.92	524.86	0	1065.59
	As Perlu Hitung (mm ²)	2140.14	756.38	472.74	1230.17
	As Min (mm ²)	630.50	630.50	630.50	630.50
	As Perlu (ambil nilai max)	2140.14	756.38	630.50	1230.17
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	8	3	4	5
	As Pakai (mm ²)	2269.14	850.93	1134.57	1418.21
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	34.67	61.5	34.66666667	61.5
	Jumlah Baris	2	1	1	2
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	8D19	3D19	4D19	5D19
B2 400X700	Mu (Nmm)	605280000	605280000	224370000	224370000
	As Perlu RSAP (mm ²)	1813.88	0	699.84	1662.31
	As Perlu Hitung (mm ²)	3278.26	1134.57	567.29	1107.14

	As Min (mm ²)	840.67	840.67	840.67	840.67
	As Perlu (ambil nilai max)	3278.26	1134.57	840.67	1662.31
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	12	6	3	6
	As Pakai (mm ²)	3403.71	1701.86	850.93	1701.86
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	33.20	33.2	111.5	33.2
	Jumlah Baris	2	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	12D19	6D19	3D19	6D19
B3 600X1200	Mu (Nmm)	1155880000	1155880000	934450000	934450000
	As Perlu RSAP (mm ²)	2457.51	1962.30	1799.61	4080.61
	As Perlu Hitung (mm ²)	3210.19	1145.83	1473.21	2569.93
	As Min (mm ²)	2249.00	2249.00	2249.00	2249.00
	As Perlu (ambil nilai max)	3210.19	2249.00	2249.00	4080.61
	Diameter Tulangan (mm)	25	25	25	25
	Luas (mm ²)	491.07	491.07	491.07	491.07
	Jumlah Tulangan (buah)	7	6	5	9
	As Pakai (mm ²)	3437.50	2946.43	2455.36	4419.64
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	49.83	64.8	87.25	31.125
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	7D25	6D25	5D25	9D25
B4 250X300	Mu (Nmm)	29240000	29240000	10710000	10710000
	As Perlu RSAP (mm ²)	187.45	278.77	0	0
	As Perlu Hitung (mm ²)	405.78	189.10	189.10	192.08
	As Min (mm ²)	192.08	192.08	192.08	192.08
	As Perlu (ambil nilai max)	405.78	278.77	192.08	192.08

	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	2	2	2	2
	As Pakai (mm ²)	567.29	567.29	567.29	567.29
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	92	92	92	92
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D19	2D19	2D19	2D19
B5 450X900	Mu (Nmm)	1149150000	1149150000	573170000	573170000
	As Perlu RSAP (mm ²)	4155.32	1012.29	0	1790.48
	As Perlu Hitung (mm ²)	4748.71	1636.90	818.45	2197.60
	As Min (mm ²)	1236.75	1236.75	1236.75	1236.75
	As Perlu (ambil nilai max)	4748.71	1636.90	1236.75	2197.60
	Diameter Tulangan (mm)	25	25	25	25
	Luas (mm ²)	491.07	491.07	491.07	491.07
	Jumlah Tulangan (buah)	10	4	3	5
	As Pakai (mm ²)	4910.71	1964.29	1473.21	2455.36
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	49.75	74.67	124.5	49.75
	Jumlah Baris	2	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	10D25	4D25	3D25	5D25
B6 300X300	Mu (Nmm)	40270000	40270000	24060000	24060000
	As Perlu RSAP (mm ²)	495.67	224.95	370.56	224.95
	As Perlu Hitung (mm ²)	565.70	189.10	189.10	325.83
	As Min (mm ²)	230.50	230.50	230.50	230.50
	As Perlu (ambil nilai max)	565.70	230.50	370.56	325.83
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64

	Jumlah Tulangan (buah)	2	2	2	2
	As Pakai (mm ²)	567.29	567.29	567.29	567.29
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	142	142	142	142
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D19	2D19	2D19	2D19
B7 550X1050	Mu (Nmm)	1486290000	1486290000	928030000	928030000
	As Perlu RSAP (mm ²)	3909.87	2093.95	0	2317.65
	As Perlu Hitung (mm ²)	5000.23	1800.60	1145.83	3000.24
	As Min (mm ²)	1786.58	1786.58	1786.58	1786.58
	As Perlu (ambil nilai max)	5000.23	2093.95	1786.58	3000.24
	Diameter Tulangan (mm)	25	25	25	25
	Luas (mm ²)	491.07	491.07	491.07	491.07
	Jumlah Tulangan (buah)	11	5	4	7
	As Pakai (mm ²)	5401.79	2455.36	1964.29	3437.50
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	41.50	74.75	108	41.5
	Jumlah Baris	2	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	11D25	5D25	4D25	7D25
BP 150X600	Mu (Nmm)	26430000	26430000	26160000	26160000
	As Perlu RSAP (mm ²)	266.74	224.94	92.49	0
	As Perlu Hitung (mm ²)	275.25	189.10	189.10	275.25
	As Min (mm ²)	275.25	275.25	275.25	275.25
	As Perlu (ambil nilai max)	275.25	275.25	275.25	275.25
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	2	2	2	2
	As Pakai (mm ²)	567.29	567.29	567.29	567.29

	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	32	32	32	32
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D19	2D19	2D19	2D19
ba1 300X700	Mu (Nmm)	165160000	165160000	149700000	149700000
	As Perlu RSAP (mm ²)	0	699.12	0	514.92
	As Perlu Hitung (mm ²)	814.26	283.64	283.64	734.85
	As Min (mm ²)	630.50	630.50	630.50	630.50
	As Perlu (ambil nilai max)	814.26	699.12	630.50	734.85
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	3	3	3	3
	As Pakai (mm ²)	850.93	850.93	850.93	850.93
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	61.5	61.5	61.5	61.5
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	3D19	3D19	3D19	3D19
ba2 250X500	Mu (Nmm)	105970000	105970000	38190000	38190000
	As Perlu RSAP (mm ²)	454.61	0	0	97.95
	As Perlu Hitung (mm ²)	789.90	283.64	283.64	358.75
	As Min (mm ²)	358.75	358.75	358.75	358.75
	As Perlu (ambil nilai max)	789.90	358.75	358.75	358.75
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	3	3	3	3
	As Pakai (mm ²)	850.93	850.93	850.93	850.93
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	36.5	36.5	36.5	36.5

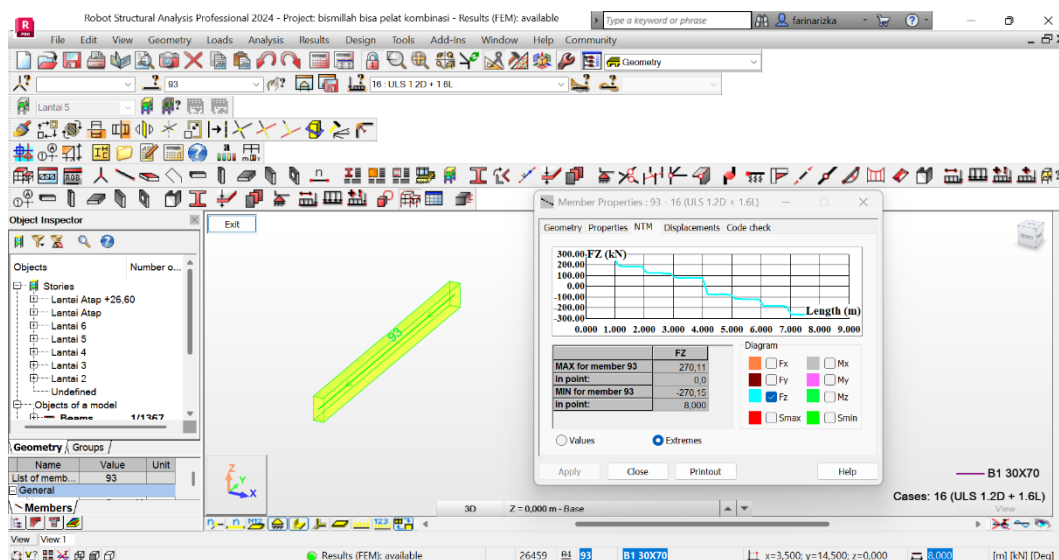
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	3D19	3D19	3D19	3D19
ba3 400X700	Mu (Nmm)	226080000	226080000	107010000	107010000
	As Perlu RSAP (mm ²)	854.00	0	0	599.47
	As Perlu Hitung (mm ²)	1115.98	378.19	378.19	840.67
	As Min (mm ²)	840.67	840.67	840.67	840.67
	As Perlu (ambil nilai max)	1115.98	840.67	840.67	840.67
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	4	4	4	4
	As Pakai (mm ²)	1134.57	1134.57	1134.57	1134.57
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	68	68	68	68
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	4D19	4D19	4D19	4D19
	Mu (Nmm)	26770000	26770000	18340000	18340000
ba4 300X300	As Perlu RSAP (mm ²)	240.50	0.00	0	0.00
	As Perlu Hitung (mm ²)	364.65	189.10	189.10	245.41
	As Min (mm ²)	230.50	230.50	230.50	230.50
	As Perlu (ambil nilai max)	364.65	230.50	230.50	245.41
	Diameter Tulangan (mm)	19	19	19	19
	Luas (mm ²)	283.64	283.64	283.64	283.64
	Jumlah Tulangan (buah)	2	2	2	2
	As Pakai (mm ²)	567.29	567.29	567.29	567.29
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Sn Pakai (mm)	142	142	142	142
	Jumlah Baris	1	1	1	1
	150 mm > Sn Pakai > 25 mm	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	4D19	4D19	4D19	4D19

	Dipakai Tulangan	2D19	2D19	2D19	2D19
--	------------------	------	------	------	------

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

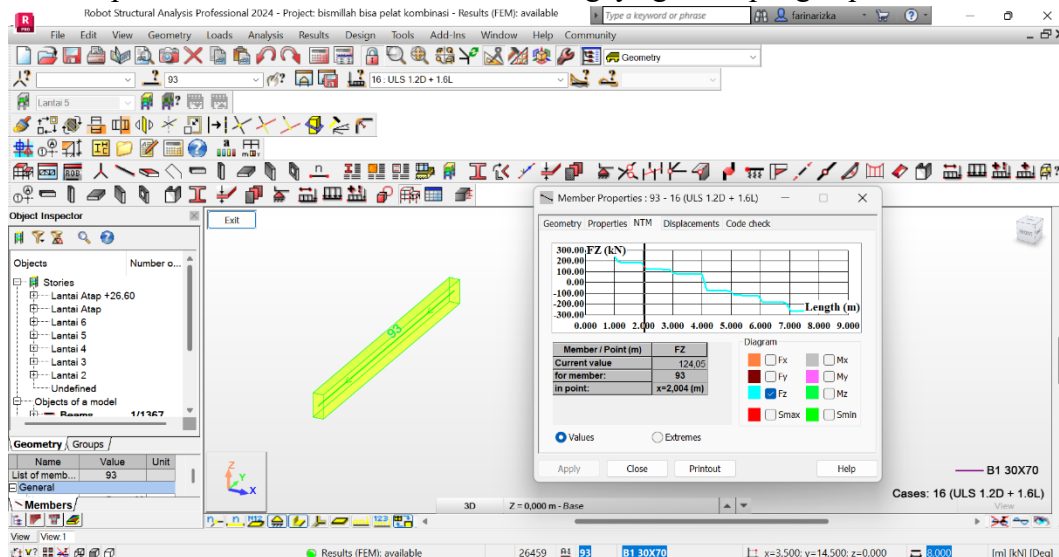
4.5.2.2. Perhitungan Penulangan Geser Balok

Untuk menghitung penulangan geser balok dibutuhkan nilai gaya geser dari masing-masing tipe balok. Berdasarkan Gambar 4.16. menunjukkan bahwa gaya geser terbesar B1 terletak pada member 93. Berikut pada Gambar 4.18. adalah detail nilai gaya geser tumpuan pada member 93.



Gambar 4. 18 Detail Nilai Gaya Geser Tumpuan B1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.19. adalah detail nilai gaya geser lapangan pada member 93.



Gambar 4. 19 Detail Nilai Gaya Geser Lapangan B1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.18., B1 memiliki V_u tumpuan sebesar 270,15 kN.

Berdasarkan Gambar 4.19, B1 memiliki V_u lapangan sebesar 124,05 kN.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 300 \times 630,5 \\ &= 157625 \text{ N} \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$V_u \text{ Tumpuan} = 270,15 \text{ kN} = 270150 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser 2 kaki, dengan Ø10

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \text{jumlah kaki} \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$S_{\max 1} = \frac{d}{4} = \frac{630,5}{4} = 157,62 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 6 \times D = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$S_{\max 3} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{270150}{0,75} - 157625 \\ &= 202575 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ &= \frac{202575}{420 \times 620,5} \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v}{A_v/S_{\text{perlu}}} \\ &= \frac{157,14}{0,76} \\ &= 205,42 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek Spasi} \quad S_{\text{perlu}} < S_{\max}$$

$$205,42 \text{ mm} < 157,62 \text{ mm} \quad \textbf{Pakai S Max}$$

Dipakai jarak sengkang, $S = 150 \text{ mm}$

Cek Kontrol :

$$V_s = \text{Luas Tulangan} \times f_y \times \frac{d}{s}$$

$$= 157,14 \times 420 \times \frac{630,5}{150}$$

$$= 277420 \text{ N}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 157625 + 277420$$

$$= 435045 \text{ N}$$

$$\frac{\phi \times V_n}{V_u} = \frac{0,75 \times 435045}{270150}$$

$$= 1,21 > 1 \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = 2D10 – 150

2. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$V_u \text{ Lapangan} = 124,05 \text{ kN} = 124050 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser 2 kaki, dengan Ø10

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \text{jumlah kaki}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,14 \text{ mm}^2$$

$$S_{\max 1} = \frac{d}{2} = \frac{630,5}{2} = 315,25 \text{ mm}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{124050}{0,75} - 157625$$

$$= 7775 \text{ N}$$

$$\frac{A_v}{S_{\text{perlu}}} = \frac{V_s}{f_y \times d}$$

$$= \frac{7775}{420 \times 620,5}$$

$$= 0,029$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v}{A_v / S_{\text{perlu}}}$$

$$= \frac{157,14}{0,029}$$

$$= 5352,15 \text{ mm}$$

$$\text{Cek Spasi} \quad S_{\text{perlu}} < S_{\max}$$

$$5352,15 \text{ mm} < 315,25 \text{ mm} \quad \text{Pakai S Max}$$

Dipakai jarak sengkang, $S = 300 \text{ mm}$

Cek Kontrol :

$$\begin{aligned} V_s &= \text{Luas Tulangan} \times f_y \times \frac{d}{s} \\ &= 157,14 \times 420 \times \frac{630,5}{300} \\ &= 138710 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 157625 + 138710 \\ &= 296335 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\phi \times V_n}{V_u} &= \frac{0,75 \times 296335}{124050} \\ &= 1,79 > 1 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Maka tulangan yang dipakai = 2D10 – 300

4.5.2.2.1. Rekapitulasi Penulangan Geser Balok

Rekapitulasi penulangan geser balok pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.40.

Tabel 4. 40 Rekapitulasi Penulangan Geser Balok

Tipe Balok	Data Penulangan	Tumpuan	Lapangan
B1 300X700	d (mm)	630,50	630,50
	Vu (N)	270150	124050
	Av / S Perlu	0,76	0,03
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	205.42	5352.15
	S Max (mm)	157.63	315.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	150	300
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	φ Vn (N)	326283.75	222251.25
	φ Vn / Vu > 1	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150	2D10 – 300
B2 400X700	d (mm)	630.50	630.50
	Vu (N)	493730	323470
	Av / S Perlu	1.69	0.84

	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	92.86	188.19
	S Max (mm)	157.63	315.25
	Cek Spasi	Pakai S Perlu	Pakai S Perlu
	S Pakai (mm)	75	150
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	573755.00	365690.00
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 75	2D10 – 150
B3 600X1200	d (mm)	1124.50	1124.50
	V _u (N)	516260	357900
	A _v / S Perlu	0.27	-
	A _v Min	-	0.50
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	13	13
	Luas (mm ²)	265.57	265.57
	S Perlu (mm)	994.69	531.14
	S Max (mm)	281.13	562.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Perlu
	S Pakai (mm)	150	300
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	1048821.15	735254.33
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D13 – 150	2D13 – 300
B4 250X300	d (mm)	230.50	230.50
	V _u (N)	23480	21400
	A _v Min	0.21	0.21
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	754.29	754.29
	S Max (mm)	150.00	115.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	100	100
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	74048.13	74048.13
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK

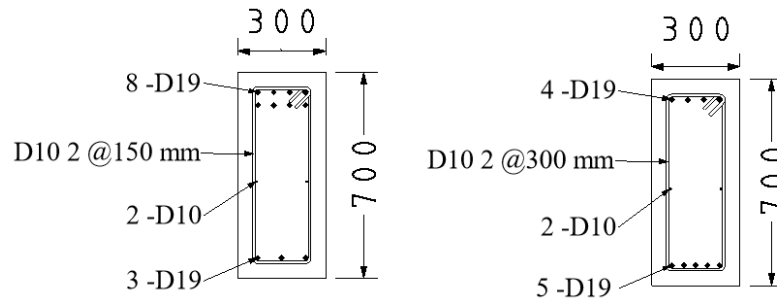
	Dipakai Tulangan	2D10 – 100	2D10 – 100
B5 450X900	d (mm)	824.50	824.50
	Vu (N)	583950	305960
	Av / S Perlu	1.36	0.29
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	13	13
	Luas (mm ²)	265.57	265.57
	S Perlu (mm)	195.91	931.20
	S Max (mm)	206.13	412.25
	Cek Spasi	Pakai S Perlu	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	150	300
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	φ Vn (N)	691714.28	461802.45
	φ Vn / Vu > 1	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D13 – 150	2D13 – 300
B6 300X300	d (mm)	230.50	230.50
	Vu (N)	41470	40450
	Av Min	0.25	0.25
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	628.57	628.57
	S Max (mm)	150.00	115.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	100	100
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	φ Vn (N)	157316.25	157316.25
	φ Vn / Vu > 1	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 100	2D10 – 100
B7 550X1050	d (mm)	974.50	974.50
	Vu (N)	703210	441050
	Av / S Perlu	1.20	0.35
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	13	13
	Luas (mm ²)	265.57	265.57
	S Perlu (mm)	221.39	768.60
	S Max (mm)	243.63	487.25
	Cek Spasi	Pakai S Perlu	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	150	300

	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	878463.03	606723.70
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D13 – 150	2D13 – 300
BP 150X600	d (mm)	550.50	550.50
	V_u (N)	14890	15360
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Min (mm)	275.25	275.25
	S Pakai (mm)	300	300
	S Pakai > S Min	OK	OK
	ϕV_n (N)	142441.88	142441.88
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 300	2D10 – 300
ba1 300X700	d (mm)	630.50	630.50
	V_u (N)	81860	80230
	A_v Min	0.25	0.25
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	628.57	628.57
	S Max (mm)	157.63	315.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Max
	S Pakai (mm)	150	300
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	326283.75	222251.25
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150	2D10 – 300
ba2 250X500	d (mm)	430.50	430.50
	V_u (N)	81150	54240
	A_v / S Perlu	0.10	-
	A_v Min	-	0.21
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	1534.80	754.29
	S Max (mm)	150.00	215.25
	Cek Spasi	Pakai S Max	Pakai S Max

	S Pakai (mm)	150	150
	S Pakai < S Perlu	OK	OK
	ϕV_n (N)	209330.63	209330.63
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150	2D10 – 150
ba3 400X700	d (mm)	630.50	630.50
	V_u (N)	112600	72200
	A_v Min	0.33	-
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	471.43	-
	S Min (mm)	-	315.25
	S Max (mm)	157.63	-
	Cek Spasi	Pakai S Max	-
	S Pakai (mm)	150	350
	S Pakai < S Perlu	OK	-
	S Pakai > S Min	-	OK
	ϕV_n (N)	365690.00	246795.71
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150	2D10 – 350
ba4 300X300	d (mm)	230.50	230.50
	V_u (N)	21840	20820
	A_v Min	0.25	-
	Jumlah Kaki (buah)	2	2
	Diameter Tulangan (mm)	10	10
	Luas (mm ²)	157.14	157.14
	S Perlu (mm)	628.57	-
	S Min (mm)	-	115.25
	S Max (mm)	150.00	-
	Cek Spasi	Pakai S Max	-
	S Pakai (mm)	150	150
	S Pakai < S Perlu	OK	-
	S Pakai > S Min	-	OK
	ϕV_n (N)	119283.75	119283.75
	$\phi V_n / V_u > 1$	OK	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150	2D10 – 150

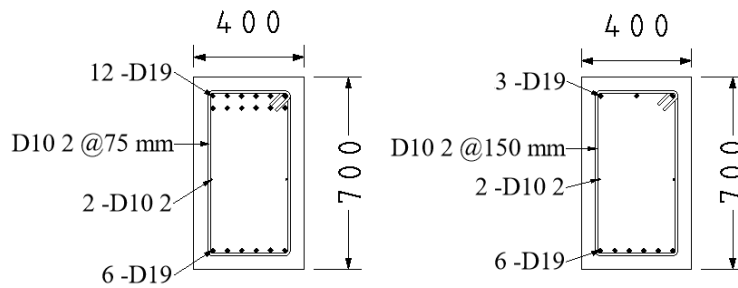
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.20. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B1.



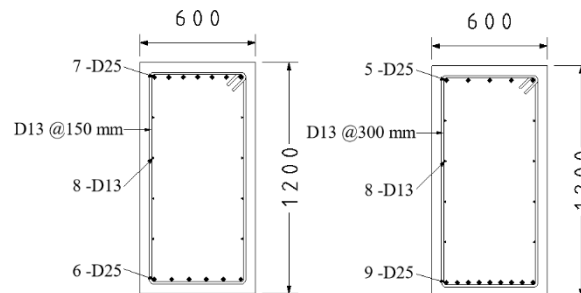
Gambar 4. 20 Hasil Penulangan B1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.21. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B2.



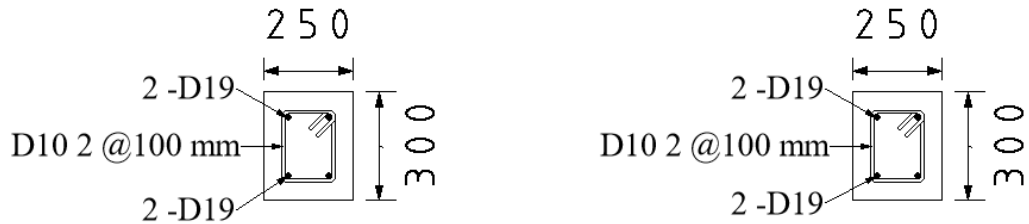
Gambar 4. 21 Hasil Penulangan B2
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.22. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B3.



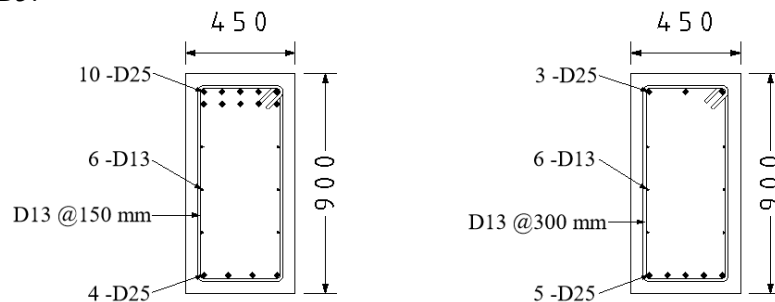
Gambar 4. 22 Hasil Penulangan B3
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.23. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B4.



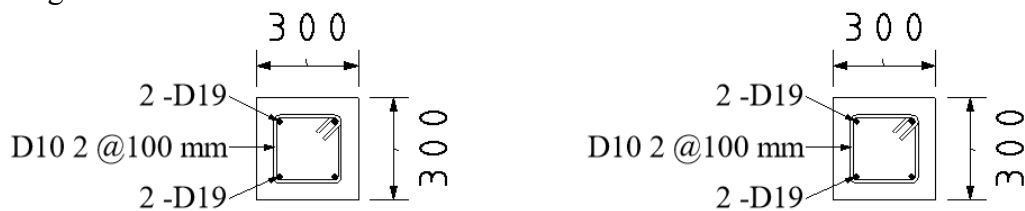
Gambar 4. 23 Hasil Penulangan B4
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.24. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B5.



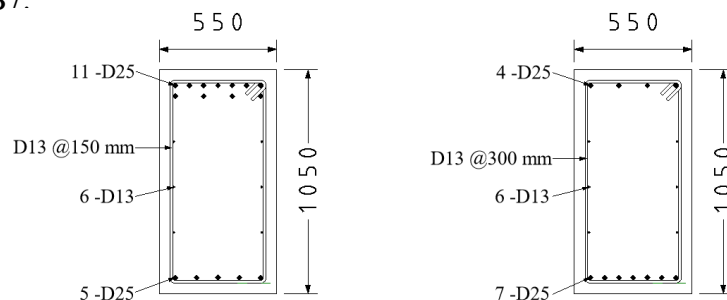
Gambar 4. 24 Hasil Penulangan B5
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.25. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B6.



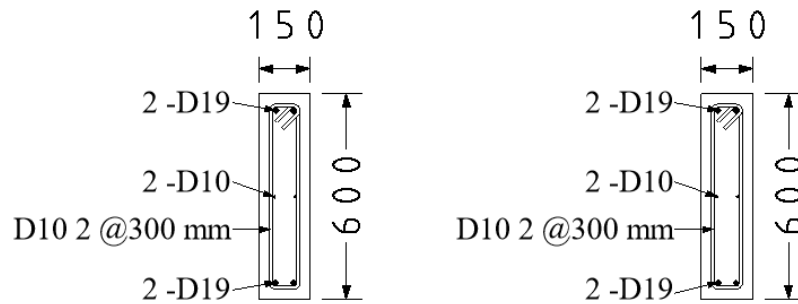
Gambar 4. 25 Hasil Penulangan B6
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.26. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser B7.



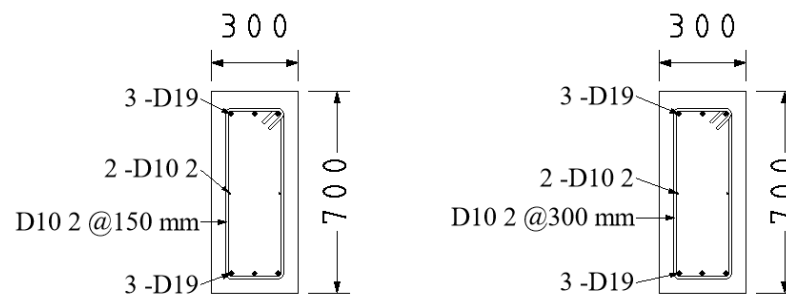
Gambar 4. 26 Hasil Penulangan B7
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.27. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser BP.



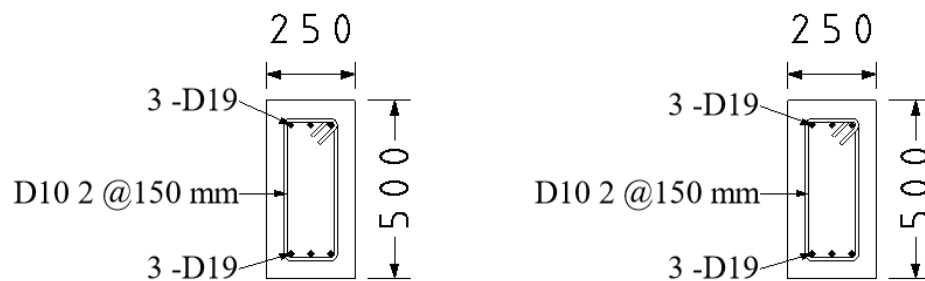
Gambar 4. 27 Hasil Penulangan BP
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.28. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser ba1.



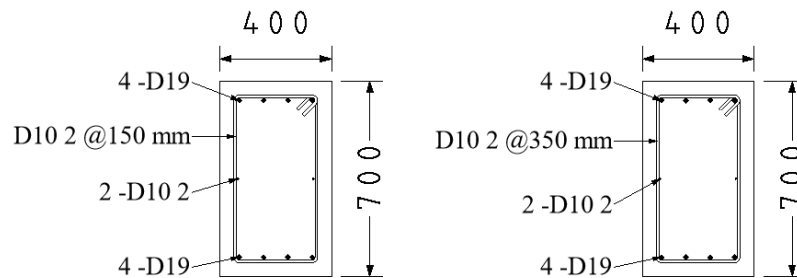
Gambar 4. 28 Hasil Penulangan ba1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.29. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser ba2.



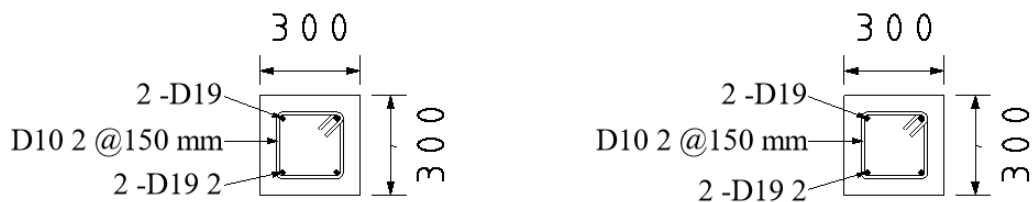
Gambar 4. 29 Hasil Penulangan ba2
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.30. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser ba3.



Gambar 4. 30 Hasil Penulangan ba3
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.31. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser ba4.



Gambar 4. 31 Hasil Penulangan ba4
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.5.3. Perhitungan Penulangan Kolom

Untuk merencanakan tulangan kolom, terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu nilai gaya aksial, luas tulangan perlu, dan gaya geser dari masing-masing tipe kolom. Nilai gaya aksial dan luass tulangan perlu untuk perhitungan tulangan lentur kolom, sedangkan gaya geser untuk perhitungan tulangan geser kolom. Nilai-nilai tersebut merupakan output dari *software* Autodesk RSAP. Berikut adalah perhitungan penulangan kolom :

Tipe Kolom = K1

Dimensi Kolom = 1050 mm

Tinggi Kolom = 3800 mm

Mutu Beton = 25 MPa

Mutu Tulangan = 420 MPa

Perhitungan tinggi efektif kolom

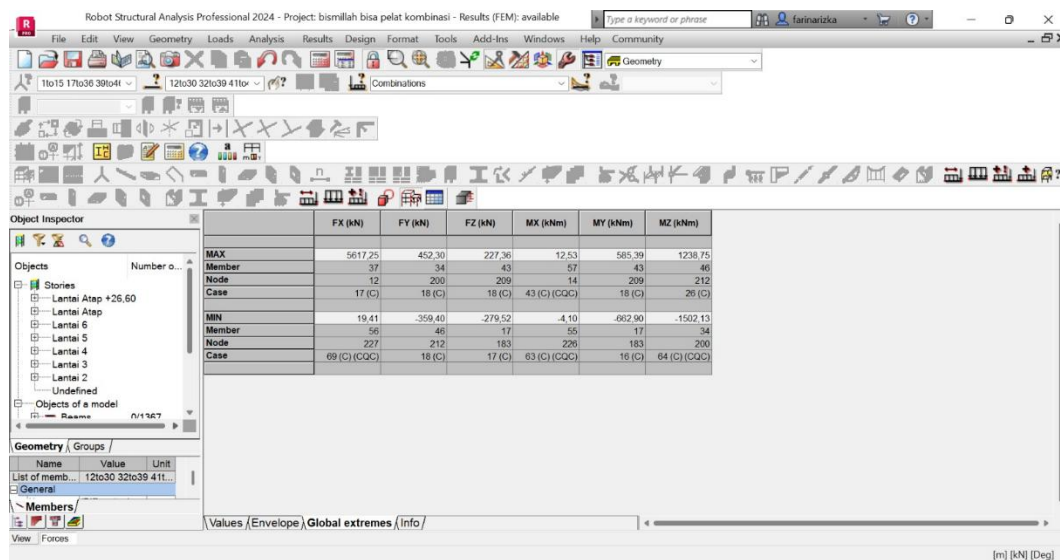
d = tinggi kolom – tinggi balok

$$= 3800 - 900$$

$$= 2900 \text{ mm}$$

4.5.3.1. Perhitungan Penulangan Lentur Kolom

Untuk menghitung penulangan lentur kolom dibutuhkan nilai gaya aksial dan luas tulangan perlu. Berikut di bawah ini Gambar 4.32. menunjukkan hasil gaya-gaya dalam pada kolom tipe K1.



Gambar 4. 32 Hasil Gaya-Gaya Dalam pada K1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan gambar di atas gaya aksial terbesar K1 terletak pada member 37 yaitu sebesar 5617 kN. Member 37 memiliki luas tulangan perlu sebesar 5512,5 mm². Direncanakan diameter tulangan kolom K1 menggunakan D32, sehingga dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 32^2 \\ &= 804,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan jumlah tulangan = 16 buah, maka :

$$\begin{aligned} \text{As Pakai} &= \text{Jumlah Tulangan} \times \text{Luas Tulangan} \\ &= 16 \times 804,57 \\ &= 12873,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Tulangan

$$12873,14 \text{ mm}^2 > 5512,5 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.4.4.1, syarat rasio tulangan harus diantara 1% sampai 6%, maka :

$$\begin{aligned} \text{Rasio Tulangan} &= \frac{\text{As Pakai}}{\text{Dimensi Kolom}} \\ &= \frac{12873,1}{1050 \times 1050} \\ &= 1,17\% \end{aligned}$$

$$\text{Syarat Rasio Tulangan} \quad 1\% < 1,17\% < 6\% \quad \text{OK}$$

Maka tulangan yang dipakai = 16D32

$$\begin{aligned} \text{Sn pakai} &= \frac{b - 2 \times \text{Selimut Beton} - 2 \times \emptyset \text{ Tulangan Sengkang} - n \times \emptyset \text{ Tulangan Lentur}}{n - 1} \\ &= \frac{1050 - 2 \times 25 - 2 \times 13 - 5 \times 32}{5 - 1} \\ &= 203,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat Sn Max} > \text{Sn Pakai} > \text{Sn Min}$$

$$350 \text{ mm} > 203,5 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

4.5.3.1.1. Rekapitulasi Penulangan Lentur Kolom

Rekapitulasi penulangan lentur kolom pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.41.

Tabel 4. 41 Rekapitulasi Penulangan Lentur Kolom

Tipe Kolom	Data Penulangan	Nilai
K1 1050X1050	Pu (N)	5617250
	As Perlu RSAP (mm ²)	5512,5
	Diameter Tulangan (mm)	32
	Luas (mm ²)	804,57
	Jumlah Tulangan (buah)	16
	As Pakai (mm ²)	12873
	As Pakai > As Perlu	OK
	Rasio Tulangan (%)	1,17
	1% < Rasio Tulangan < 6%	OK
	Sn Pakai (mm)	203,5
	350 mm > Sn Pakai > 40 mm	OK
	Dipakai Tulangan	16D32
K2 750X750	Pu (N)	1085020
	As Perlu RSAP (mm ²)	4018,01
	Diameter Tulangan (mm)	25
	Luas (mm ²)	491,07
	Jumlah Tulangan (buah)	12

	As Pakai (mm ²)	5892,9
	As Pakai > As Perlu	OK
	Rasio Tulangan (%)	1,05
	1% < Rasio Tulangan < 6%	OK
	Sn Pakai (mm)	191,33
	350 mm > Sn Pakai > 40 mm	OK
	Dipakai Tulangan	12D25
K3 550X550	Pu (N)	1844660
	As Perlu RSAP (mm ²)	3141,8
	Diameter Tulangan (mm)	25
	Luas (mm ²)	491,07
	Jumlah Tulangan (buah)	8
	As Pakai (mm ²)	3928,6
	As Pakai > As Perlu	OK
	Rasio Tulangan (%)	1,3
	1% < Rasio Tulangan < 6%	OK
	Sn Pakai (mm)	202,5
	350 mm > Sn Pakai > 40 mm	OK
	Dipakai Tulangan	8D25
K4 300X300	Pu (N)	162910
	As Perlu RSAP (mm ²)	450
	Diameter Tulangan (mm)	19
	Luas (mm ²)	283,64
	Jumlah Tulangan (buah)	4
	As Pakai (mm ²)	1134,6
	As Pakai > As Perlu	OK
	Rasio Tulangan (%)	1,26
	1% < Rasio Tulangan < 6%	OK
	Sn Pakai (mm)	192
	350 mm > Sn Pakai > 40 mm	OK
	Dipakai Tulangan	4D19

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

4.5.3.2. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

Untuk menghitung penulangan geser kolom dibutuhkan nilai gaya geser dari masing-masing tipe kolom. Berdasarkan Gambar 4.32. menunjukkan bahwa gaya geser terbesar K1 terletak pada member 17 dengan nilai gaya geser sebesar 279,52 kN. Direncanakan tulangan sengkang dengan menggunakan Ø13 dengan jumlah kaki 4 buah, sehingga dapat dihitung :

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \text{Jumlah Kaki} \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times 4
 \end{aligned}$$

$$= 531,14 \text{ mm}^2$$

$$V_u = 279,52 \text{ kN} = 279520 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 1050 \times 2900 \\ &= 3002410,49 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u > 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$279520 > 0,5 \times 0,75 \times 3002410,49$$

$$279520 \text{ N} > 1125903,93 \text{ N} \quad \text{NOT OK}$$

Karena $V_u < 0,5 \times \phi \times V_c$ maka dipasang sengkang dengan jarak minimum (S min) pada daerah kritis yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S_{\text{min 1}} &= \frac{b}{4} \\ &= \frac{1050}{4} \\ &= 262,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{min 2}} &= 6 \times D \\ &= 6 \times 32 \\ &= 192 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{min 3}} = 100 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min 4}} = 150 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang, $S = 200 \text{ mm}$

Maka tulangan yang dipakai = 4D13 – 200

4.5.3.2.1. Rekapitulasi Penulangan Geser Kolom

Rekapitulasi penulangan geser kolom pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.42.

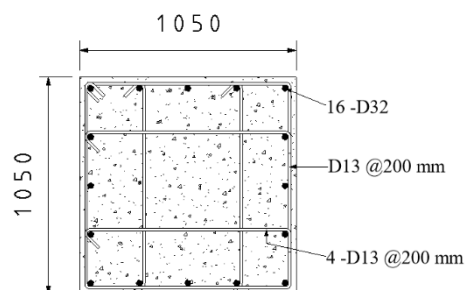
Tabel 4. 42 Rekapitulasi Penulangan Geser Kolom

Tipe Kolom	Data Penulangan	Nilai
K1 1050X1050	Vu (N)	279520
	Jumlah Kaki (buah)	4
	Diameter Tulangan (mm)	13
	Luas (mm ²)	132,79
	S Min (mm)	100
	S Pakai (mm)	200
	S Pakai ≥ S Min	OK

	Dipakai Tulangan	4D13 – 200
K2 750X750	Vu (N)	392270
	Jumlah Kaki (buah)	2
	Diameter Tulangan (mm)	13
	Luas (mm ²)	132,79
	S Min (mm)	100
	S Pakai (mm)	200
	S Pakai $\geq$ S Min	OK
	Dipakai Tulangan	2D13 – 200
	Vu (N)	68880
K3 550X550	Jumlah Kaki (buah)	2
	Diameter Tulangan (mm)	10
	Luas (mm ²)	78,57
	S Min (mm)	100
	S Pakai (mm)	150
	S Pakai $\geq$ S Min	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150
	Vu (N)	21890
	Jumlah Kaki (buah)	2
K4 300X300	Diameter Tulangan (mm)	10
	Luas (mm ²)	78,57
	S Min (mm)	75
	S Pakai (mm)	150
	S Pakai $\geq$ S Min	OK
	Dipakai Tulangan	2D10 – 150

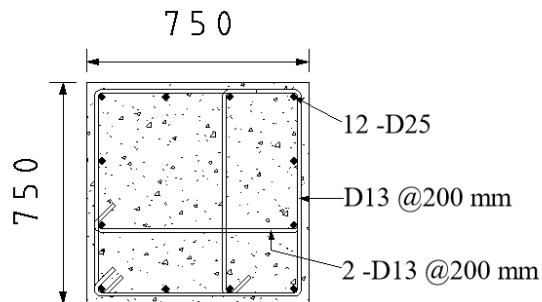
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar... menampilkan hasil penulangan lentur dan geser K1.



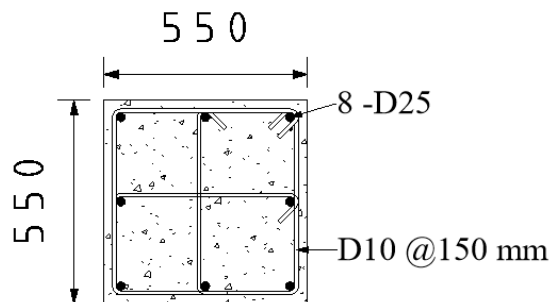
Gambar 4. 33 Hasil Penulangan K1
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.34. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser K2.



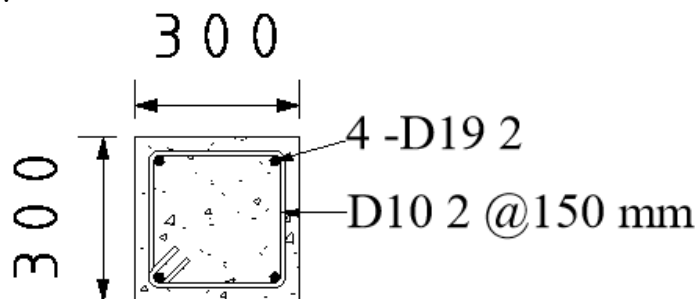
Gambar 4. 34 Hasil Penulangan K2
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.35. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser K3.



Gambar 4. 35 Hasil Penulangan K3
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.36. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser K4.



Gambar 4. 36 Hasil Penulangan K4
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.6. Perencanaan Struktur Bawah

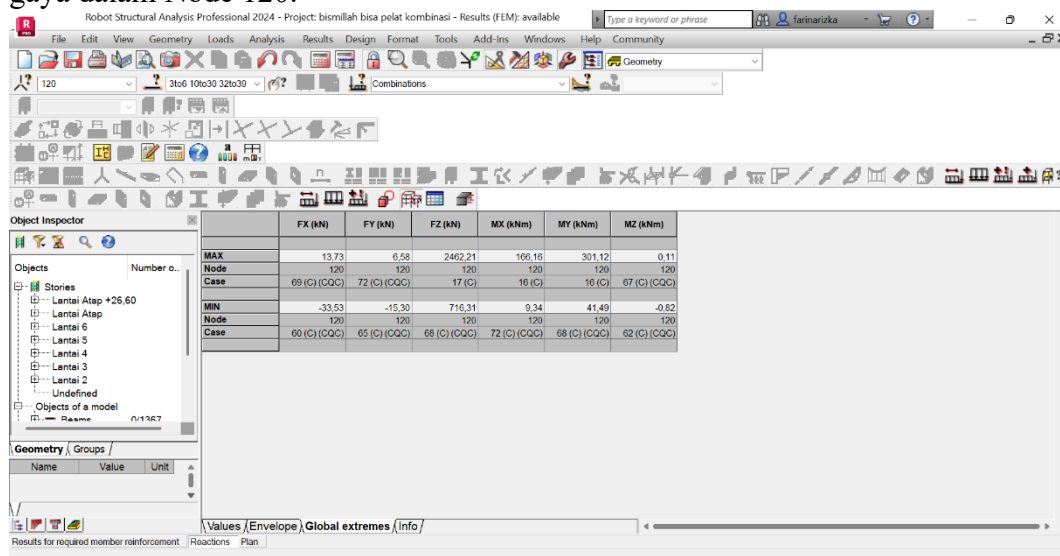
4.6.1. Perencanaan Dimensi Bore Pile

Untuk merencanakan dimensi bore pile, terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu nilai gaya aksial, dan SPT. Nilai gaya aksial merupakan output dari *software* Autodesk RSAP. Sedangkan nilai SPT merupakan hasil dari pengujian tanah di sekitar proyek. Berikut adalah perhitungan dimensi bore pile :

Node = 120

Tipe Kolom = K3 550X550

Berikut di bawah ini merupakan Gambar 4.37. yang menampilkan hasil gaya-gaya dalam Node 120.



The screenshot shows the Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2024 interface. The 'Object Inspector' panel on the left lists the model hierarchy, including 'Stories', 'Lantai Atap +26.60', 'Lantai 6', 'Lantai 5', 'Lantai 4', 'Lantai 3', 'Lantai 2', 'Undefined', 'Objects of a model', and 'Rease' (likely Release). The main window displays a table of internal forces for Node 120. The table has columns for FX (kN), FY (kN), FZ (kN), MX (kNm), MY (kNm), and MZ (kNm). It shows values for MAX, MIN, and Case combinations.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	13.73	6.58	2462.21	100.16	301.12	0.11
Node	120	120	120	120	120	120
Case	69 (C) (CQC)	72 (C) (CQC)	17 (C)	16 (C)	16 (C)	67 (C) (CQC)
MIN	-33.53	-15.30	716.31	9.34	41.49	-0.82
Node	120	120	120	120	120	120
Case	60 (C) (CQC)	65 (C) (CQC)	68 (C) (CQC)	72 (C) (CQC)	68 (C) (CQC)	62 (C) (CQC)

Gambar 4. 37 Hasil Gaya-Gaya Dalam Node 120

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Ø Penampang Tiang (D) = 850 mm

Beban yang Diterima (Pu) = 2462,21 kN

Panjang Tiang (L) = 18 m = 18000 mm

Data Tanah :

Nilai SPT = 60

$$\begin{aligned}\text{Luas Penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 850^2 \\ &= 567679 \text{ mm}^2 = 0,57 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Keliling Penampang (K)} &= \pi \times d \\
&= 3,14 \times 850 \\
&= 2671,43 \text{ mm} = 2,67 \text{ m} \\
\text{Volume (V)} &= \text{Luas} \times \text{Panjang Tiang} \\
&= 0,57 \times 18 \\
&= 10,22 \text{ m}^3 \\
\text{Koheesi Tanah (Cu)} &= \frac{2}{3} \times NSPT \times 10 \\
&= \frac{2}{3} \times 60 \times 10 \\
&= 400 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate ujung tiang (Q_p) pada tanah kohesif

$$\begin{aligned}
Q_p &= 9 \times C_u \times A \\
&= 9 \times 400 \times 0,57 \\
&= 2043,64 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Menghitung daya dukung ultimate tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_p = 2043,64 \text{ kN}$$

Menghitung daya dukung netto (Q_{nett})

$$\begin{aligned}
\omega &= V \times \gamma_{\text{beton}} \\
&= 10,22 \times 24 \\
&= 245,24 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{nett} &= Q_u - \omega \\
&= 2043,64 - 245,24 \\
&= 1798,41 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Menghitung kebutuhan fondasi (n)

$$\begin{aligned}
n &= \frac{P_u}{Q_{nett}} \\
&= \frac{2462,21}{1798,41} \\
&= 1,37 \approx 2 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Menghitung efisiensi fondasi (Eff)

$$\text{Jumlah Baris (m)} = 2$$

$$\text{Jumlah Tiang dalam 1 Baris (n')} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Antar Fondasi (S)} &= 2,5D \sim 3D \\
 &= 2,5 \times 850 \sim 3 \times 850 \\
 &= 2125 \sim 2550 \text{ dipakai } 2125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta &= \arctan\left(\frac{D}{S}\right) \\
 &= \arctan\left(\frac{850}{2125}\right) \\
 &= 21,8^\circ
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Eff} &= 1 - \theta \times \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \\
 &= 1 - 21,8 \times \frac{(1-1) \times 2 + (2-1) \times 1}{90 \times 2 \times 1} \\
 &= 0,88
 \end{aligned}$$

Menghitung daya dukung izin (Qall)

$$\begin{aligned}
 Q_{all} &= n \times \text{Eff} \times Q_{nett} \\
 &= 2 \times 0,88 \times 1798,41 \\
 &= 3161,17 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Cek Kontrol $P < Q_{all}$

$$2462,21 \text{ kN} < 3161,17 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

4.6.1.1. Rekapitulasi Dimensi Bore Pile

Rekapitulasi dimensi bore pile pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.43.

Tabel 4. 43 Rekapitulasi Dimensi Bore Pile

Node	Tipe Kolom	Pu (kN)	Ø Bore Pile (mm)	S (mm)	n (buah)	Qall (kN)	Syarat P < Qall	Tipe Pile Cap
44	K2	1351.04	850	0	1	1798,41	OK	PC1a
61	K3	1057.38	700	0	1	1219.68	OK	PC1b
120	K3	2462.21	850	2125	2	3161.17	OK	PC2a
15	K2	2034.25	700	1750	2	2143.91	OK	PC2b
40	K1	5476.91	850	2210	4	5512.11	OK	PC4
12	K1	7035.83	850	2125	6	7740.94	OK	PC6a
60&7	K1	5290.8	700	1820	6	5322.38	OK	PC6b

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

4.6.2. Perencanaan Dimensi Pile Cap

Perencanaan dimensi pile cap didasarkan pada perhitungan kebutuhan bore pile.

Berikut adalah perhitungan dimensi pile cap :

Tipe Pile Cap	= PC2a
Ø Fondasi	= 850 mm
Dimensi Kolom Panjang	= 550 mm
Dimensi Kolom Pendek	= 550 mm
Jarak Antar Fondasi (S)	= 2125 mm
Mutu Beton	= 25 MPa
Mutu Tulangan	= 420 MPa
Gaya Aksial (Pu)	= 2462,21 kN

Direncanakan dimensi pile cap :

Jarak Tiang ke Tiang	= 1D ~ 2D
	= 1 × 850 ~ 2 × 850
	= 850 ~ 1700 dipakai 850 mm
Panjang Pile Cap	= 2 × Jarak Tiang ke Tiang
	= 2 × 850
	= 1700 mm
Lebar Pile Cap	= 2 × Jarak Tiang ke Tiang + Jarak Antar Tiang
	= 2 × 850 + 2125
	= 3825 mm
Tebal Pile Cap (T)	≥ 300 mm
Digunakan Tebal	= 1500 mm

Cek Kontrol Terhadap Gaya Geser 1 Arah (Arah X)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{Pu}{A} \\ &= \frac{2462,21}{1700 \times 3825} \\ &= 0,00038 \text{ kN/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal Efektif Pile Cap (d)} &= T - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 1500 - 85 - \frac{1}{2} \times 850\end{aligned}$$

$$= 1405,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Daerah Pembebanan Geser Satu Arah (G')} &= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} + d \right) \\ &= 1700 - \left(\frac{1700}{2} + \frac{550}{2} + 1405,5 \right) \\ &= -830,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 0,00036 \times 1700 \times 830,5 \\ &= 534,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times L \times d \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 1700 \times 1405,5 \\ &= 1493343,8 \text{ N} = 1493,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

Syarat $\phi V_c > V_u$

$$1493,34 \text{ kN} > 534,60 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Cek Kontrol Terhadap Gaya Geser 1 Arah (Arah Y)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{Pu}{A} \\ &= \frac{2462,21}{1700 \times 3825} \\ &= 0,00038 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal Efektif Pile Cap (d)} &= T - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\ &= 1500 - 85 - \frac{1}{2} \times 850 \\ &= 1405,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daerah Pembebanan Geser Satu Arah (G')} &= L - \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} + d \right) \\ &= 3825 - \left(\frac{3825}{2} + \frac{550}{2} + 1405,5 \right) \\ &= 232 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \sigma \times L \times G' \\ &= 0,00036 \times 3825 \times 232 \\ &= 336,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times L \times d \\ &= 0,75 \times \frac{\sqrt{25}}{6} \times 3825 \times 1405,5 \end{aligned}$$

$$= 3360023 \text{ N} = 3360,02 \text{ kN}$$

Syarat $\phi V_c > V_u$

$$3360,02 \text{ kN} > 336,02 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Cek Kontrol Terhadap Gaya Geser 2 Arah

$$B' \text{ dan } L' = \text{Lebar Kolom} + \frac{d}{2} \times 2$$

$$= 550 + \frac{1405,5}{2} \times 2$$

$$= 1955,5 \text{ mm}$$

$$b_0 = 2 (B' + L')$$

$$= 2 (1955,5 + 1955,5)$$

$$= 7822 \text{ mm}$$

Menghitung Tegangan Geser dari 3 Persamaan, yaitu sebagai berikut :

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b_0 \times d$$

$$= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 7822 \times 1405,5$$

$$= 28034244 \text{ N} = 28034,24 \text{ kN}$$

$$V_{c2} = \frac{1}{12} \times \left(\frac{a \times d}{b_0} + 2\right) \times \lambda \times f_c \times b_0 \times d$$

$$= \frac{1}{12} \times \left(\frac{40 \times 1405,5}{7822} + 2\right) \times 1 \times 25 \times 7822 \times 1405,5$$

$$= 42085355 \text{ N} = 42085,36 \text{ kN}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \times (\lambda \times \sqrt{f_c} \times b_0 \times d)$$

$$= \frac{1}{3} \times (1 \times \sqrt{25} \times 7822 \times 1405,5)$$

$$= 18323035 \text{ N} = 18323,04 \text{ kN}$$

Diambil nilai V_c terkecil, maka $V_c = 18323,04 \text{ kN}$

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

$$= 0,75 \times 18323,04$$

$$= 13742,28 \text{ kN}$$

Tegangan yang terjadi pada tanah

$$V_u = \sigma \times (L \times B - L' \times B')$$

$$= 0,00038 \times (1700 \times 3825 - 1955,5 \times 1955,5)$$

$$= 1014,24 \text{ kN}$$

Syarat $\phi V_c > V_u$

$$13742,28 \text{ kN} > 1014,24 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

4.6.2.1. Rekapitulasi Dimensi Pile Cap

Rekapitulasi dimensi pile cap pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.44.

Tabel 4. 44 Rekapitulasi Dimensi Pile Cap

Tipe Pile Cap	Jumlah Pile (buah)	Ø Bore Pile (mm)	Dimensi Pile Cap (mm)		ϕV_c (kN)	V_u (kN)	Syarat $\phi V_c > V_u$
PC1a	1	850	Panjang	1700	7623,83	350,08	OK
			Lebar	1700			
			Tebal	1000			
PC1b	1	700	Panjang	1400	6767,98	663,24	OK
			Lebar	1400			
			Tebal	1000			
PC2a	2	850	Panjang	1700	13742,28	534,61	OK
			Lebar	3825			
			Tebal	1500			
PC2b	2	700	Panjang	1400	12160,23	663,24	OK
			Lebar	2900			
			Tebal	1200			
PC4	4	850	Panjang	3910	8853,53	734,69	OK
			Lebar	3910			
			Tebal	1000			
PC6a	6	850	Panjang	5950	11914,53	2473,12	OK
			Lebar	3825			
			Tebal	1200			
PC6b	6	700	Panjang	5040	2899,58	4024,93	OK
			Lebar	3220			
			Tebal	1000			

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

4.6.3. Perhitungan Penulangan Bore Pile

Untuk merencanakan tulangan bore pile, terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu nilai beban lateral dan momen dari masing-masing kolom yang meneruskan

gaya ke fondasi. Nilai-nilai tersebut merupakan output dari *software* Autodesk RSAP. Berikut adalah perhitungan penulangan bore pile :

Ø Bore Pile (b)	= 850 mm
Selimut Beton (sb)	= 85 mm
Jumlah Pile (n)	= 2 buah
Mutu Beton	= 25 MPa
Mutu Tulangan	= 420 MPa
Tebal Pile Cap (T)	= 1500 mm
Ø Tulangan Lentur	= 19 mm
Ø Tulangan Spiral	= 10 mm

Perhitungan tinggi efektif bore pile

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{selimut beton} - \text{Ø Tulangan Spiral} - \frac{1}{2} \times \text{Ø Tulangan Utama} \\
 &= 850 - 85 - 10 - \frac{1}{2} \times 19 \\
 &= 745,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan batasan tulangan

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times \frac{f_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,019
 \end{aligned}$$

4.6.3.1. Perhitungan Penulangan Lentur Bore Pile

Berikut adalah perhitungan penulangan lentur bore pile :

Beban Lateral Kolom Arah X (Vx)	= 33,53 kN
Beban Lateral Kolom Arah Y (Vy)	= 15,3 kN
Momen Kolom Arah X (Mx)	= 166,16 kNm
Momen Kolom Arah Y (My)	= 301,12 kNm
Momen Arah X (Mux)	= Mx + Vy × T
	= 166,16 + 15,3 × 1,5

$$= 189,11 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Arah Y (Muy)} &= M_y + V_x \times T \\ &= 301,12 + 33,53 \times 1,5 \\ &= 351,42 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Arah X yang Diterima Masing-Masing Tiang Pile (Mupx)} &= \frac{M_{ux}}{n} \\ &= \frac{189,11}{2} \\ &= 94,56 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Arah Y yang Diterima Masing-Masing Tiang Pile (Mupy)} &= \frac{M_{uy}}{n} \\ &= \frac{352,42}{2} \\ &= 175,71 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Dua Arah (MupR)} &= \sqrt{(M_{upx}^2 + M_{upy}^2)} \\ &= \sqrt{(94,56^2 + 175,71^2)} \\ &= 199,53 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{upR}}{\phi} \\ &= \frac{199,53}{0,8} \\ &= 249,42 \text{ kNm} = 249417363,5 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{249417363,5}{850 \times 745,5^2} \\ &= 0,53\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,53}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0013\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat } \rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0,0033 &< 0,0013 > 0,019\end{aligned}$$

$$\text{Dipakai } \rho = 0,0033$$

$$\begin{aligned}
 \text{As Perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 850 \times 745,5 \\
 &= 2112,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{\text{As Perlu}}{0,25 \times \pi \times d^2} \\
 &= \frac{2112,25}{0,25 \times 3,14 \times 19^2} \\
 &= 7,47 \approx 15 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Cek Kontrol

$$\begin{aligned}
 \text{As Pakai} &= n \times \text{Luas Tulangan} \\
 &= 15 \times 283,64 \\
 &= 4254,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$4254,64 \text{ mm}^2 > 2112,25 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka dipakai tulangan = 15D19

$$\begin{aligned}
 \text{Sn Pakai} &= \frac{K}{(n-1)} \\
 &= \frac{2671,43}{(15-1)} \\
 &= 190,82 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat Sn max > Sn Pakai > Sn min

$$200 \text{ mm} > 190,82 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

4.6.3.1.1. Rekapitulasi Penulangan Lentur Bore Pile

Rekapitulasi penulangan lentur bore pile pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 45 Rekapitulasi Penulangan Lentur Bore Pile

Node	Tipe Kolom	Tipe Pile Cap	Data Penulangan	Nilai
44	K2	PC1a	Mu (kNm)	210,15
			Ø Bore Pile (mm)	850
			As Perlu (mm ²)	2112,25
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	15

			As Pakai (mm ²)	4254,64
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	190,82
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	15D19
61	K3	PC1b	Mu (kNm)	58,82
			Ø Bore Pile (mm)	700
			As Perlu (mm ²)	1424,5
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	12
			As Pakai (mm ²)	3403,71
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	200
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	12D19
120	K3	PC2a	Mu (kNm)	199,53
			Ø Bore Pile (mm)	850
			As Perlu (mm ²)	2112,25
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	15
			As Pakai (mm ²)	4254,64
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	190,82
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	15D19
15	K2	PC2b	Mu (kNm)	110,49
			Ø Bore Pile (mm)	700
			As Perlu (mm ²)	1424,5
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	12
			As Pakai (mm ²)	3403,71
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	200
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	12D19
40	K1	PC4	Mu (kNm)	155,6

			Ø Bore Pile (mm)	850
			As Perlu (mm ²)	2112,25
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	15
			As Pakai (mm ²)	4254,64
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	190,82
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	15D19
12	K1	PC6a	Mu (kNm)	109,68
			Ø Bore Pile (mm)	850
			As Perlu (mm ²)	2112,25
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	15
			As Pakai (mm ²)	4254,64
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	190,82
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
60 & 7	K1	PC6b	Mu (kNm)	186,89
			Ø Bore Pile (mm)	700
			As Perlu (mm ²)	1424,5
			Diameter Tulangan (mm)	19
			Luas (mm ²)	283,64
			Jumlah Tulangan (buah)	12
			As Pakai (mm ²)	3403,71
			As Pakai > As Perlu	OK
			Sn Pakai (mm)	200
			200 mm ≥ Sn Pakai ≥ 40 mm	OK
			Dipakai Tulangan	12D19

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

4.6.3.2. Perhitungan Penulangan Geser Bore Pile

Berikut adalah perhitungan penulangan geser bore pile :

$$\begin{aligned}
 A_g &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 745,5^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 436677 \text{ mm} \\
 bw &= \frac{Ag}{0,8 \times D} \\
 &= \frac{436677}{0,8 \times 850} \\
 &= 642,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas Spiral Perlu

$$\begin{aligned}
 Av \text{ Perlu 1} &= \frac{0,35 \times bw \times D}{fy} \\
 &= \frac{0,35 \times 642,17 \times 850}{420} \\
 &= 454,87 \text{ mm}^2 \\
 Av \text{ Perlu 2} &= 0,062 \times \sqrt{fc} \times \frac{bw \times D}{fy} \\
 &= 0,062 \times \sqrt{25} \times \frac{642,17 \times 850}{420} \\
 &= 402,89 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan Av Perlu = 454,87 mm²

Direncanakan tulangan spiral = D10 – 200

$$\begin{aligned}
 Av \text{ Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \left(\frac{\text{Panjang Tiang}}{\text{Jarak Antar Tulangan}} \right) \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times \left(\frac{18000}{200} \right) \\
 &= 7071,43 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat Av Pakai ≥ Av Perlu

$$7071,43 \text{ mm}^2 \geq 454,87 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

4.6.3.2.1. Rekapitulasi Penulangan Geser Bore Pile

Rekapitulasi penulangan geser bore pile pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.46.

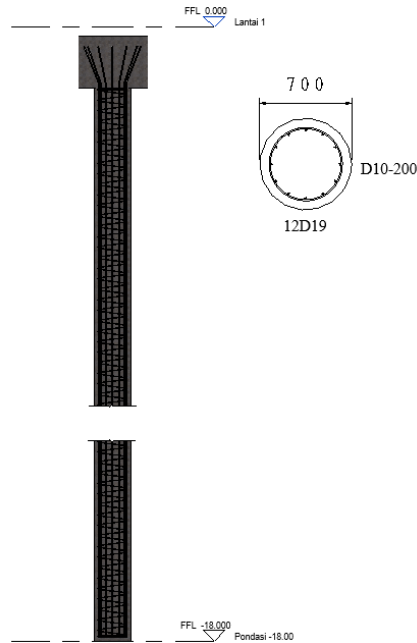
Tabel 4. 46 Rekapitulasi Penulangan Geser Bore Pile

Node	Tipe Kolom	Tipe Pile Cap	Data Penulangan	Nilai
44	K2	PC1a	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	454,87
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai ≥ Av Perlu	OK

			Dipakai Tulangan	D10 – 200
61	K3	PC1b	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	305,05
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200
120	K3	PC2a	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	454,87
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200
15	K3	PC2b	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	305,05
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200
40	K1	PC4	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	454,87
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200
12	K1	PC6a	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	454,87
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200
60 & 7	K1	PC6b	Diameter Tulangan (mm)	10
			Av Perlu (mm ²)	305,05
			S Pakai (mm)	200
			Av Pakai (mm ²)	7071,43
			Av Pakai $\geq$ Av Perlu	OK
			Dipakai Tulangan	D10 – 200

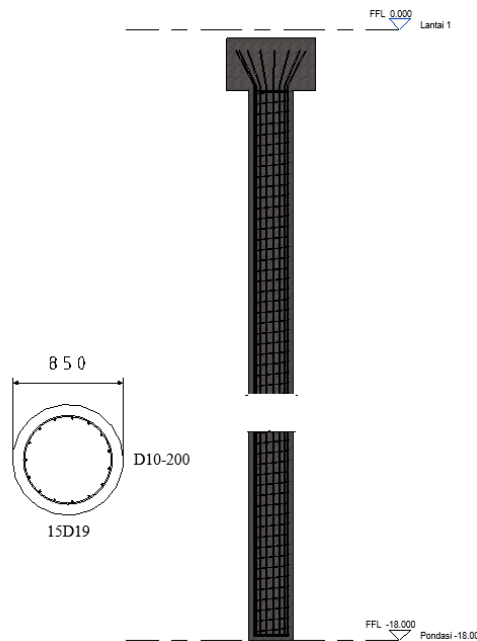
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.38. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser BP700.



Gambar 4. 38 Hasil Penulangan BP700
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.39. menampilkan hasil penulangan lentur dan geser BP850.



Gambar 4. 39 Hasil Penulangan BP850
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.6.4. Perhitungan Penulangan Pile Cap

Untuk merencanakan tulangan bore pile, terdapat beberapa data yang dibutuhkan yaitu nilai gaya aksial dan dimensi pile cap. Nilai-nilai tersebut merupakan output dari *software* Autodesk RSAP dan perhitungan dari perencanaan ulang ini. Berikut adalah perhitungan penulangan pile cap :

Tipe Pile Cap	= PC2a
Dimensi Kolom	= K3 550X550
Dimensi Pile Cap	= 1700 × 3825 mm
Ketebalan	= 1500 mm
Selimut Beton	= 85 mm
Beban Vertikal (Pu)	= 2462,21 kN
Jumlah Pile (n)	= 2 buah
Jarak Antar Fondasi (S)	= 2125 mm
Jarak Tiang ke Tepi	= 850 mm
Mutu Beton	= 25 MPa
Mutu Tulangan	= 420 MPa

1. Perhitungan Tulangan Arah X

Menghitung Lebar Penampang Kritis

$$\begin{aligned} B &= \frac{\text{Lebar Pile Cap}}{2} - \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} \\ &= \frac{1700}{2} - \frac{550}{2} \\ &= 575 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Berat Pile Cap pada Penampang Kritis

$$\begin{aligned} q' &= \gamma_{\text{beton}} \times \text{Lebar Pile Cap} \times \text{Tebal Pile Cap} \\ &= 24 \times 1,7 \times 1,5 \\ &= 61,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Menghitung Momen Ultimate (Mu)

$$\begin{aligned} Mu &= \text{Jumlah Pile Dalam 1 Baris} \times \left(\frac{Pu}{n} \times S \right) - 0,5 \times q' \times B^2 \\ &= 2 \times \left(\frac{2462,21}{2} \times 2,125 \right) - 0,5 \times 61,2 \times 0,575^2 \\ &= 5222,08 \text{ kNm} = 5222079125 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Direncanakan Diameter Tulangan = 25 mm

Menghitung Tebal Efektif Pile Cap

$$\begin{aligned}d &= T - \text{Selimut Beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset \\&= 1500 - 85 - \frac{1}{2} \times 25 \\&= 1402,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mu}{(\phi \times b \times d^2)} \\&= \frac{5222079125}{(0,9 \times 1700 \times 1402,5^2)} \\&= 1,74\end{aligned}$$

Menghitung As

$$\begin{aligned}\text{As Perlu} &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}}\right) \times b \times d \\&= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,74}{0,85 \times 25}}\right) \times 1700 \times 1402,5 \\&= 10289,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As Min 1} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c} \times b \times d}{f_y} \\&= \frac{0,25 \times \sqrt{25} \times 1700 \times 1402,5}{420} \\&= 7095,98 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As Min 2} &= \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \\&= \frac{1,4 \times 1700 \times 1402,5}{420} \\&= 7947,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diambil nilai terbesar, sehingga As = 10289,1 mm²

Direncanakan tulangan bawah (arah X) = D25 – 75

$$\begin{aligned}\text{As Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \left(\frac{\text{Panjang Pile Cap}}{\text{Jarak Antar Tulangan}}\right) \\&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \times \left(\frac{1700}{75}\right) \\&= 11130,95 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$11130,95 \text{ mm}^2 > 10289,1 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, tulangan atas (arah X) nilai yang diberikan sebesar 20% dari tulangan bawah. Oleh karena itu, direncanakan tulangan atas (arah X) = D13 – 75, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \left(\frac{\text{Panjang Tiang}}{\text{Jarak Antar Tulangan}} \right) \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times \left(\frac{1700}{75} \right) \\ &= 3009,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat $A_s' > 20\% A_s \text{ Tulangan Bawah}$

$$3009,81 > 20\% \times 11130,95$$

$$3009,81 \text{ mm}^2 > 2226,19 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Cek Kontrol

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{11130,95 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1700} \\ &= 129,41 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \times f_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 25 \times 129,41 \times 1700 \times \left(1405,5 - \frac{129,41}{2} \right) \\ &= 6268212500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \times M_n &= 0,9 \times 6268212500 \\ &= 5641391250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat $\phi \times M_n > M_u$

$$5641391250 \text{ Nmm} > 6268212500 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

2. Perhitungan Tulangan Arah Y

Menghitung Lebar Penampang Kritis

$$\begin{aligned} B &= \frac{\text{Lebar Pile Cap}}{2} - \frac{\text{Lebar Kolom}}{2} \\ &= \frac{3825}{2} - \frac{550}{2} \\ &= 1637,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Berat Pile Cap pada Penampang Kritis

$$q' = \gamma \text{ beton} \times \text{Lebar Pile Cap} \times \text{Tebal Pile Cap}$$

$$= 24 \times 3,825 \times 1,5$$

$$= 137,7 \text{ kN/m}$$

Menghitung Momen Ultimate (Mu)

$$\text{Mu} = \text{Jumlah Pile Dalam 1 Baris} \times \left(\frac{P_u}{n} \times S \right) - 0,5 \times q' \times B^2$$

$$= 2 \times \left(\frac{2462,21}{2} \times 2,125 \right) - 0,5 \times 137,7 \times 1,64^2$$

$$= 2431,48 \text{ kNm} = 2431483305 \text{ Nmm}$$

Direncanakan Diameter Tulangan = 25 mm

Menghitung Tebal Efektif Pile Cap

$$d = T - \text{Selimut Beton} - \frac{1}{2} \times \emptyset$$

$$= 1500 - 85 - \frac{1}{2} \times 25$$

$$= 1402,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{(\phi \times b \times d^2)}$$

$$= \frac{2431483305}{(0,9 \times 3825 \times 1402,5^2)}$$

$$= 0,34$$

Menghitung As

$$\text{As Perlu} = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c}} \right) \times b \times d$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,34}{0,85 \times 25}} \right) \times 3825 \times 1402,5$$

$$= 4625,87 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Min 1} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c} \times b \times d}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{25} \times 3825 \times 1402,5}{420}$$

$$= 15965,96 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Min 2} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 3825 \times 1402,5}{420}$$

$$= 17881,88 \text{ mm}^2$$

Diambil nilai terbesar, sehingga As = 17881,88 mm²

Direncanakan tulangan bawah (arah X) = D25 – 100

$$\begin{aligned}
 \text{As Pakai} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \left(\frac{\text{Panjang Pile Cap}}{\text{Jarak Antar Tulangan}} \right) \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \times \left(\frac{3825}{100} \right) \\
 &= 18783,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As Pakai > As Perlu

$$18783,48 \text{ mm}^2 > 17881,88 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019, tulangan atas (arah X) nilai yang diberikan sebesar 20% dari tulangan bawah. Oleh karena itu, direncanakan tulangan atas (arah X) = D13 – 100, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{As}' &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \left(\frac{\text{Panjang Tiang}}{\text{Jarak Antar Tulangan}} \right) \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \times \left(\frac{3825}{100} \right) \\
 &= 5079,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat As' > 20% As Tulangan Bawah

$$5079,05 > 20\% \times 18783,48$$

$$5079,05 \text{ mm}^2 > 3756,7 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Cek Kontrol

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{18783,48 \times 420}{0,85 \times 25 \times 3825} \\
 &= 97,06 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \times f_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,85 \times 25 \times 97,06 \times 3825 \times \left(1405,5 - \frac{97,06}{2} \right) \\
 &= 10705225781 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \times M_n &= 0,9 \times 10705225781 \\
 &= 9634703203 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat $\phi \times M_n > M_u$

$$9634703203 \text{ Nmm} > 2431483305 \text{ Nmm} \quad \text{OK}$$

4.6.4.1. Rekapitulasi Penulangan Pile Cap

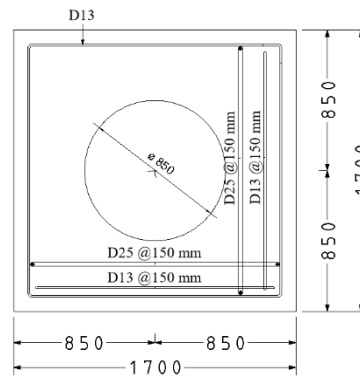
Rekapitulasi penulangan pile cap pada perencanaan ulang ini ditampilkan pada Tabel 4.47.

Tabel 4. 47 Rekapitulasi Penulangan Pile Cap

Tipe Pile Cap	Data Penulangan	Tulangan Atas X	Tulangan Bawah X	Tulangan Atas Y	Tulangan Bawah Y
PC1a	Mu (kNm)	0	0	0	0
	As Perlu (mm ²)	1113,1	5170,83	1113,1	5170,83
	As Pakai (mm ²)	1504,9	5565,48	1504,9	5565,48
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 150	D25 – 150	D13 – 150	D25 – 150
PC1b	Mu (kNm)	0	0	0	0
	As Perlu (mm ²)	916,67	4281,67	916,67	4281,67
	As Pakai (mm ²)	1239,33	4583,33	1239,33	4583,33
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 150	D25 – 150	D13 – 150	D25 – 150
PC2a	Mu (kNm)	5222,08	5222,08	2431,48	2431,48
	As Perlu (mm ²)	2226,19	10289,08	3756,7	17881,88
	As Pakai (mm ²)	3009,81	11130,95	5079,05	18783,48
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 75	D25 – 75	D13 – 100	D25 – 100
PC2b	Mu (kNm)	3050,76	3050,76	1489,96	1489,96
	As Perlu (mm ²)	1833,33	7585,65	2278,57	10802,5
	As Pakai (mm ²)	2478,67	9166,67	3080,63	11392,86
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 75	D25 – 75	D13 – 125	D25 – 125
PC4	Mu (kNm)	5956,04	5956,04	5956,04	5956,04
	As Perlu (mm ²)	3840,18	18407,92	3840,18	18407,92
	As Pakai (mm ²)	5191,92	19200,89	5191,92	19200,89
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 100	D25 – 100	D13 – 100	D25 – 100
PC6a	Mu (kNm)	4469,42	4469,42	7369,53	7369,53
	As Perlu (mm ²)	4675	21866,25	3756,7	18484,22
	As Pakai (mm ²)	6320,6	23375	5079,05	18783,48
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 125	D25 – 125	D13 – 100	D25 – 100
PC6b	Mu (kNm)	2969,04	2969,04	4769,14	4769,14
	As Perlu (mm ²)	3300	15414	3162,5	14449,67
	As Pakai (mm ²)	4461,6	16500	4275,7	15812,5
	As Pakai > As Perlu	OK	OK	OK	OK
	Dipakai Tulangan	D13 – 150	D25 – 150	D13 – 100	D25 – 100

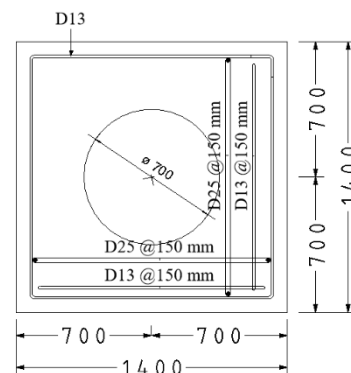
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

PC1a.



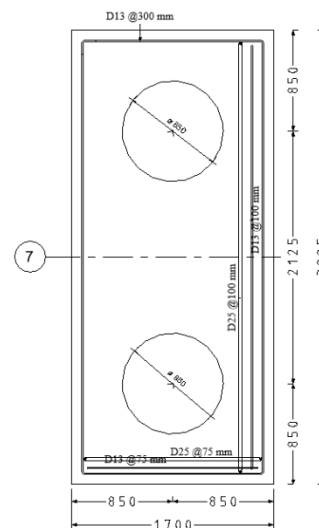
Gambar 4. 40 Hasil Penulangan PC1a
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

PC1b.



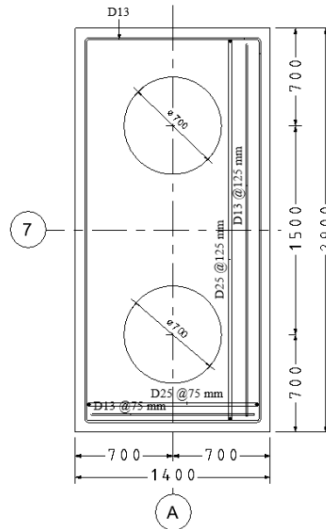
Gambar 4. 41 Hasil Penulangan PC1b
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

PC2a.



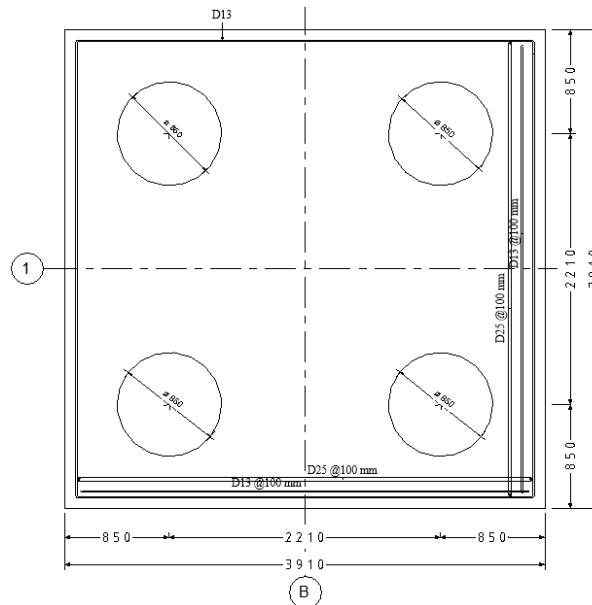
Gambar 4. 42 Hasil Penulangan PC2a
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.43. menampilkan hasil penulangan PC2b.



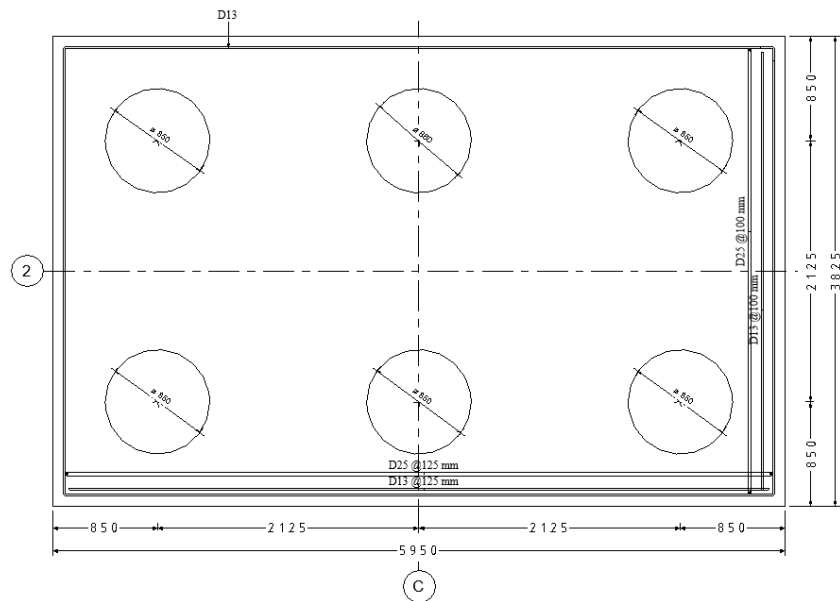
Gambar 4. 43 Hasil Penulangan PC2b
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.44. menampilkan hasil penulangan PC4.



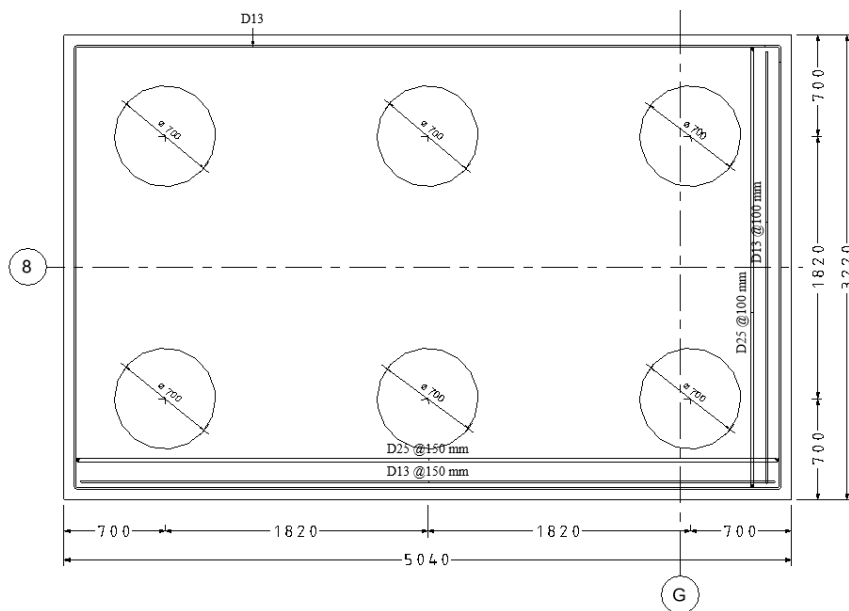
Gambar 4. 44 Hasil Penulangan PC4
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.45. menampilkan hasil penulangan PC6a.



Gambar 4. 45 Hasil Penulangan PC6a
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

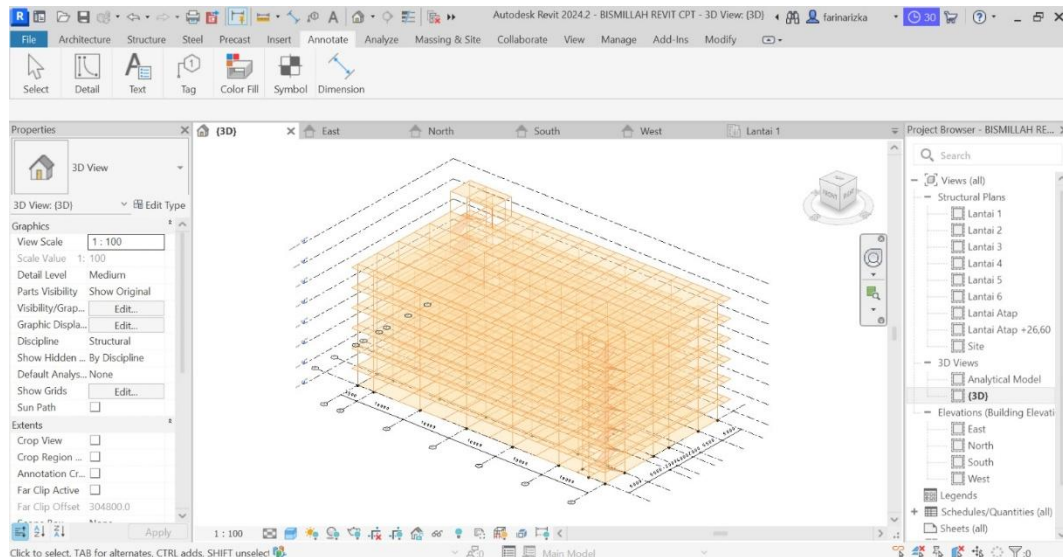
Berikut di bawah ini pada Gambar 4.46. menampilkan hasil penulangan PC6b.



Gambar 4. 46 Hasil Penulangan PC6b
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.7. Hasil Integrasi Autodesk RSAP dan Autodesk Revit

Dibawah ini merupakan Gambar 4.47. yang menampilkan hasil integrasi software Autodesk RSAP ke Autodesk Revit.

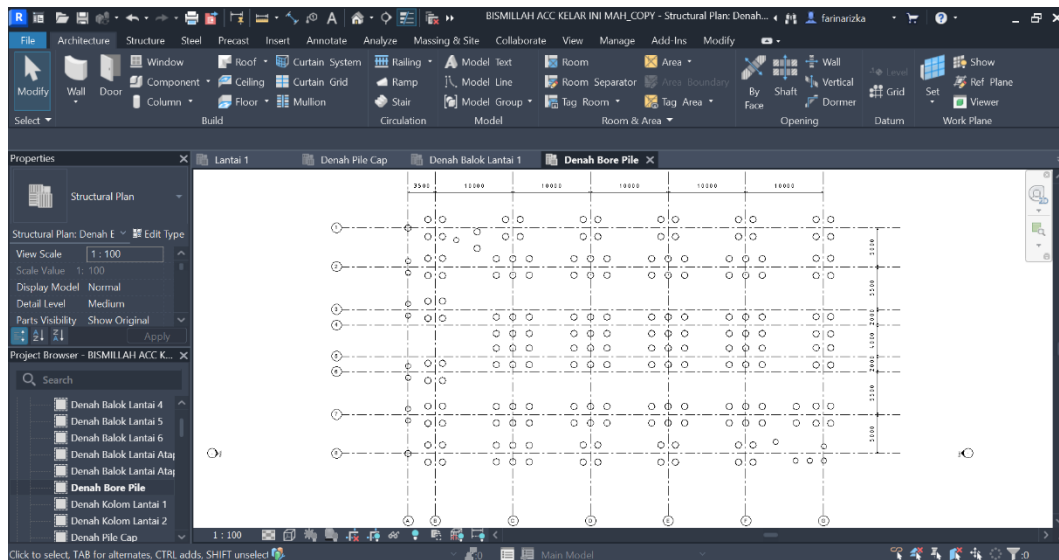


Gambar 4. 47 Hasil Integrasi Autodesk RSAP dan Autodesk Revit
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

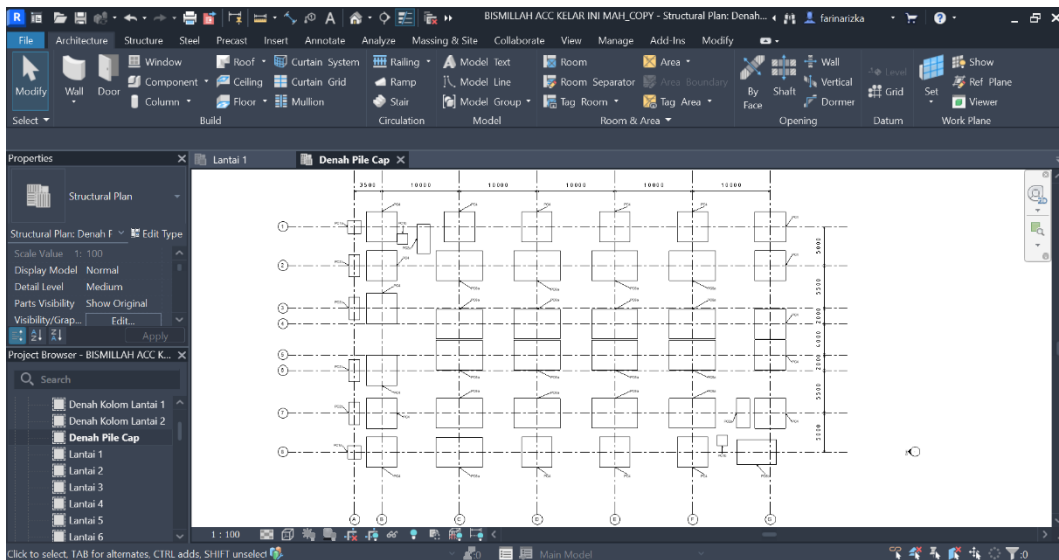
Dari gambar di atas, integrasi Autodesk RSAP ke Autodesk Revit menghasilkan *analytical model*. Hal ini dapat menghemat waktu dalam perencanaan ulang ini karena menghemat waktu dalam pembuatan *grid*, elevasi, dan *reference plane*.

4.8. Hasil Pemodelan 3D

Pemodelan 3D pada perencanaan ulang ini menggunakan *software* Autodesk Revit dengan menggunakan *structural template*. Berikut pada Gambar 4.48. dan Gambar 4.49. menampilkan hasil denah bore pile dan denah pile cap.

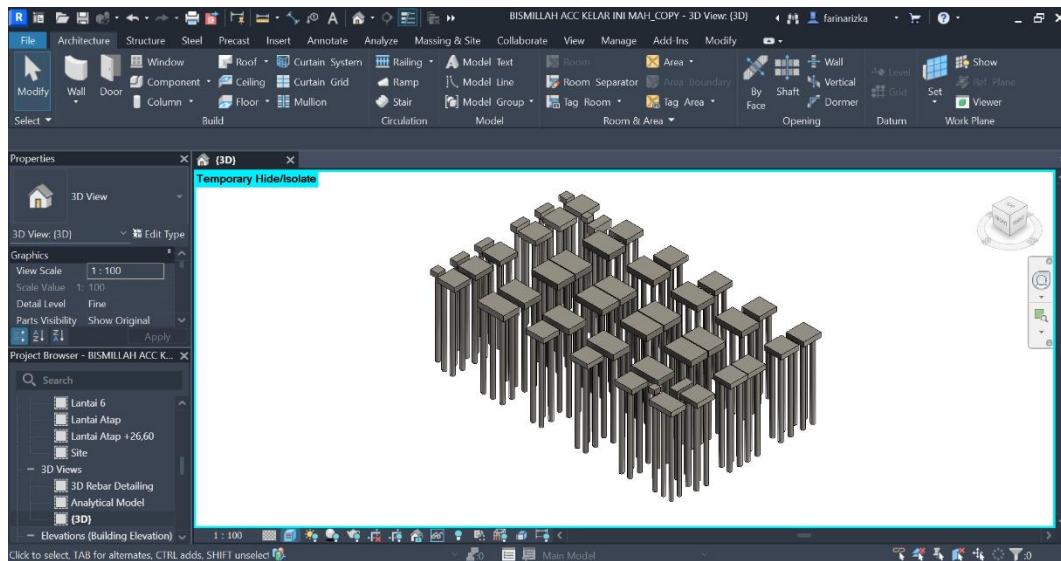


Gambar 4. 49 Hasil Denah Bore Pile
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)



Gambar 4. 48. Hasil Denah Pile Cap
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

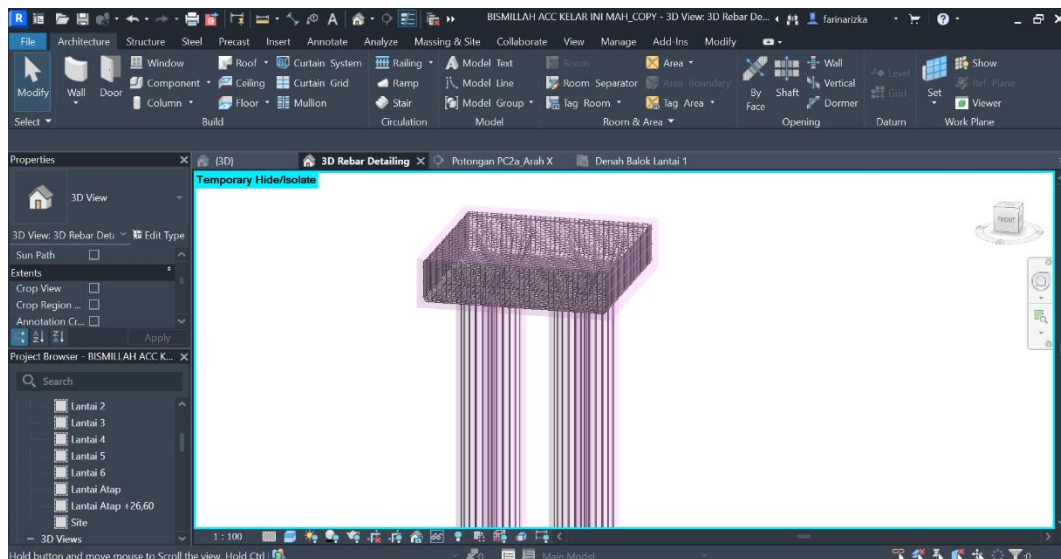
Berikut pada Gambar 4.50. menampilkan hasil pemodelan 3D struktur bawah.



Gambar 4. 50 Hasil Pemodelan 3D Struktur Bawah

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

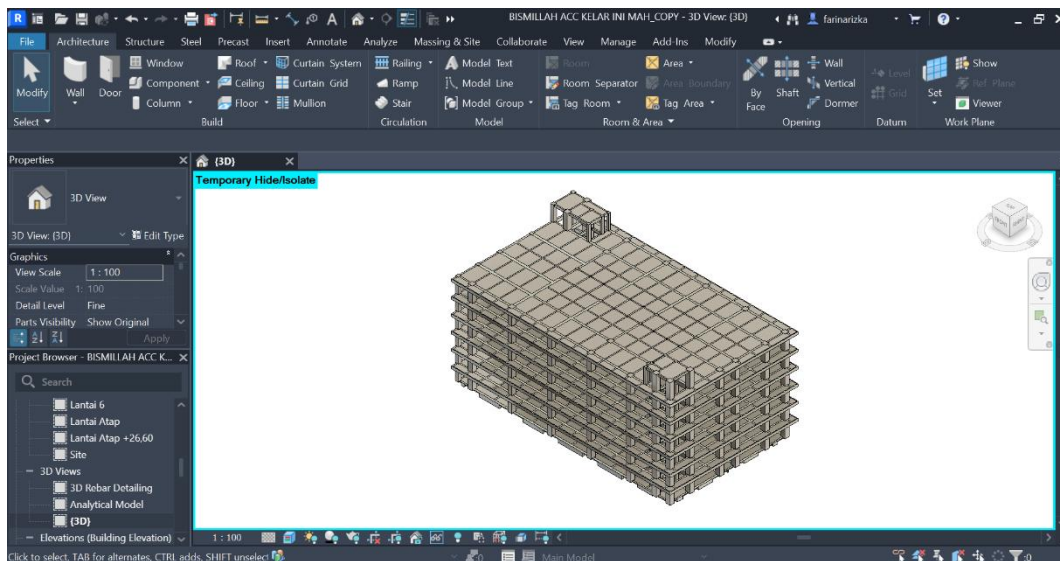
Berikut pada Gambar 4.51. menampilkan hasil pemodelan 3D penulangan struktur bawah.



Gambar 4. 51 Hasil Pemodelan 3D Penulangan Struktur Bawah

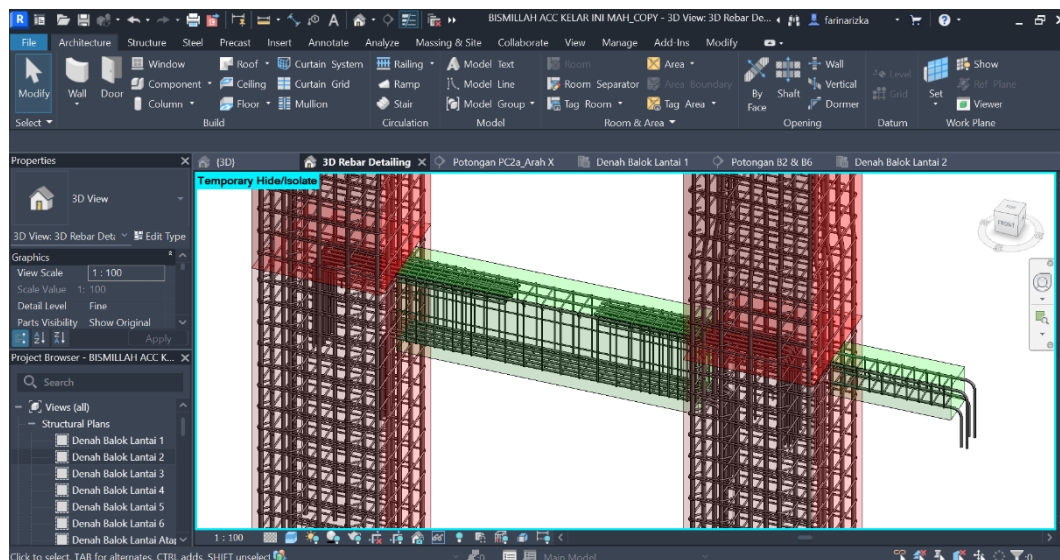
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.52. menampilkan hasil pemodelan 3D struktur atas.



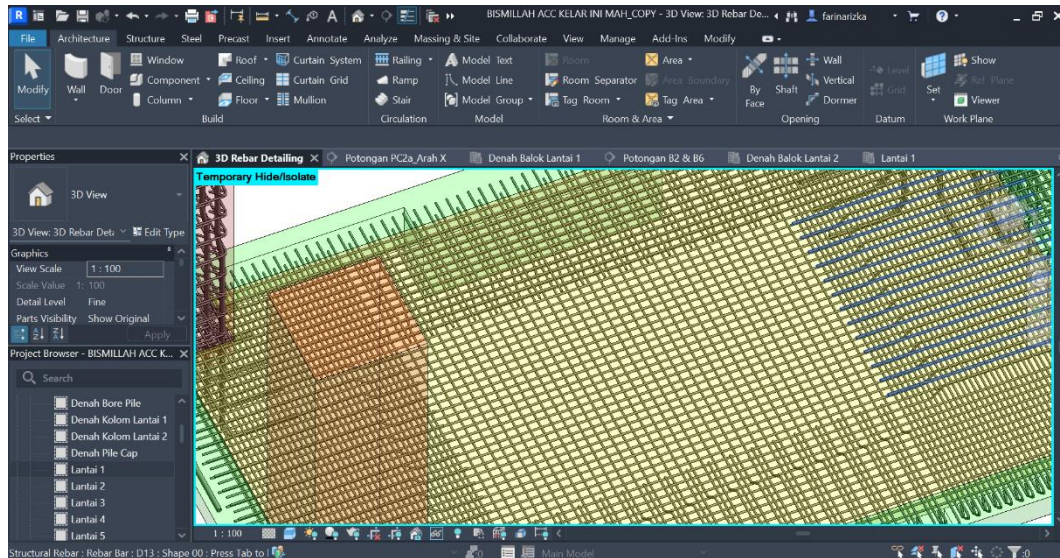
Gambar 4. 52 Hasil Pemodelan 3D Struktur Atas
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.53. menampilkan hasil pemodelan 3D penulangan balok dan kolom.



Gambar 4. 53 Hasil Pemodelan 3D Penulangan Balok dan Kolom
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berikut pada Gambar 4.54. menampilkan hasil pemodelan 3D penulangan pelat.



Gambar 4. 54 Hasil Pemodelan 3D Penulangan Pelat
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

4.9. Hasil *Quantity Takeoff* (QTO)

Hasil pemodelan yang telah dibuat di software Autodesk Revit dapat menghasilkan volume pekerjaan secara akurat. Volume pekerjaan ini mencakup volume beton, dan berat penulangan. Untuk luas bekisting dihitung dengan menggunakan rumus di software tersebut, sehingga dapat terintegrasi dengan volume pekerjaan lainnya. Pada QTO dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu bore pile, pile cap, pelat, balok, kolom, dan penulangan. Volume ini nantinya menjadi dasar dalam penyusunan Rancangan Anggaran Biaya (RAB). Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.48. yang menampilkan rekapitulasi hasil QTO struktur atas.

Tabel 4. 48 Rekapitulasi Hasil QTO Struktur Atas

Lantai	Section	Volume Beton (m ³)	Bekisting (m ²)	Berat Tulangan (kg)
L1	S1	223.99	1512.08	71448.53
	B1	11.61	55,16	5436.85
	B2	15.07	51,25	4734.72
	B5	66.76	259,34	22186.06
	ba1	29.07	155,91	3419.68
	ba2	1.56	7,71	477.50

	K1	162.06	616.79	30959.86
	K2	13.38	71.46	2301.30
	K3	4.80	34.92	994.96
L2	S2	170.71	1593.13	29558.01
	B1	16.20	130.90	3751.41
	B2	32.07	205.65	7267.48
	B5	105.10	586.01	22293.61
	B6	1.91	18.70	596.67
	BP	12.86	192.51	1904.48
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	34.27	341.91	6491.62
	ba3	24.21	155.52	2339.46
	ba4	2.34	24.17	483.00
	K1	310.06	1181.04	24532.85
	K2	12.84	68.40	1869.42
	K3	9.20	66.88	777.20
L2	S2	170.71	1593.13	29558.01
	B1	16.20	130.90	3751.41
	B2	32.07	205.65	7267.48
	B5	105.10	586.01	22293.61
	B6	1.91	18.70	596.67
	BP	12.86	192.51	1904.48
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	34.27	341.91	6491.62
	ba3	24.21	155.52	2339.46
	ba4	2.34	24.17	483.00
	K1	310.06	1181.04	24532.85
	K2	12.84	68.40	1869.42
	K3	9.20	66.88	777.20
L3	S2	170.20	1588.21	29461.97
	B1	16.20	130.90	3764.88
	B2	32.07	205.65	7266.81
	B5	105.10	586.01	22293.61
	B6	1.91	18.70	592.03
	BP	12.58	188.26	1866.01
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	34.27	341.22	6489.76
	ba3	24.21	155.52	2339.46
	ba4	2.45	25.31	506.00

	K1	155.03	590.52	24532.85
	K2	12.84	68.40	1869.42
	K3	4.60	33.44	777.20
L4	S2	170.20	1588.20	29457.13
	B1	16.20	130.90	3764.88
	B2	32.07	205.65	7551.39
	B5	105.10	587.25	22293.61
	B6	1.91	18.70	594.89
	BP	12.59	188.26	1866.01
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	34.37	343.22	6770.46
	ba3	24.01	155.52	2339.46
	ba4	2.45	25.31	506.00
	K1	155.03	590.52	24532.85
	K2	12.84	68.40	1869.42
	K3	4.60	33.44	777.20
L5	S2	158.14	1476.84	27340.91
	B1	14.96	120.87	3447.68
	B2	32.07	205.65	7266.81
	B5	105.10	586.01	22293.61
	B6	1.91	18.70	594.89
	BP	12.59	188.26	1866.01
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	31.48	314.59	5883.40
	ba3	24.21	155.52	2339.46
	ba4	2.45	25.31	506.00
	K1	155.03	590.52	25077.49
	K2	12.84	68.40	1869.42
	K3	4.60	33.44	777.20
L6	S2	158.14	1476.84	27422.11
	B1	14.96	120.87	3450.46
	B2	32.07	205.65	7266.81
	B5	105.10	586.01	22293.61
	B6	2.02	19.85	594.89
	BP	12.58	188.26	1866.01
	ba1	0.65	5.27	80.92
	ba2	31.57	314.59	5975.56
	ba3	24.21	155.52	2339.46
	ba4	2.34	24.17	506.00

	K1	87.99	335.16	14468.69
	K2	12.84	68.40	1910.62
	K3	13.80	100.32	2504.72
	K4	4.08	54.72	663.72
LAtap	S2	172.99	1611.21	29689.86
	B1	16.93	137.00	3702.14
	B2	15.73	100.89	3213.54
	B3	28.03	120.38	3821.67
	B4	4.02	45.12	1019.92
	B5	61.87	343.95	13039.30
	B6	1.91	18.74	594.89
	B7	33.80	155.05	5819.10
	BP	12.86	192.54	1904.48
	ba2	44.97	450.49	7970.49
	ba3	7.95	51.03	779.82
	ba4	2.34	24.21	483.00
	K1	20.95	79.80	3485.45
	K2	4.28	22.80	643.74
	K3	9.20	66.88	1671.84
LAtap +26,60	S2	7.79	73.09	1354.94
	ba2	7.18	71.75	1587.27

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.49. yang menampilkan rekapitulasi hasil QTO struktur bawah.

Tabel 4. 49 Rekapitulasi Hasil QTO Struktur Bawah

Section	Volume Beton (m ³)	Bekisting (m ²)	Berat Tulangan (kg)
BP700	90.12	-	8769.09
BP850	1706.34	-	125030.27
PC1a	5.78	13,6	632.25
PC1b	3.92	11,2	500.74
PC2a	19.51	33,15	2830.10
PC2b	19.49	41,28	3200.52
PC4	275.19	281,52	34793.83
PC6a	464.28	398,82	45504.11
PC6b	16.23	16,52	1761.38

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

4.10. Hasil Perhitungan RAB

Setelah memperoleh hasil QTO dari *software* Autodesk Revit, dilanjutkan dengan mengolahnya untuk menyusun RAB. Penyusunan RAB ini mengacu pada AHSP Kota Semarang dengan bantuan *software* Microsoft Excel. RAB ini nantinya akan digunakan di *software* Autodesk Naviswork untuk diintegrasikan dengan pemodelan 3D dan penjadwalan menjadi BIM 5D. Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.50. yang menampilkan hasil perhitungan RAB perencanaan ulang struktur Gedung 2 RS Hermina Banyumanik.

Tabel 4. 50 Hasil Perhitungan RAB

No	Jenis Kegiatan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total Biaya (Rp)
A.	Pekerjaan Persiapan				
A.1	Pembersihan Lahan	2.600,00	m ²	8.452,95	21.977.670,00
A.2	Pagar Pengaman Proyek	210,00	m	529.408,06	111.175.691,56
A.3	Papan Nama Proyek	1,00	buah	552.808,08	552.808,08
A.4	Pembuatan Direksi Keet	25,00	m ²	2.618.896,50	65.472.412,50
A.5	Pembuatan Gudang	30,00	m ²	2.618.896,50	78.566.895,00
A.6	Pemasangan Bouwplank	176,00	m	122.752,99	21.604.525,38
B.	Pekerjaan Tanah				
B.1	Pekerjaan Galian Tanah	1.266,72	m ³	14.007,35	17.743.448,16
B.2	Urugan Pasir Bawah Pilecap	16,52	m ³	194.005,90	3.204.231,17
B.3	Pekerjaan Lantai kerja	10,68	m ³	1.002.536,38	10.702.197,30
B.4	Galian Tanah Pelat	313,71	m ³	14.007,35	4.394.304,68
B.5	Urugan Pasir Pelat	127,18	m ³	194.005,90	24.673.957,55
B.6	Pekerjaan Lantai Kerja Pelat	42,39	m ³	1.002.536,38	42.501.353,77
C.	Pekerjaan Pondasi				
C.1	Pekerjaan Pengeboran Borpil Ø70 cm & Ø85 cm	3.211,92	m	157.143,02	504.730.809,12
C.2	Pembesian Tulangan Borpil Ø70 cm & Ø85 cm	133.799,36	Kg	23.898,93	3.197.662.127,40
C.3	Pekerjaan Beton Borpil F'c 25 Mpa	1.796,46	m ³	1.075.643,80	1.932.351.060,95
C.4	Pekerjaan Pemasangan Bekisting PileCap	779,57	m ²	204.026,68	159.053.078,93
C.5	Pembesian Tulangan Pilecap	89.222,93	Kg	23.898,93	2.132.332.951,05
C.6	Pekerjaan Beton Pilecap F'c 25 Mpa	788,17	m ³	1.075.643,80	847.790.173,85

D.	Pekerjaan Struktur Lantai 1				
D.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	11,61	m ³	1.132.182,92	13.144.643,70
2	Pembesian	5.436,85	Kg	23.898,93	129.934.921,49
3	Pekerjaan Bekisting	55,16	m ²	270.994,35	14.946.910,11
D.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	15,07	m ³	1.132.182,92	17.061.996,60
2	Pembesian	4.734,72	Kg	23.898,93	113.154.762,68
3	Pekerjaan Bekisting	51,25	m ²	270.994,35	13.888.406,18
D.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	66,76	m ³	1.132.182,92	75.584.531,74
2	Pembesian	22.186,06	Kg	23.898,93	530.223.192,53
3	Pekerjaan Bekisting	259,34	m ²	270.994,35	70.280.758,42
D.4	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	29,07	m ³	1.132.182,92	32.912.557,48
2	Pembesian	3.419,68	Kg	23.898,93	81.726.707,99
3	Pekerjaan Bekisting	155,91	m ²	270.994,35	42.249.861,76
D.5	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	1,56	m ³	1.132.182,92	1.766.205,36
2	Pembesian	477,50	Kg	23.898,93	11.411.741,18
3	Pekerjaan Bekisting	7,71	m ²	270.994,35	2.088.553,45
D.6	Pelat S1- Lt.1 (t = 17 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	223,99	m ³	1.132.182,92	253.597.652,25
2	Pembesian	71.448,53	Kg	16.874,61	1.205.665.878,77
3	Pekerjaan Bekisting	1.512,08	m ²	317.631,10	480.283.632,93
D.7	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.530,96	m ²	4.459,31	6.827.043,16
D.8	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	162,06	m ³	1.213.191,32	196.609.785,32
2	Pembesian	30.959,86	Kg	23.898,93	739.907.663,17
3	Pekerjaan Bekisting	616,79	m ²	264.208,48	162.961.150,23
4	Perawatan Beton	616,79	m ²	4.459,31	2.750.460,55
D.9	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	13,38	m ³	1.213.191,32	16.232.499,86
2	Pembesian	2.301,30	Kg	23.898,93	54.998.617,73
3	Pekerjaan Bekisting	71,46	m ²	264.208,48	18.880.338,20
4	Perawatan Beton	71,46	m ²	4.459,31	318.662,61
D.10	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,80	m ³	1.213.191,32	5.823.318,34
2	Pembesian	994,96	Kg	23.898,93	23.778.483,77
3	Pekerjaan Bekisting	34,92	m ²	264.208,48	9.226.160,23
4	Perawatan Beton	34,92	m ²	4.459,31	155.719,26
E.	Pekerjaan Struktur Lantai 2				
E.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	16,20	m ³	1.132.182,92	18.341.363,30
2	Pembesian	3.751,41	Kg	23.898,93	89.654.701,50

3	Pekerjaan Bekisting	130,90	m ²	270.994,35	35.473.160,27
E.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	32,07	m ³	1.132.182,92	36.309.106,24
2	Pembesian	7.267,48	Kg	23.898,93	173.685.027,77
3	Pekerjaan Bekisting	205,65	m ²	270.994,35	55.729.987,85
E.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	105,10	m ³	1.132.182,92	118.992.424,89
2	Pembesian	22.293,61	Kg	23.898,93	532.793.522,93
3	Pekerjaan Bekisting	586,01	m ²	270.994,35	158.806.075,88
E.4	Balok B6 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,86	m ³	1.132.182,92	14.559.872,35
2	Pembesian	596,67	Kg	23.898,93	14.259.777,19
3	Pekerjaan Bekisting	18,70	m ²	270.994,35	5.066.916,84
E.5	Balok BP (150x600)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,86	m ³	1.132.182,92	14.559.872,35
2	Pembesian	1.904,48	Kg	23.898,93	45.515.042,59
3	Pekerjaan Bekisting	192,51	m ²	270.994,35	52.169.122,11
E.6	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	0,65	m ³	1.132.182,92	735.918,90
2	Pembesian	6.491,62	Kg	23.898,93	155.142.800,53
3	Pekerjaan Bekisting	341,91	m ²	270.994,35	92.654.661,60
E.7	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	34,27	m ³	1.132.182,92	38.799.908,67
2	Pembesian	6.491,62	Kg	23.898,93	155.142.800,53
3	Pekerjaan Bekisting	341,91	m ²	270.994,35	92.654.661,60
E.8	Balok ba3 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	24,21	m ³	1.132.182,92	27.410.148,49
2	Pembesian	2.339,46	Kg	23.898,93	55.910.601,07
3	Pekerjaan Bekisting	155,52	m ²	270.994,35	42.145.041,14
E.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,34	m ³	1.132.182,92	2.649.308,03
2	Pembesian	483,00	Kg	23.898,93	11.543.185,32
3	Pekerjaan Bekisting	24,17	m ²	270.994,35	6.548.578,44
E.10	Pelat S2- Lt.2 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	170,71	m ³	1.132.182,92	193.274.946,27
2	Pembesian	29.558,01	Kg	16.874,61	498.779.808,36
3	Pekerjaan Bekisting	1.593,13	m ²	317.631,10	506.027.633,55
E.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.740,81	m ²	4.459,31	7.762.830,30
E.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	310,06	m ³	1.213.191,32	376.162.100,68
2	Pembesian	24.532,85	Kg	23.898,93	586.308.972,80
3	Pekerjaan Bekisting	1.181,04	m ²	264.208,48	312.040.786,76
4	Perawatan Beton	1.181,04	m ²	4.459,31	5.266.628,71
E.13	Kolom K2 (750x750)				

1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	12,84	m ³	1.213.191,32	15.577.376,55
2	Pembesian	1.869,42	Kg	23.898,93	44.677.145,95
3	Pekerjaan Bekisting	68,40	m ²	264.208,48	18.071.860,24
E.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	9,20	m ³	1.213.191,32	11.161.360,14
2	Pembesian	777,20	Kg	23.898,93	18.574.251,82
3	Pekerjaan Bekisting	66,88	m ²	264.208,48	17.670.263,34
4	Perawatan Beton	66,88	m ²	4.459,31	298.238,95
F	Pekerjaan Struktur Lantai 3				
F.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	16,20	m ³	1.132.182,92	18.341.363,30
2	Pembesian	3.764,88	Kg	23.898,93	89.976.620,14
3	Pekerjaan Bekisting	130,90	m ²	270.994,35	35.473.160,27
F.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	32,07	m ³	1.132.182,92	36.309.106,24
2	Pembesian	7.267,48	Kg	23.898,93	173.685.027,77
3	Pekerjaan Bekisting	205,65	m ²	270.994,35	55.729.987,85
F.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	105,10	m ³	1.132.182,92	118.992.424,89
2	Pembesian	22.293,61	Kg	23.898,93	532.793.522,93
3	Pekerjaan Bekisting	586,01	m ²	270.994,35	158.806.075,88
F.4	Balok B6 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	1,91	m ³	1.132.182,92	2.162.469,38
2	Pembesian	592,03	Kg	23.898,93	14.148.886,13
3	Pekerjaan Bekisting	18,70	m ²	270.994,35	5.066.916,84
F.5	Balok BP (150x600)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,58	m ³	1.132.182,92	14.242.861,13
2	Pembesian	1.866,01	Kg	23.898,93	44.595.650,58
3	Pekerjaan Bekisting	188,26	m ²	270.994,35	51.016.718,64
F.6	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	0,65	m ³	1.132.182,92	735.918,90
2	Pembesian	80,92	Kg	23.898,93	1.933.901,77
3	Pekerjaan Bekisting	5,27	m ²	270.994,35	1.428.140,22
F.7	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	34,27	m ³	1.132.182,92	38.799.908,67
2	Pembesian	6.489,76	Kg	23.898,93	155.098.348,51
3	Pekerjaan Bekisting	341,22	m ²	270.994,35	92.468.352,99
F.8	Balok ba3 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	24,21	m ³	1.132.182,92	27.410.148,49
2	Pembesian	2.339,46	Kg	23.898,93	55.910.601,07
3	Pekerjaan Bekisting	155,52	m ²	270.994,35	42.145.041,14
F.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,45	m ³	1.132.182,92	2.773.848,15
2	Pembesian	506,00	Kg	23.898,93	12.092.860,81
3	Pekerjaan Bekisting	25,31	m ²	270.994,35	6.859.544,46

F.10	Pelat S2- Lt.3 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	170,20	m ³	1.132.182,92	192.697.532,98
2	Pembesian	29.461,97	Kg	16.874,61	497.159.171,09
3	Pekerjaan Bekisting	1.588,21	m ²	317.631,10	504.464.888,54
F.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.639,07	m ²	4.459,31	7.309.117,35
F.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	155,03	m ³	1.213.191,32	188.081.050,34
2	Pembesian	24.532,85	Kg	23.898,93	586.308.972,80
3	Pekerjaan Bekisting	590,52	m ²	264.208,48	156.020.393,38
4	Perawatan Beton	590,52	m ²	4.459,31	2.633.314,36
F.13	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	12,84	m ³	1.213.191,32	15.577.376,55
2	Pembesian	1.869,42	Kg	23.898,93	44.677.145,95
3	Pekerjaan Bekisting	68,40	m ²	264.208,48	18.071.860,24
4	Perawatan Beton	68,40	m ²	4.459,31	305.017,11
F.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,60	m ³	1.213.191,32	5.580.680,07
2	Pembesian	777,20	Kg	23.898,93	18.574.251,82
3	Pekerjaan Bekisting	33,44	m ²	264.208,48	8.835.131,67
4	Perawatan Beton	33,44	m ²	4.459,31	149.119,47
G	Pekerjaan Struktur Lantai 4				
G.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	16,20	m ³	1.132.182,92	18.341.363,30
2	Pembesian	3.764,88	Kg	23.898,93	89.976.620,14
3	Pekerjaan Bekisting	130,90	m ²	270.994,35	35.473.160,27
G.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	32,07	m ³	1.132.182,92	36.309.106,24
2	Pembesian	7.551,39	Kg	23.898,93	180.470.174,24
3	Pekerjaan Bekisting	205,65	m ²	270.994,35	55.729.987,85
G.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	105,10	m ³	1.132.182,92	118.992.424,89
2	Pembesian	22.293,61	Kg	23.898,93	532.793.522,93
3	Pekerjaan Bekisting	587,25	m ²	270.994,35	159.141.431,39
G.4	Balok B6 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	1,91	m ³	1.132.182,92	2.162.469,38
2	Pembesian	594,89	Kg	23.898,93	14.217.237,09
3	Pekerjaan Bekisting	18,70	m ²	270.994,35	5.066.916,84
G.5	Balok BP (150x600)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,59	m ³	1.132.182,92	14.254.182,96
2	Pembesian	1.866,01	Kg	23.898,93	44.595.650,58
3	Pekerjaan Bekisting	188,26	m ²	270.994,35	51.016.718,64
G.6	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	0,65	m ³	1.132.182,92	735.918,90
2	Pembesian	80,92	Kg	23.898,93	1.933.901,77

3	Pekerjaan Bekisting	5,27	m ²	270.994,35	1.428.140,22
G.7	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	34,37	m ³	1.132.182,92	38.913.126,96
2	Pembesian	6.770,46	Kg	23.898,93	161.806.779,40
3	Pekerjaan Bekisting	343,22	m ²	270.994,35	93.010.341,69
G.8	Balok ba3 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	24,01	m ³	1.132.182,92	27.183.711,91
2	Pembesian	2.339,46	Kg	23.898,93	55.910.601,07
3	Pekerjaan Bekisting	155,52	m ²	270.994,35	42.145.041,14
G.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,45	m ³	1.132.182,92	2.773.848,15
2	Pembesian	506,00	Kg	23.898,93	12.092.860,81
3	Pekerjaan Bekisting	25,31	m ²	270.994,35	6.859.544,46
G.10	Pelat S2- Lt.4 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	170,20	m ³	1.132.182,92	192.697.532,98
2	Pembesian	29.457,13	Kg	16.874,61	497.077.497,99
3	Pekerjaan Bekisting	1.588,20	m ²	317.631,10	504.461.712,23
G.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.639,07	m ²	4.459,31	7.309.117,35
G.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	155,03	m ³	1.213.191,32	188.081.050,34
2	Pembesian	24.532,85	Kg	23.898,93	586.308.972,80
3	Pekerjaan Bekisting	590,52	m ²	264.208,48	156.020.393,38
4	Perawatan Beton	590,52	m ²	4.459,31	2.633.314,36
G.13	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	12,84	m ³	1.213.191,32	15.577.376,55
2	Pembesian	1.869,42	Kg	23.898,93	44.677.145,95
3	Pekerjaan Bekisting	68,40	m ²	264.208,48	18.071.860,24
4	Perawatan Beton	68,40	m ²	4.459,31	305.017,11
G.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,60	m ³	1.213.191,32	5.580.680,07
2	Pembesian	777,20	Kg	23.898,93	18.574.251,82
3	Pekerjaan Bekisting	33,44	m ²	264.208,48	8.835.131,67
4	Perawatan Beton	33,44	m ²	4.459,31	149.119,47
H	Pekerjaan Struktur Lantai 5				
H.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	14,96	m ³	1.132.182,92	16.937.456,48
2	Pembesian	3.447,68	Kg	23.898,93	82.395.878,15
3	Pekerjaan Bekisting	120,87	m ²	270.994,35	32.755.086,95
H.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	32,07	m ³	1.132.182,92	36.309.106,24
2	Pembesian	7.266,81	Kg	23.898,93	173.669.015,49
3	Pekerjaan Bekisting	205,65	m ²	270.994,35	55.729.987,85
H.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	105,10	m ³	1.132.182,92	118.992.424,89

2	Pembesian	22.293,61	Kg	23.898,93	532.793.522,93
3	Pekerjaan Bekisting	586,01	m ²	270.994,35	158.806.075,88
H.4	Balok B6 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	1,91	m ³	1.132.182,92	2.162.469,38
2	Pembesian	594,89	Kg	23.898,93	14.217.237,09
3	Pekerjaan Bekisting	18,70	m ²	270.994,35	5.066.916,84
H.5	Balok BP (150x600)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,59	m ³	1.132.182,92	14.254.182,96
2	Pembesian	1.866,01	Kg	23.898,93	44.595.650,58
3	Pekerjaan Bekisting	188,26	m ²	270.994,35	51.016.718,64
H.6	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	0,65	m ³	1.132.182,92	735.918,90
2	Pembesian	80,92	Kg	23.898,93	1.933.901,77
3	Pekerjaan Bekisting	5,27	m ²	270.994,35	1.428.140,22
H.7	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	31,48	m ³	1.132.182,92	35.641.118,32
2	Pembesian	5.883,40	Kg	23.898,93	140.606.990,65
3	Pekerjaan Bekisting	314,59	m ²	270.994,35	85.253.128,45
H.8	Balok ba3 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	24,21	m ³	1.132.182,92	27.410.148,49
2	Pembesian	2.339,46	Kg	23.898,93	55.910.601,07
3	Pekerjaan Bekisting	155,52	m ²	270.994,35	42.145.041,14
H.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,45	m ³	1.132.182,92	2.773.848,15
2	Pembesian	506,00	Kg	23.898,93	12.092.860,81
3	Pekerjaan Bekisting	25,31	m ²	270.994,35	6.859.544,46
H.10	Pelat S2- Lt.5 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	158,14	m ³	1.132.182,92	179.043.406,97
2	Pembesian	27.340,91	Kg	16.874,61	461.367.116,74
3	Pekerjaan Bekisting	1.476,84	m ²	317.631,10	469.090.312,99
H.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.639,07	m ²	4.459,31	7.309.117,35
H.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	155,03	m ³	1.213.191,32	188.081.050,34
2	Pembesian	25.077,49	Kg	23.898,93	599.325.288,43
3	Pekerjaan Bekisting	590,52	m ²	264.208,48	156.020.393,38
4	Perawatan Beton	590,52	m ²	4.459,31	2.633.314,36
H.13	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	12,84	m ³	1.213.191,32	15.577.376,55
2	Pembesian	1.869,42	Kg	23.898,93	44.677.145,95
3	Pekerjaan Bekisting	68,40	m ²	264.208,48	18.071.860,24
4	Perawatan Beton	68,40	m ²	4.459,31	305.017,11
H.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,60	m ³	1.213.191,32	5.580.680,07
2	Pembesian	777,20	Kg	23.898,93	18.574.251,82

3	Pekerjaan Bekisting	33,44	m ²	264.208,48	8.835.131,67
4	Perawatan Beton	33,44	m ²	4.459,31	149.119,47
I	Pekerjaan Struktur Lantai 6				
I.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	14,96	m ³	1.132.182,92	16.937.456,48
2	Pembesian	3.450,46	Kg	23.898,93	82.462.317,19
3	Pekerjaan Bekisting	120,87	m ²	270.994,35	32.755.086,95
I.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	32,07	m ³	1.132.182,92	36.309.106,24
2	Pembesian	7.266,81	Kg	23.898,93	173.669.015,49
3	Pekerjaan Bekisting	205,65	m ²	270.994,35	55.729.987,85
I.3	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	105,10	m ³	1.132.182,92	118.992.424,89
2	Pembesian	22.293,61	Kg	23.898,93	532.793.522,93
3	Pekerjaan Bekisting	586,01	m ²	270.994,35	158.806.075,88
I.4	Balok B6 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,02	m ³	1.132.182,92	2.287.009,50
2	Pembesian	594,89	Kg	23.898,93	14.217.237,09
3	Pekerjaan Bekisting	19,85	m ²	270.994,35	5.377.882,85
I.5	Balok BP (150x600)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	12,58	m ³	1.132.182,92	14.242.861,13
2	Pembesian	1.866,01	Kg	23.898,93	44.595.650,58
3	Pekerjaan Bekisting	188,26	m ²	270.994,35	51.016.718,64
I.6	Balok ba1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	0,65	m ³	1.132.182,92	735.918,90
2	Pembesian	80,92	Kg	23.898,93	1.933.901,77
3	Pekerjaan Bekisting	5,27	m ²	270.994,35	1.428.140,22
I.7	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	31,57	m ³	1.132.182,92	35.743.014,78
2	Pembesian	5.975,56	Kg	23.898,93	142.809.516,44
3	Pekerjaan Bekisting	314,59	m ²	270.994,35	85.253.128,45
I.8	Balok ba3 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	24,21	m ³	1.132.182,92	27.410.148,49
2	Pembesian	2.339,46	Kg	23.898,93	55.910.601,07
3	Pekerjaan Bekisting	155,52	m ²	270.994,35	42.145.041,14
I.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,34	m ³	1.132.182,92	2.649.308,03
2	Pembesian	506,00	Kg	23.898,93	12.092.860,81
3	Pekerjaan Bekisting	24,17	m ²	270.994,35	6.548.578,44
I.10	Pelat S2- Lt.6 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	158,14	m ³	1.132.182,92	179.043.406,97
2	Pembesian	27.422,11	Kg	16.874,61	462.737.334,85
3	Pekerjaan Bekisting	1.476,84	m ²	317.631,10	469.090.312,99
I.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.637,99	m ²	4.459,31	7.304.301,29

I.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	87,99	m ³	1.213.191,32	106.748.704,25
2	Pembesian	14.468,69	Kg	23.898,93	345.786.273,16
3	Pekerjaan Bekisting	335,16	m ²	264.208,48	88.552.115,16
4	Perawatan Beton	335,16	m ²	4.459,31	1.494.583,82
I.13	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	12,84	m ³	1.213.191,32	15.577.376,55
2	Pembesian	1.910,62	Kg	23.898,93	45.661.782,04
3	Pekerjaan Bekisting	68,40	m ²	264.208,48	18.071.860,24
4	Perawatan Beton	68,40	m ²	4.459,31	305.017,11
I.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	13,80	m ³	1.213.191,32	16.742.040,22
2	Pembesian	2.504,72	Kg	23.898,93	59.860.138,97
3	Pekerjaan Bekisting	100,32	m ²	264.208,48	26.505.395,01
4	Perawatan Beton	100,32	m ²	4.459,31	447.358,42
I.15	Kolom K4 (300x300)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,08	m ³	1.213.191,32	4.949.820,59
2	Pembesian	663,72	Kg	23.898,93	15.862.200,74
3	Pekerjaan Bekisting	54,72	m ²	264.208,48	14.457.488,19
4	Perawatan Beton	54,72	m ²	4.459,31	244.013,69
J	Pekerjaan Struktur Atap				
J.1	Balok B1 (300x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	16,93	m ³	1.132.182,92	19.167.856,84
2	Pembesian	3.702,14	Kg	23.898,93	88.477.201,00
3	Pekerjaan Bekisting	137,00	m ²	270.994,35	37.126.225,80
J.2	Balok B2 (400x700)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	15,73	m ³	1.132.182,92	17.809.237,33
2	Pembesian	3.213,54	Kg	23.898,93	76.800.181,65
3	Pekerjaan Bekisting	100,89	m ²	270.994,35	27.340.619,86
J.3	Balok B3 (600x1200)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	28,03	m ³	1.132.182,92	31.735.087,25
2	Pembesian	3.821,67	Kg	23.898,93	91.333.840,63
3	Pekerjaan Bekisting	120,38	m ²	270.994,35	32.622.299,72
J.4	Balok B4 (250x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	4,02	m ³	1.132.182,92	4.551.375,34
2	Pembesian	1.019,92	Kg	23.898,93	24.375.001,17
3	Pekerjaan Bekisting	45,12	m ²	270.994,35	12.227.265,02
J.5	Balok B5 (450x900)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	61,87	m ³	1.132.182,92	70.048.157,26
2	Pembesian	13.039,30	Kg	23.898,93	311.625.375,32
3	Pekerjaan Bekisting	343,95	m ²	270.994,35	93.208.506,30
J.6	Balok B6 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	1,91	m ³	1.132.182,92	2.162.469,38
2	Pembesian	594,89	Kg	23.898,93	14.217.237,09
3	Pekerjaan Bekisting	18,74	m ²	270.994,35	5.078.434,10
J.7	Balok B7 (550x1050)				

1	Beton Balok F'c 25 Mpa	33,80	m ³	1.132.182,92	38.267.782,70
2	Pembesian	5.819,10	Kg	23.898,93	139.070.289,17
3	Pekerjaan Bekisting	155,05	m ²	270.994,35	42.017.673,80
J.8	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	7,95	m ³	1.132.182,92	9.000.854,21
2	Pembesian	779,82	Kg	23.898,93	18.636.867,02
3	Pekerjaan Bekisting	51,03	m ²	270.994,35	13.828.841,62
J.9	Balok ba4 (300x300)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	2,34	m ³	1.132.182,92	2.649.308,03
2	Pembesian	483,00	Kg	23.898,93	11.543.185,32
3	Pekerjaan Bekisting	24,21	m ²	270.994,35	6.560.773,19
J.10	Pelat S2- Lt.Atap (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	172,99	m ³	1.132.182,92	195.856.323,33
2	Pembesian	29.689,86	Kg	16.874,61	501.004.725,32
3	Pekerjaan Bekisting	1.611,21	m ²	317.631,10	511.770.403,83
J.11	Perawatan Beton Balok&Pelat	1.777,13	m ²	4.459,31	7.924.792,60
J.12	Kolom K1 (1050x1050)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	20,95	m ³	1.213.191,32	25.416.358,15
2	Pembesian	3.485,45	Kg	23.898,93	83.298.540,90
3	Pekerjaan Bekisting	79,80	m ²	264.208,48	21.083.836,94
4	Perawatan Beton	79,80	m ²	4.459,31	355.853,29
J.13	Kolom K2 (750x750)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	4,28	m ³	1.213.191,32	5.192.458,85
2	Pembesian	643,74	Kg	23.898,93	15.384.700,03
3	Pekerjaan Bekisting	22,80	m ²	264.208,48	6.023.953,41
4	Perawatan Beton	22,80	m ²	4.459,31	101.672,37
J.14	Kolom K3 (550x550)				
1	Beton Kolom F'c 35 Mpa	9,20	m ³	1.213.191,32	11.161.360,14
2	Pembesian	1.671,84	Kg	23.898,93	39.955.194,49
3	Pekerjaan Bekisting	66,88	m ²	264.208,48	17.670.263,34
4	Perawatan Beton	66,88	m ²	4.459,31	298.238,95
K	Pekerjaan Struktur Lantai Atap +26,6				
K.1	Balok ba2 (250x500)				
1	Beton Balok F'c 25 Mpa	7,18	m ³	1.132.182,92	8.129.073,37
2	Pembesian	1.587,27	Kg	23.898,93	37.934.061,61
3	Pekerjaan Bekisting	71,75	m ²	270.994,35	19.443.844,53
K.2	Pelat S2- Lt.7 (t = 12,5 cm)				
1	Beton Pelat F'c 25 Mpa	7,79	m ³	1.132.182,92	8.819.704,95
2	Pembesian	1.354,94	Kg	16.874,61	22.864.080,28
3	Pekerjaan Bekisting	73,09	m ²	Rp317.631	23.215.657,06
K.3	Perawatan Beton Balok&Pelat	53,00	m ²	Rp4.459	236.354,81
TOTAL					36.615.283.703

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini merupakan Tabel 4.51. yang menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan RAB perencanaan ulang struktur Gedung 2 RS Hermina Banyumanik.

Tabel 4. 51 Rekapitulasi Hasil Perhitungan RAB

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)
A	PEKERJAAN PERSIAPAN	
1	Pembersihan Lahan	21.977.670,00
2	Pagar Pengaman Proyek	111.175.691,56
3	Papan Nama Proyek	552.808,08
4	Pembuatan Direksi Keet	65.472.412,50
5	Pembuatan Gudang	78.566.895,00
6	Pemasangan Bouwplank	21.604.525,38
B	PEKERJAAN TANAH	
1	Pekerjaan Galian Tanah	22.137.752,84
2	Urugan Pasir	27.878.188,71
3	Pekerjaan Lantai kerja	53.203.551,07
C	PEKERJAAN PONDASI	
1	Pekerjaan Pengeboran Borpile	504.730.809,12
2	Pekerjaan Borpile	5.130.013.188,35
3	Pekerjaan Pile Cap	3.139.176.203,82
D	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 1	
1	Balok	1.150.375.750,67
2	Pelat	1.946.374.207,11
3	Kolom	1.231.642.859,26
E.	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 2	
1	Balok	2.047.253.588,40
2	Pelat	1.205.845.218,48
3	Kolom	1.406.114.003,04
F	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 3	
1	Balok	1.788.997.407,17
2	Pelat	1.201.630.709,96
3	Kolom	1.044.814.313,74
G	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 4	
1	Balok	1.803.334.783,22
2	Pelat	1.201.545.860,55
3	Kolom	1.044.814.313,74
H	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 5	
1	Balok	1.752.492.972,79

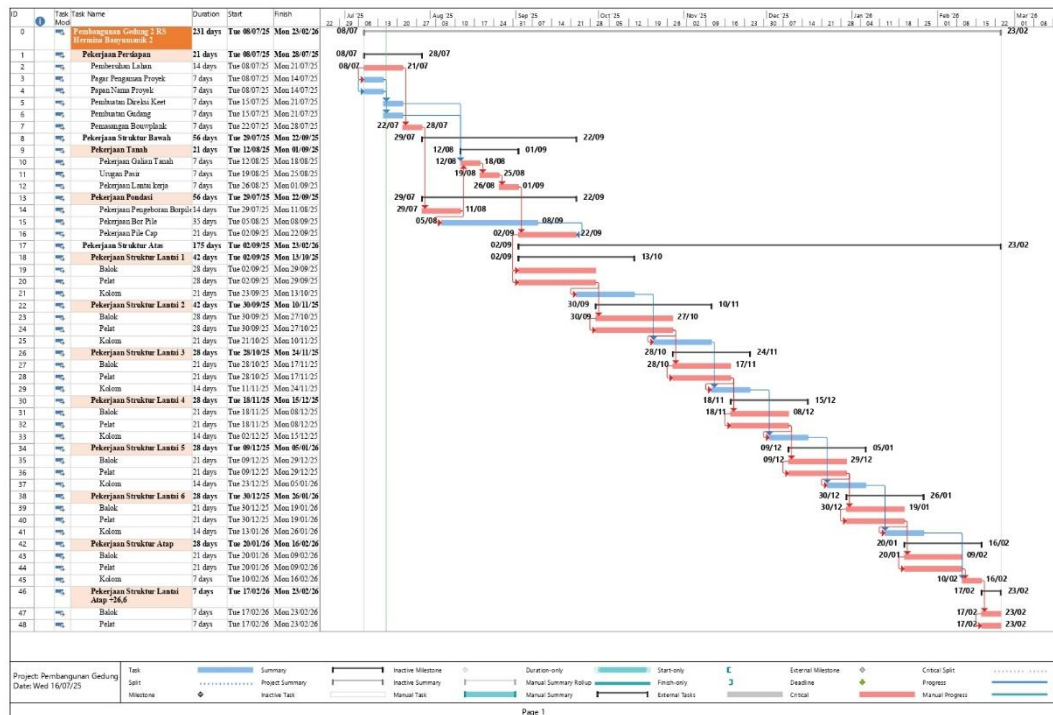
2	Pelat	1.116.809.954,04
3	Kolom	1.057.830.629,38
I	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI 6	
1	Balok	1.754.852.512,25
2	Pelat	1.118.175.356,09
3	Kolom	761.266.168,16
J	PEKERJAAN STRUKTUR ATAP	
1	Balok	1.241.481.946,11
2	Pelat	1.216.556.245,08
3	Kolom	225.942.430,88
K	PEKERJAAN STRUKTUR LANTAI ATAP +26,6	
1	Balok	65.506.979,50
2	Pelat	55.135.797,10
TOTAL		36.615.283.703,16
PPN 11 %		4.027.681.207,35
TOTAL SETELAH PPN		40.642.964.910,51
DIBULATKAN		40.642.964.000,00
TERBILANG	Empat Puluh Milyar Enam Ratus Empat Puluh Dua Juta Sembilan Ratus Enam Puluh Empat Ribu Rupiah	

(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berdasarkan Tabel 4.51. di atas, total RAB pada perencanaan ulang ini termasuk PPN 11% adalah Rp 40.642.964.000,00.

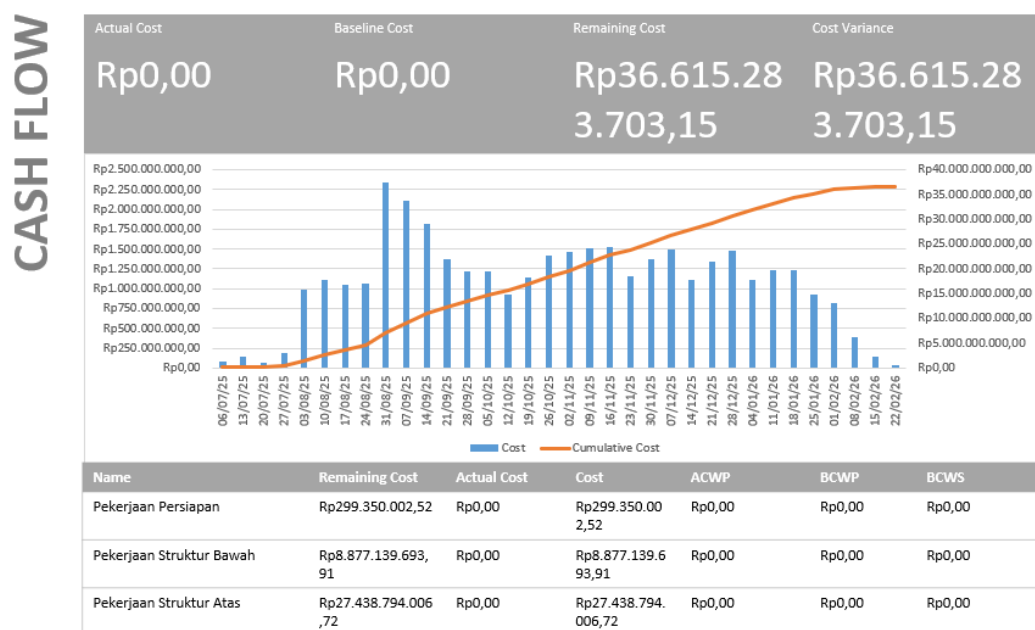
4.11. Hasil Penjadwalan

Setelah pembuatan RAB selesai dilanjutkan dengan penyusunan penjadwalan dan kurva S. Hal ini bertujuan untuk mengontrol progress proyek pada saat pelaksanaan dengan menyesuaikan penjadwalan yang telah dibuat pada saat perencanaan. Proses konstruksi pada perencanaan ulang ini direncanakan selama 33 minggu. Berikut di bawah ini pada Gambar 4.55. menampilkan *gantt chart* hasil penjadwalan proyek.



Gambar 4. 56 Gantt Chart Hasil Penjadwalan Proyek
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berikut di bawah ini pada Gambar 4.56. menampilkan kurva S hasil penjadwalan proyek.

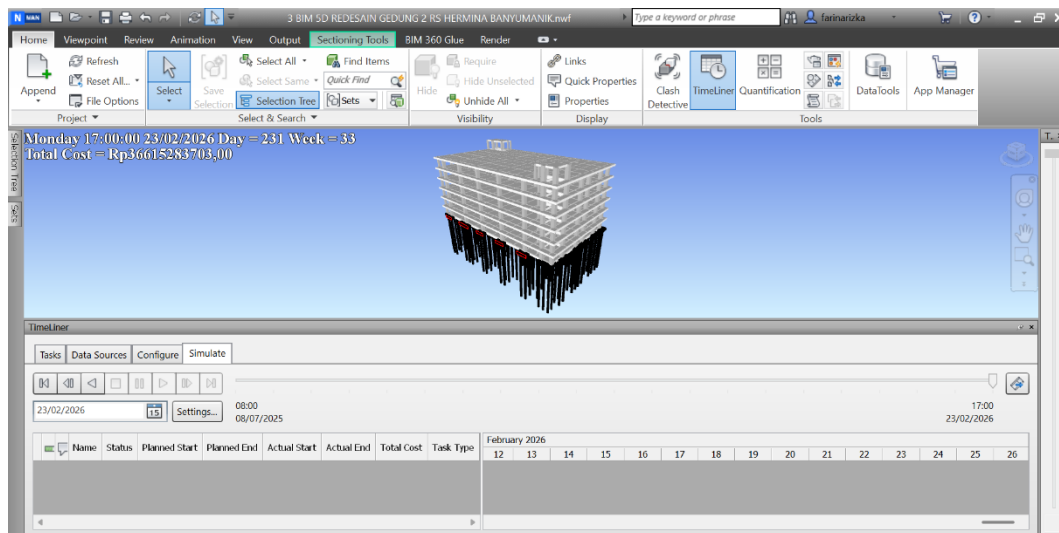


Gambar 4. 55 Kurva S Hasil Penjadwalan Proyek
(Sumber : Analisis Pribadi, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.55. dan Gambar 4.56. proses konstruksi pada pekerjaan persiapan memiliki durasi 21 hari, pekerjaan tanah memiliki durasi 21 hari, pekerjaan fondasi memiliki durasi 56 hari, dan pekerjaan struktur atas memiliki durasi 175 hari.

4.12. Hasil Pengintegrasian BIM 5D

Integrasi BIM 5D adalah proses dengan menggabungkan informasi penjadwalan dan biaya ke dalam model 3D bangunan. Integrasi BIM 5D memberikan visualisasi simulasi dari proses konstruksi pada perencanaan ulang ini mulai dari pekerjaan persiapan hingga pekerjaan struktur selesai. Simulasi dibantu dengan *software* Autodesk Naviswork dengan data-data seperti model 3D dari Autodeks Revit, *gant* chart dari Microsoft Project, dan RAB dari Microsoft Excel. Berikut di bawah ini Gambar 4.57. menampilkan hasil pengintegrasian BIM 5D.



Gambar 4. 57 Hasil Pengintegrasian BIM 5D

(Sumber : Dokumen Pribadi, 2025)

Berdasarkan gambar di atas, pekerjaan dimulai pada tanggal 8 Juli 2025 dan selesai pada tanggal 23 Februari 2026 dengan durasi 231 hari atau 33 minggu.