

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan gedung perkantoran dengan menggunakan material komposit baja-beton ini berada di Jl. S. Parman, No. 84 - 86, Palmerah - Jakarta Barat. Titik koordinat berada pada  $-6,186324^{\circ}$  Lintang Selatan, dan  $106,797529^{\circ}$  Bujur Timur. Berikut merupakan titik lokasi perencanaan gedung yang diambil dari Google Earth yang disajikan di Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Perencanaan

### 3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa data penyelidikan tanah hasil uji *Standart Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT) yang dilakukan oleh PT. Rekayasa Geoteknik Indonesia untuk digunakan sebagai data perencanaan fondasi.

### 3.3 Data Perencanaan

#### 3.3.1 Data Teknis Struktur Atas

Fungsi Bangunan	: Gedung Perkantoran
Jumlah Lantai	: 10 Lantai
Tinggi Antar Lantai	: 3,5 m

Tinggi Bangunan	: 35 m
Material	: Komposit Baja-Beton
Profil Baja Struktur	: <i>Wide Flange</i> (WF)
Jenis Fondasi	: Tiang Pancang
Sistem Struktur	: <i>Dual System</i> (Rangka Baja dan Beton Komposit dengan Bresing Konsentris Khusus)

### 3.3.1.1 Mutu Beton Material Komposit

Berdasarkan SNI 1729-2020, Pasal I1.3(a) beton dalam sistem komposit harus memiliki kekuatan tekan ( $f'c$ ) minimal 21 MPa dan maksimal 69 MPa untuk beton normal. Sedangkan untuk beton ringan harus memiliki kekuatan tekan ( $f'c$ ) minimal 21 MPa dan maksimal 41 MPa.

Pada perencanaan ini, digunakan mutu beton  $f'c$  40 MPa untuk struktur kolom. Sedangkan untuk struktur pelat, balok, dan struktur horizontal lainnya menggunakan mutu beton  $f'c$  35 MPa.

### 3.3.1.2 Mutu Baja Struktural

Berdasarkan SNI 1729-2020, Pasal I1.3(b), baja struktural dalam sistem komposit harus memiliki tegangan leleh ( $f_y$ ) tidak boleh melebihi 525 MPa. Pada perencanaan ini, digunakan baja struktural dengan mutu (BJ 41) yang memiliki tegangan leleh ( $f_y$ ) sebesar 250 MPa dan tegangan putus ( $f_u$ ) sebesar 410 MPa.

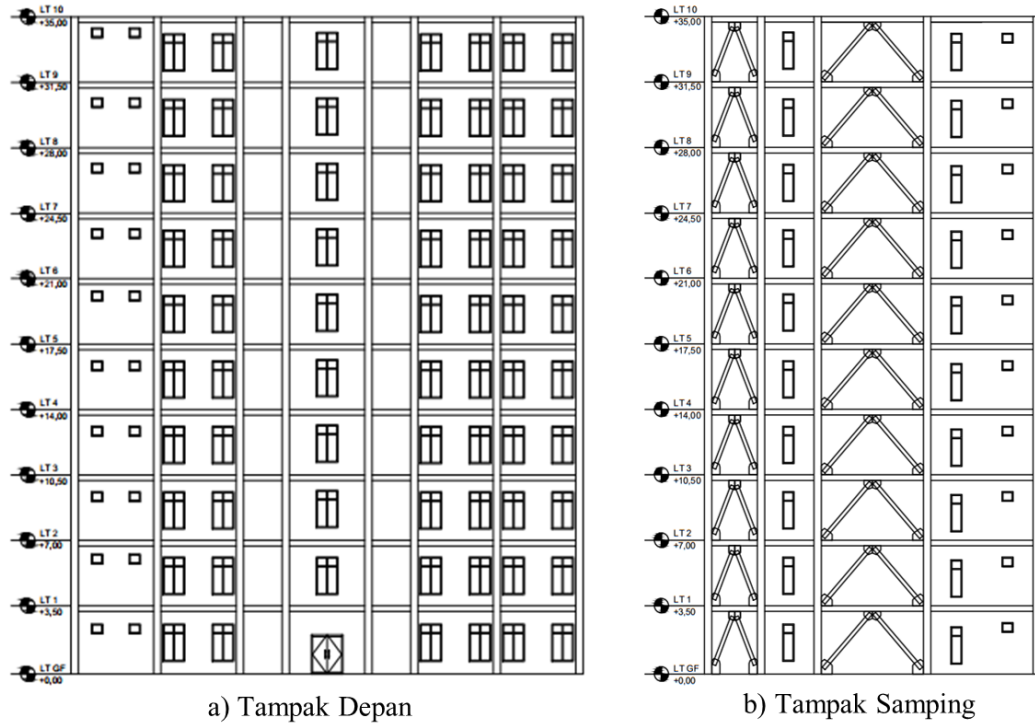
### 3.3.1.3 Mutu Baja Tulangan

Beton pembungkus inti baja harus ditulangi dengan batang tulangan longitudinal menerus dan sengkang pengikat lateral atau spiral. Berdasarkan SNI 1729-2020, Pasal I1.3(c), tegangan leleh ( $f_y$ ) pada batang tulangan dalam komponen struktur komposit tidak boleh melebihi 550 MPa.

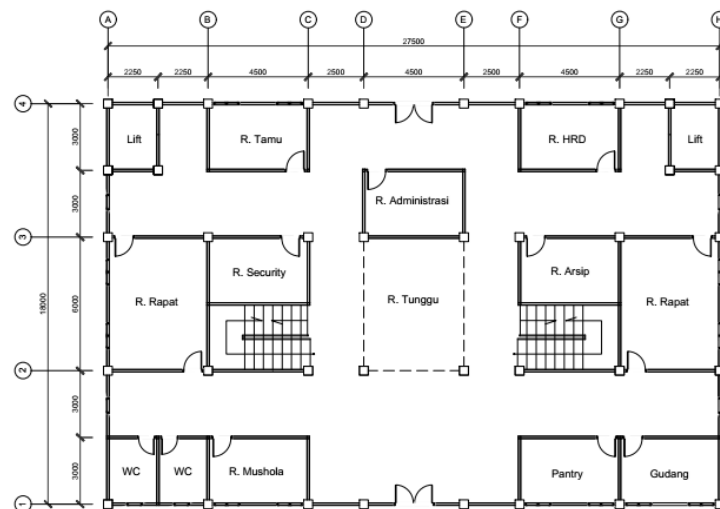
Pada perencanaan ini, digunakan tulangan ulir (D) dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) sebesar 420 MPa dan tulangan polos ( $\emptyset$ ) dengan tegangan leleh ( $f_y$ ) sebesar 280 MPa.

### 3.3.2 Gambar Perencanaan

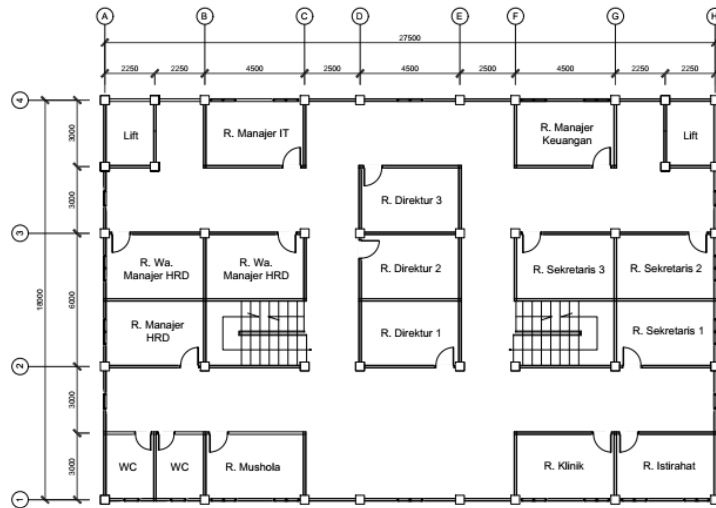
Pembuatan gambar dilakukan dengan menggunakan *software* Autocad *Student Version 2024*. Gambar perencanaan tampak, denah ruangan, dan denah struktur disajikan pada Gambar 3.2 sampai Gambar 3.13.



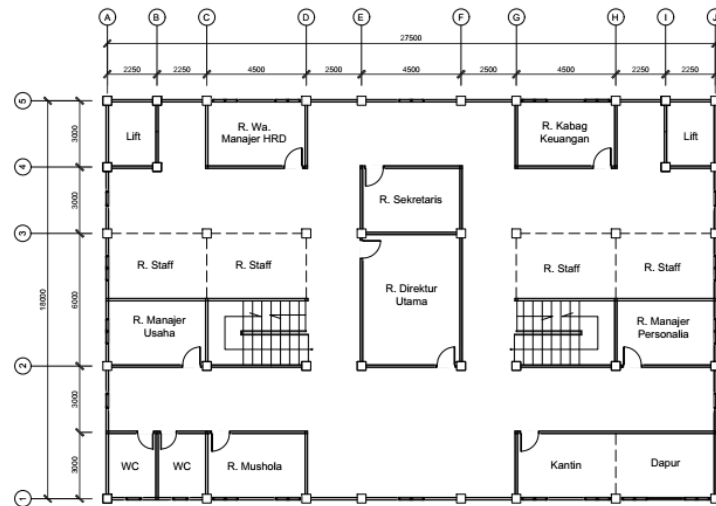
Gambar 3.2 Tampak Gedung



Gambar 3.3 Denah Ruang Lantai GF



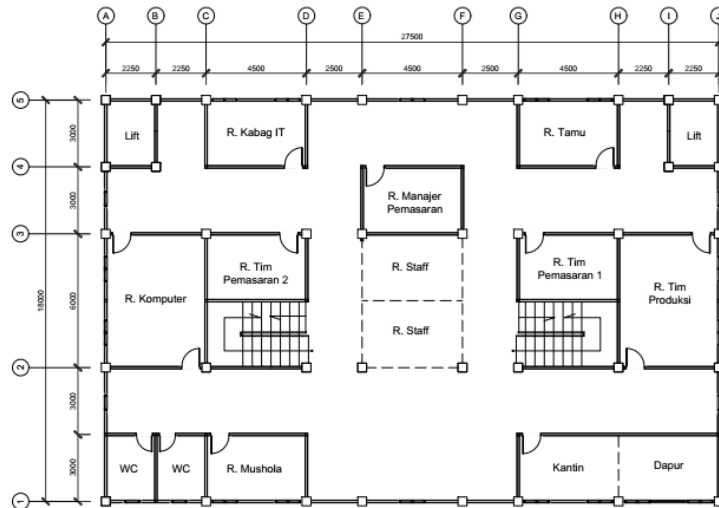
Gambar 3.4 Denah Ruang Lantai 2



Gambar 3.5 Denah Ruang Lantai 3



Gambar 3.6 Denah Ruang Lantai 4



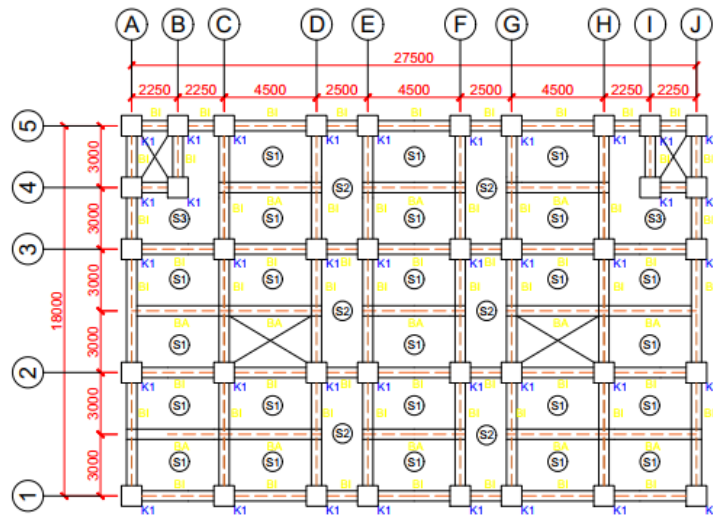
Gambar 3.7 Denah Ruang Lantai 5



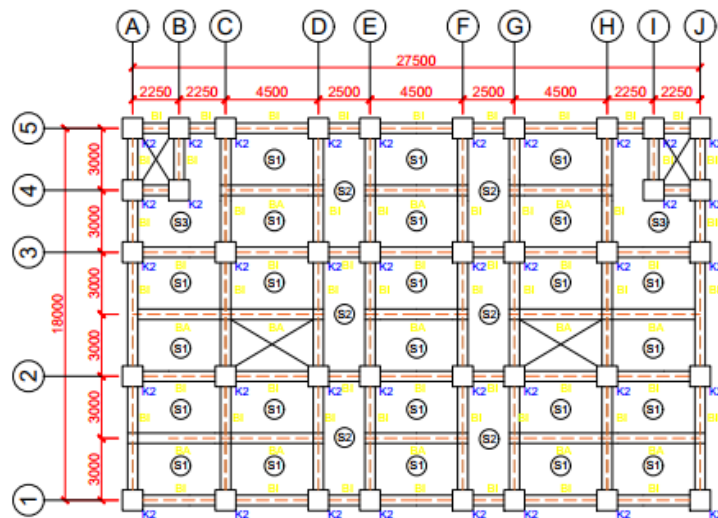
Gambar 3.8 Denah Ruang Lantai 6 – 9



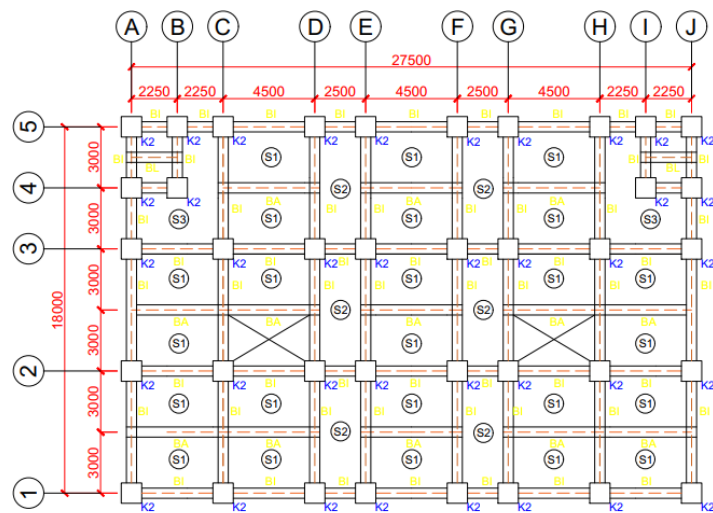
Gambar 3.9 Denah Ruang Lantai 10



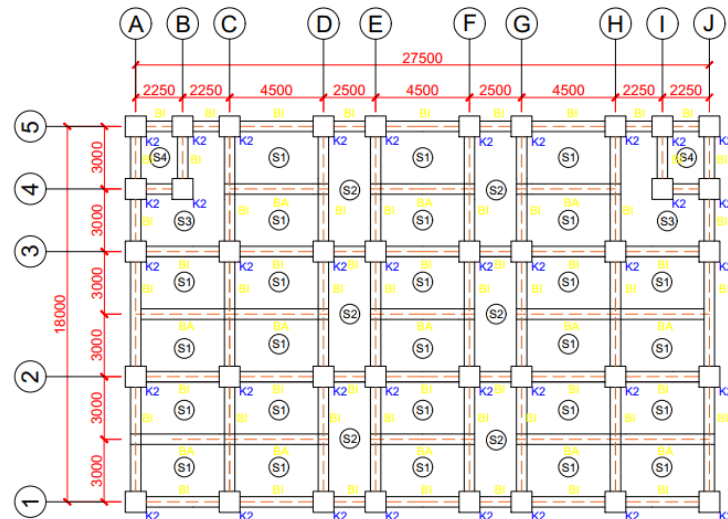
Gambar 3.10 Denah Struktur Lantai 2 – 5



Gambar 3.11 Denah Struktur Lantai 6 – 9



Gambar 3.12 Denah Struktur Lantai 10



Gambar 3.13 Denah Struktur Lantai Atap

### 3.3.3 Data Penyelidikan Tanah

Data yang digunakan untuk merencanakan struktur bawah merupakan data hasil penyelidikan tanah di lapangan. Pada lokasi perencanaan, data tanah yang diperoleh merupakan hasil pengujian berupa *Standart Penetration Test* (SPT) sebanyak 3 titik sedalam 50 m dan 70 m, serta *Cone Penetration Test* (CPT) sebanyak 6 titik.

Tabel 3.1 Data Pengujian SPT pada BH03

Soil Type	Soil Layer		N-SPT Value
	From	To	
	(m)		
Silty Clay, Soft	0	1,5	2
	1,5	1,95	2
	1,95	3	3
	3	3,45	3
	3,45	4,5	4
	4,5	4,95	4
	4,95	6	5
Sandy Silt, Very Stiff	6	6,45	5
	6,45	7,5	25
	7,5	7,95	25
	7,95	9	36
	9	9,45	36
	9,45	10,5	31
	10,5	10,95	31

<i>Soil Type</i>	<i>Soil Layer</i>		<i>N-SPT Value</i>
	<i>From</i>	<i>To</i>	
	<i>(m)</i>		
<i>Sandy Silt, Very Hard</i>	10,95	12	60
	12	12,45	60
<i>Clayey Silt, Hard</i>	12,45	13,5	28
	13,5	13,95	28
	13,95	15	42
	15	15,45	42
	15,45	16,5	46
	16,5	16,95	46
<i>Sandy Silt, Hard</i>	16,95	18	32
	18	18,45	32
	18,45	19,5	50
<i>Clayey Silt, Hard</i>	19,5	19,95	50
	19,95	21	42
	21	21,45	42
	21,45	22,5	22
<i>Clayey Silt, Very Stiff</i>	22,5	22,95	22
	22,95	24	21
	24	24,45	21
	24,45	25,5	19
<i>Clayey Silt, Hard</i>	25,5	25,95	19
	25,95	27	31
	27	27,45	31
	27,45	28,5	38
	28,5	28,95	38
	28,95	30	46
<i>Silty Sand, Very Dense</i>	30	30,45	46
	30,45	31,5	60
	31,5	31,95	60
	31,95	33	60
	33	33,4	60
	33,4	34,5	60
	34,5	34,87	60
	34,87	36	60
<i>Silty Sand, Very Hard</i>	36	36,4	60
	36,4	37,5	60
	37,5	37,88	60
<i>Clayey Silt, Very Stiff</i>	37,88	39	23
	39	39,45	23



<i>Soil Type</i>	<i>Soil Layer</i>		<i>N-SPT Value</i>	
	<i>From</i>	<i>To</i>		
	<i>(m)</i>			
	39,45	40,5	22	
	40,5	40,95	22	
	40,95	42	29	
	42	42,45	29	
	42,45	43,5	27	
	43,5	43,95	27	
	43,95	45	30	
	<i>Clayey Silt, Hard</i>	45	45,45	30
		45,45	46,5	33
46,5		46,95	33	
46,95		48	36	
48		48,45	36	
48,45		49,5	42	
49,5		49,95	42	

Untuk pengujian CPT diberikan nilai tahanan konus maksimum dan friksi total maksimum disajikan dalam Tabel 3.2.

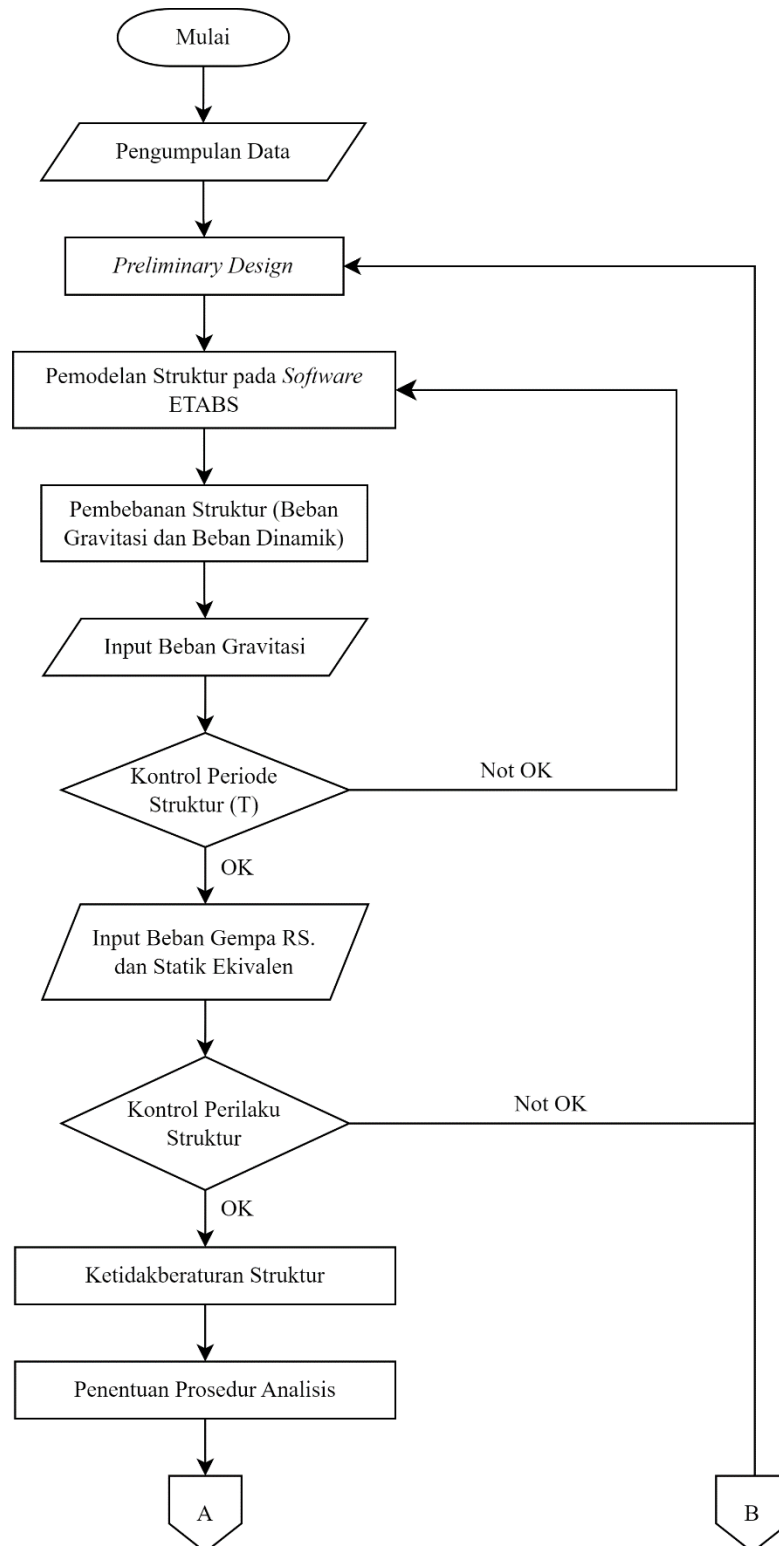
Tabel 3.2 Rekapitulasi Pengujian CPT

<b>No. Sondir</b>	<b>Kedalaman Uji (m)</b>	<b>Nilai Konus (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Friksi Total (kgf/cm)</b>
S-1	9,80	>250	635
S-2	8,40	>250	424
S-3	10,20	>250	701
S-4	9,80	>250	665
S-5	10,20	>250	640
S-6	10,40	>250	604

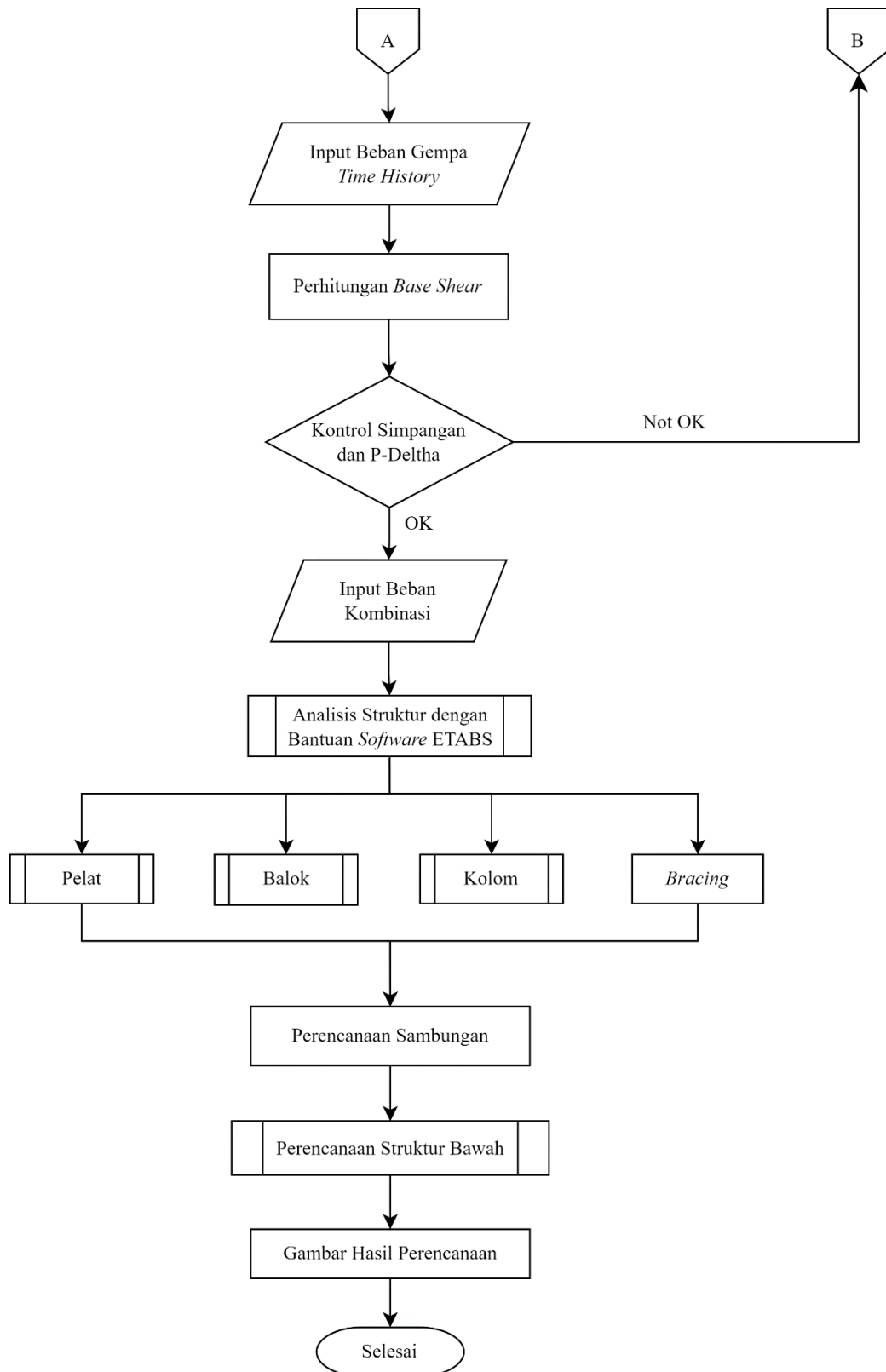
Pengujian CPT hanya bisa dilakukan hingga kedalaman maksimum antara 8,40 – 10,40 m dan nilai perlawanan konus ( $q_c$ ) sudah mencapai 250 kg/cm<sup>2</sup>, begitu pula untuk nilai N-SPT 55 - 60 *blows/feet*. Lapisan keras ini mempunyai ketebalan 4 m. Di bawah lapisan keras ini masih ditemukan lapisan stiff hingga *very stiff* sampai kedalaman 34 m. Dengan kondisi tanah tersebut, maka dalam penelitian ini direncanakan fondasi dalam dengan jenis tiang pancang.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir (*flow chart*) penelitian yang disajikan pada Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

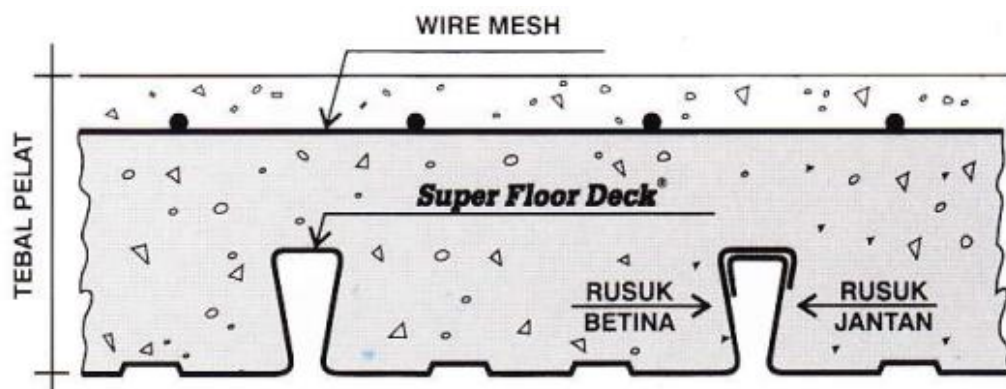
### 3.5 Teknik Analisis Data

#### 3.5.1 Preliminary Design

*Preliminary design* merupakan tahapan merencanakan dimensi awal elemen-elemen struktur, baik itu struktur primer (balok induk, kolom, dan *shear wall*), maupun struktur sekunder (pelat, balok anak, dan tangga). Tahapan ini mengacu pada, SNI 1729-2020, SNI 1727-2020, SNI 2847-2019, Tabel Profil Baja, dan Katalog Perencanaan Bondek.

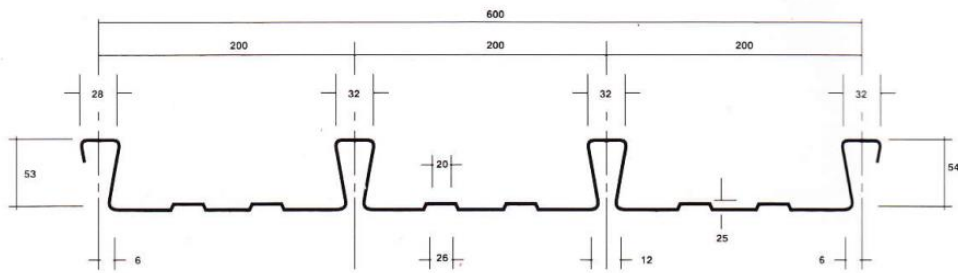
##### 3.5.1.1 Preliminary Design Pelat Komposit (Dek Baja Gelombang)

Gedung yang direncanakan menggunakan dek baja gelombang (bondek) untuk pelat atap dan pelat lantai. Data yang digunakan dalam perencanaan bondek mengambil dari katalog perencanaan “*Super Floor Deck*” yang merupakan bahan lembaran panel berbentuk pelat gelombang dari baja struktural. Panel ini berfungsi sebagai bekisting tetap dan penulangan positif satu arah pada lantai beton bangunan bertingkat. Adapun tabel perencanaan praktis dari *Super Floor Deck* yang menjadi acuan dalam perencanaan ini disajikan pada bagian lampiran.



Gambar 3.16 Super Komposit Pelat Beton

Struktur pelat direncanakan menggunakan dek baja dengan tipe *high-tensile steel* JIS 3302, dengan ketebalan 0,75 mm, berat 10,1 kg/m<sup>2</sup>, tegangan putus dek baja ( $f_u = 570$  MPa), dan tegangan tarik ( $f_y = 550$  MPa). Mutu beton yang digunakan yaitu K-350, mutu baja tulangan menggunakan BJTS 420A. Dimensi dek baja yang digunakan dalam perencanaan sesuai dengan spesifikasi dari “*Super Floor Deck*”, yang dapat dilihat pada Gambar 3.17.

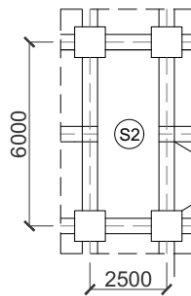


Gambar 3.17 Dimensi Dek Baja Rencana

Adapun konfigurasi pelat yang direncanakan sesuai Gambar 3.16, yaitu:

Tinggi bondek (Hr)	=	54 mm
Lebar bondek sisi atas (Wrt)	=	32 mm
Lebar bondek sisi bawah (Wrb)	=	188 mm
Panjang bondek dari sisi naik dan turun (Sr)	=	200 mm
Panjang bentang bondek	=	1654,667 mm
Tebal bondek	=	0,75 mm
Luas Area bondek	=	1241 mm <sup>2</sup>
Tipe penyangga	=	Tanpa penyangga
Tebal beton dari bondek yang paling atas (Tc)	=	Sesuai analisis pembebanan

#### 3.5.1.1.1 Pelat Lantai 1 – 9



Gambar 3.18 Sampel Pelat Lantai 2 – 10

#### 1. Data Pelat Lantai

$L_y$	:	6 m
$L_x$	:	2,5 m
$L_y/L_x$	:	2,4
Kategori Pelat	:	Satu arah (karena $L_y/L_x \geq 2$ )
Fungsi Lantai	:	Ruang Rapat

#### 2. Pembebanan

Sesuai dengan keterangan pada Tabel Praktis Perencanaan Bondek, bahwa beban yang dianalisis dalam perencanaan pelat hanya beban hidup (LL) dan beban finishing (SIDL), sedangkan untuk berat material sendiri dan pelat beton sudah diperhitungkan.

- Beban *finishing* (SIDL)

Berikut beberapa beban *finishing* pada lantai 1 – 9

Berat spesi tebal 1 cm = 0,22 kN/m<sup>2</sup>

Finishing (keramik) 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm = 1,10 kN/m<sup>2</sup>

Berat plafon dan penggantung = 0,15 kN/m<sup>2</sup>

Berat instalasi ME = 0,29 kN/m<sup>2</sup>

Total berat finishing = 1,756 kN/m<sup>2</sup> = 179,034 kg/m<sup>2</sup>

- Beban hidup (LL)

Sesuai fungsi lantai, maka LL = 4,79 kN/m<sup>2</sup> = 488,44 kg/m<sup>2</sup>

Beban ultimit rencana = 1,2 DL + 1,6 LL

= 996,34 kg/m<sup>2</sup>

= 1000 kg/m<sup>2</sup> (dibulatkan)

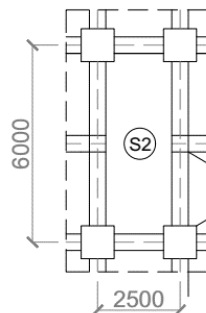
Sesuai analisis pembebanan yang telah didapatkan, maka dengan mengacu pada tabel praktis perencanaan dari “*Super Floor Deck*”, untuk pelat bentang menerus digunakan data pelat untuk lantai 1 – 9 sebagai berikut.

Tebal pelat = 10 cm

Bentang (span) = 2 m

Tulangan negatif = 2,65 cm<sup>2</sup>/m

### 3.5.1.1.2 Pelat Atap



Gambar 3.19 Sampel Pelat Atap

## 1. Data Pelat Atap

Ly	:	6 m
Lx	:	2,5 m
Ly/Lx	:	2,4
Kategori Pelat	:	Satu arah (karena $Ly/Lx \geq 2$ )
Fungsi Lantai	:	Ruang Perkantoran

## 2. Pembebanan

Sesuai dengan keterangan pada Tabel Praktis Perencanaan Bondek, bahwa beban yang dianalisis dalam perencanaan pelat hanya beban hidup (LL) dan beban *finishing* (SIDL), sedangkan untuk berat material sendiri dan pelat beton sudah diperhitungkan.

- Beban *finishing* (SIDL)

Berat spesi tebal 1 cm	=	0,22 kN/m <sup>2</sup>
Lapisan <i>waterproofing</i> ( <i>membranes liquid applied</i> )	=	0,05 kN/m <sup>2</sup>
Berat plafon dan penggantung	=	0,15 kN/m <sup>2</sup>
Berat instalasi ME	=	0,29 kN/m <sup>2</sup>
Total berat finishing	=	0,706 kN/m <sup>2</sup> = 71,96 kg/m <sup>2</sup>

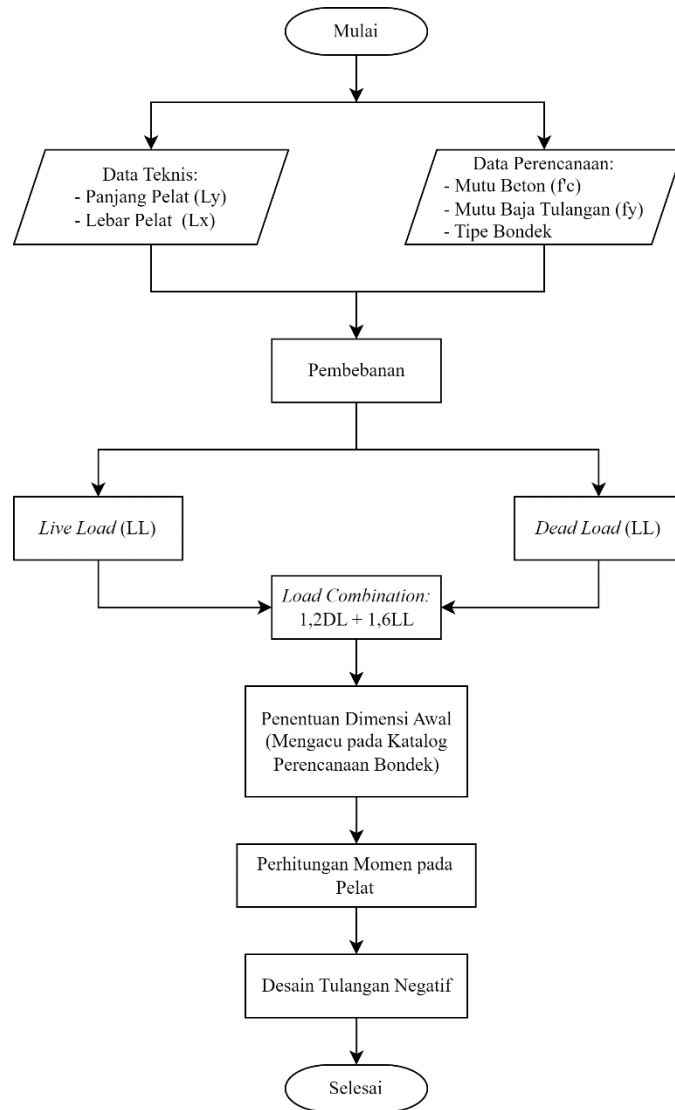
## - Beban hidup (LL)

Sesuai fungsi lantai, maka LL	=	2,40 kN/m <sup>2</sup> = 244,73 kg/m <sup>2</sup>
Beban ultimit rencana	=	1,2 DL + 1,6 LL
	=	477,92 kg/m <sup>2</sup>
	=	500 kg/m <sup>2</sup> (dibulatkan)

Sesuai analisis pembebanan yang telah didapatkan, maka dengan mengacu pada tabel praktis perencanaan dari “Super *Floor Deck*”, untuk pelat bentang menerus digunakan data pelat untuk lantai atap sebagai berikut.

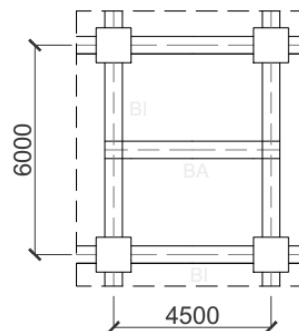
Tebal pelat	=	9 cm
Bentang (span)	=	2 m
Tulangan negatif	=	1,79 cm <sup>2</sup> /m

Berikut *flow chart* perencanaan pelat (dek baja gelombang) yang disajikan pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Diagram Alir Perencanaan Pelat Komposit

### 3.5.1.2 Preliminary Design Balok Komposit



Gambar 3.21 Sampel Ukuran Panjang Balok

#### 3.5.1.2.1 Balok Anak

##### 1. Data Perencanaan



Profil Balok	:	Wide Flange (WF)
Mutu Baja	:	BJ41
	$f_y$	: 250 MPa = 250000 kN/m <sup>2</sup>
	$f_u$	: 410 MPa
Panjang Balok Anak ( $L_1$ )	:	4,5 m
Panjang Balok Induk ( $L_2$ )	:	6 m

## 2. Pembebanan

### - Beban Hidup (LL)

$$\text{Ruang Pertemuan/Meetings} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

### - Beban Mati (DL)

$$\text{Berat sendiri pelat beton} : 2,35363342 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat pelat bondek} : 0,09904874 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat spesi tebal 1 cm} : 0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Finishing (keramik), 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm} : 1,1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat plafon \& penggantung} : 0,15 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} : 0,29 \text{ kN/m}^2$$

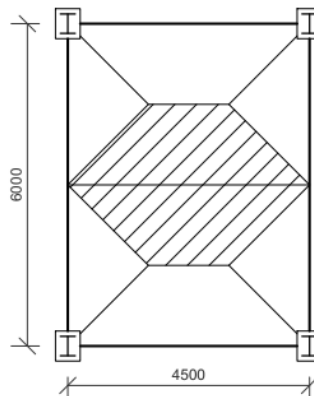
$$\text{Total Beban Mati (DL)} : 4,21268216 \text{ kN/m}^2$$

### - Beban Ultimit Rencana ( $q_u$ )

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} = 12,72 \text{ kN/m}^2$$

## 3. Distribusi Pembebanan

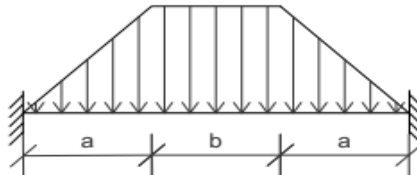
Beban ultimit hasil perhitungan merupakan beban area, maka dari itu harus dikonversi ke beban merata untuk didistribusikan pada balok.



Gambar 3.22 Distribusi Beban pada Balok Anak

$$\begin{aligned}
 \text{Distribusi beban ke balok anak (} q_{\text{pelat}} \text{)} &= \frac{q_u \left( \frac{L_2}{2} \right)}{2} \\
 &= \frac{12,72 \left( \frac{6}{2} \right)}{2} \\
 &= 19,08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### 4. Momen Primer



Gambar 3.23 Pembebanan pada Bentang Balok Anak

Dari gambar di atas, dapat diketahui:

$$\begin{aligned}
 a &= \left( \frac{L_2}{2} \right) \\
 &= \frac{6}{2} \\
 &= 1,5 \text{ m} \\
 b &= L_1 - 2(1,5) \\
 &= 4,5 - 3 \\
 &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai  $a$  dan  $b$ , lalu dihitung momen primer pada bentang balok anak.

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{a}{L} \\
 &= \frac{1,5}{4,5} \\
 &= 0,333 \\
 M_1 &= \frac{qL^2}{12} [(1 - \alpha)(2 - \alpha)] \\
 &= \frac{19,08(4,5^2)}{12} [(1 - 0,333)(2 - 0,333)] \\
 &= 35,77 \text{ kNm} \\
 M_u &= M_1 \\
 &= 35,77 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

#### 5. Dimensi Awal Profil Balok

Penentuan dimensi awal profil balok harus memenuhi persamaan berikut.

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

Asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis

$$M_n = Z_x f_y$$

Dari nilai  $Z_p$ , diperoleh perencanaan dimensi awal balok:

$$\begin{aligned} Z_{x_{\min}} &= \frac{M_u}{\phi f_y} \\ &= \frac{35,77}{0,75(250000)} \\ &= 0,0001908 \text{ m}^3 \\ &= 190,79 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dipilih profil WF yang mempunyai nilai  $Z_x$  lebih besar dari nilai  $Z_{x_{\min}}$  ( $190,79 \text{ cm}^3$ ). Maka dicoba dengan profil WF 300.150.6,5.9 dengan nilai  $Z_x$  sebesar  $481 \text{ cm}^3$ .

#### 6. Kontrol Beban Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri profil WF 300.150.6,5.9 yaitu sebesar  $0,36 \text{ kN/m}$ .

Beban ultimit dari berat sendiri balok yaitu:

$$\begin{aligned} q_{\text{balok anak}} &= 1,2 D \\ &= 1,2 (0,36) \\ &= 0,432 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen primer:

$$\text{Akibat beban pelat } (M_1) = 35,77 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat berat sendiri balok } (M_2) &= \frac{q_{\text{balok}} \cdot L^2}{12} \\ &= \frac{0,432(4,5^2)}{12} \\ &= 0,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen primer total } (M_u) &= M_1 + M_2 \\ &= 35,77 + 0,73 \\ &= 36,50 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol } Z_{x_{\min}} &= \frac{M_u}{\phi f_y} \\ &= \frac{36,50}{0,75(250000)} \end{aligned}$$

$$= 0,0001947 \text{ m}^3 = 194,68 \text{ cm}^3$$

### 7. Cek Keamanan Profil Balok

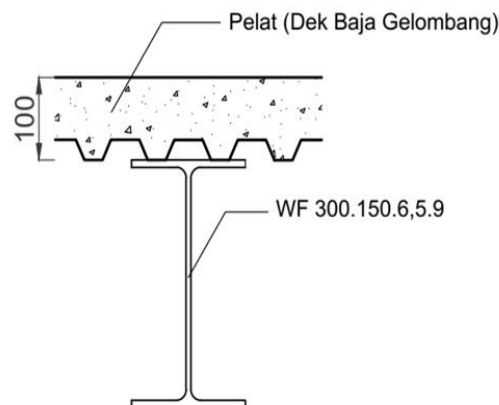
$$Z_{x_{\text{minimal}}} < Z_{x_{\text{profil}}}$$

$$194,68 \text{ cm}^3 < 481 \text{ cm}^3 \quad (\text{Memenuhi})$$

Berikut merupakan spesifikasi balok anak dengan menggunakan profil baja WF 300.150.6,5.9 yang disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Profil Balok Anak

WF 300.150.6,5.9			
<b>d</b>	300 mm	<b>rx</b>	12,40 cm
<b>b</b>	150 mm	<b>ry</b>	3,29 cm
<b>tw</b>	6,50 mm	<b>Zx</b>	481 cm <sup>3</sup>
<b>tf</b>	9 mm	<b>Zy</b>	67,70 cm <sup>3</sup>
<b>w</b>	36,70 kg/m	<b>h</b>	d - 2 (tf+r)
<b>r</b>	13 mm	<b>h</b>	256 mm
<b>A</b>	46,78 cm <sup>2</sup>		
<b>Ix</b>	7210 cm <sup>4</sup>		
<b>Iy</b>	508 cm <sup>4</sup>		



Gambar 3.24 Penampang Balok Anak

### 3.5.1.2.2 Balok Induk

#### 1. Data Perencanaan

Profil Balok : Wide Flange (WF)

Mutu Baja : BJ41

$$f_y : 250 \text{ MPa} = 250000 \text{ kN/m}^2$$

$$f_u : 410 \text{ MPa}$$

Panjang Balok Anak ( $L_1$ ) : 4,5 m

Panjang Balok Induk ( $L_2$ ) : 6 m

## 2. Pembebanan

- Beban Hidup (LL)

Ruang *Meetings* = 2,45170148 kN/m<sup>2</sup>

- Beban Mati (DL)

Berat sendiri pelat beton : 2,35363342 kN/m<sup>2</sup>

Berat pelat bondek : 0,09904874 kN/m<sup>2</sup>

Berat spesi tebal 1 cm : 0,22 kN/m<sup>2</sup>

*Finishing* (keramik), 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm : 1,1 kN/m<sup>2</sup>

Berat plafon & penggantung : 0,15 kN/m<sup>2</sup>

Berat instalasi ME : 0,29 kN/m<sup>2</sup>

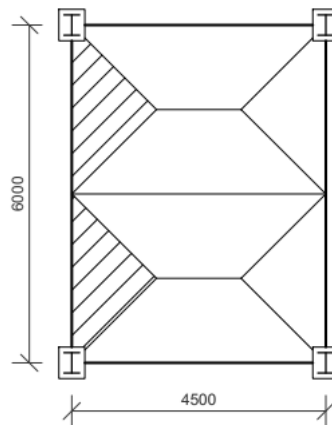
Total Beban Mati (DL) : 4,21268216 kN/m<sup>2</sup>

- Beban Ultimit Rencana ( $q_u$ )

1,2 DL + 1,6 LL = 12,719 kN/m<sup>2</sup>

## 3. Distribusi Pembebanan

Beban ultimit hasil perhitungan merupakan beban area, maka dari itu harus dikonversi ke beban merata untuk didistribusikan pada balok.



Gambar 3.25 Distribusi Beban pada Balok Induk

$$\begin{aligned}
 \text{Distribusi beban ke balok induk } (q_{\text{pelat}}) &= \frac{q_u \left(\frac{L_2}{2}\right)}{2} \\
 &= \frac{12,719 \left(\frac{6}{2}\right)}{2} \\
 &= 19,08 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

#### 4. Beban Terpusat dari Balok Anak

Balok induk akan menerima beban terpusat yang disalurkan dari balok anak yang menumpu padanya.

$$P = \frac{1}{2} (\text{beban lantai} + \text{beban sendiri balok anak})$$

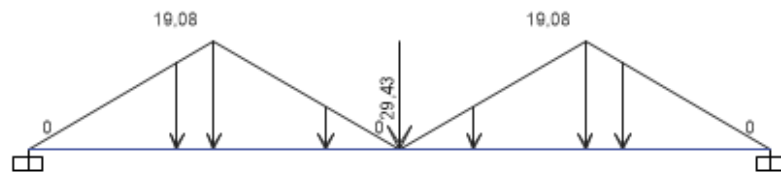
$$P = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{1}{2} q (L_1 + b) \right) + (q_{\text{balok anak}} \cdot L) \right]$$

$$P = \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{1}{2} \cdot 19,08 (4,5 + 1,5) \right) + (0,432 \cdot 4,5) \right]$$

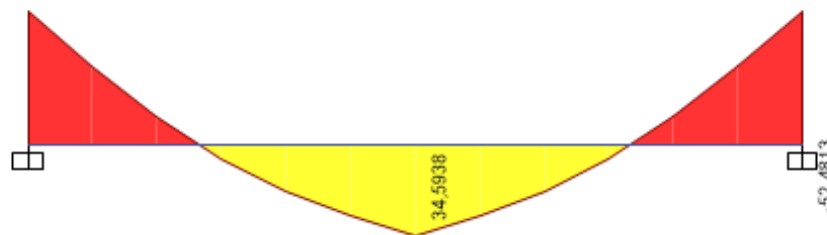
$$P = 29,43 \text{ kN}$$

#### 5. Momen Primer

Perhitungan momen primer pada bentang balok induk dilakukan dengan menggunakan software ETABS V.21. *Input* pembebanan dan *output* hasil analisis momen yang terjadi disajikan pada Gambar 3.26 dan Gambar 3.27.



Gambar 3.26 *Input* Pembebanan pada Bentang Balok Induk



Gambar 3.27 *Output* Analisis Momen pada *Software* ETABS

Dari hasil *run analysis* menggunakan *software* ETABS, didapat momen ultimit ( $M_u$ ) pada bentang balok induk sebesar 52,48 kNm.

#### 6. Dimensi Awal Profil Balok

Penentuan dimensi awal balok harus memenuhi persamaan berikut

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

Asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis

$$M_n = Z_x f_y$$

Dari nilai  $Z_p$ , diperoleh perencanaan dimensi awal balok:

$$\begin{aligned} Z_{x_{\min}} &= \frac{M_u}{\phi f_y} \\ &= \frac{52,48}{0,75(250000)} \\ &= 0,0002799 \text{ m}^3 \\ &= 279,89 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dipilih profil WF yang mempunyai nilai  $Z_x$  lebih besar dari nilai  $Z_{x_{\min}}$  ( $279,89 \text{ cm}^3$ ). Maka dicoba dengan profil WF 350.175.7.11 dengan nilai  $Z_x$  sebesar  $775 \text{ cm}^3$ .

#### 7. Kontrol Beban Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri profil WF 500.200.10.16 yaitu sebesar  $0,486 \text{ kN/m}$ .

Beban ultimit dari berat sendiri balok yaitu:

$$\begin{aligned} q_{\text{balok induk}} &= 1,2 D \\ &= 1,2 (0,486) \\ &= 0,584 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen primer:

$$\text{Akibat beban pelat } (M_1) = 52,48 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat berat sendiri balok } (M_2) &= \frac{q_{\text{balok}} \cdot L^2}{12} \\ &= \frac{0,584(6^2)}{12} \\ &= 1,75 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen primer total } (M_u) &= M_1 + M_2 \\ &= 52,48 + 1,75 \\ &= 54,23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol } Z_{x_{\text{minimal}}} &= \frac{M_u}{\phi f_y} \\ &= \frac{54,23}{0,75(250000)} \\ &= 0,000289 \text{ m}^3 = 289,23 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

#### 8. Cek Keamanan Profil Balok

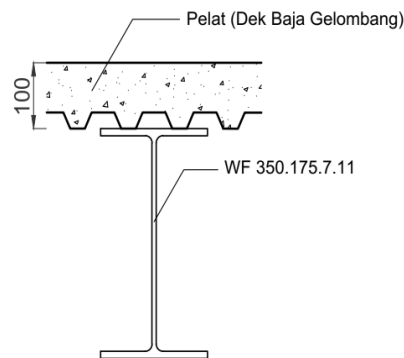
$$Z_{x_{\text{minimal}}} < Z_{x_{\text{profil}}}$$

$$289,23 \text{ cm}^3 < 775 \text{ cm}^3 \quad (\text{Memenuhi})$$

Berikut merupakan spesifikasi balok induk dengan menggunakan profil baja WF 350.175.7.11 yang disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Profil Balok Induk

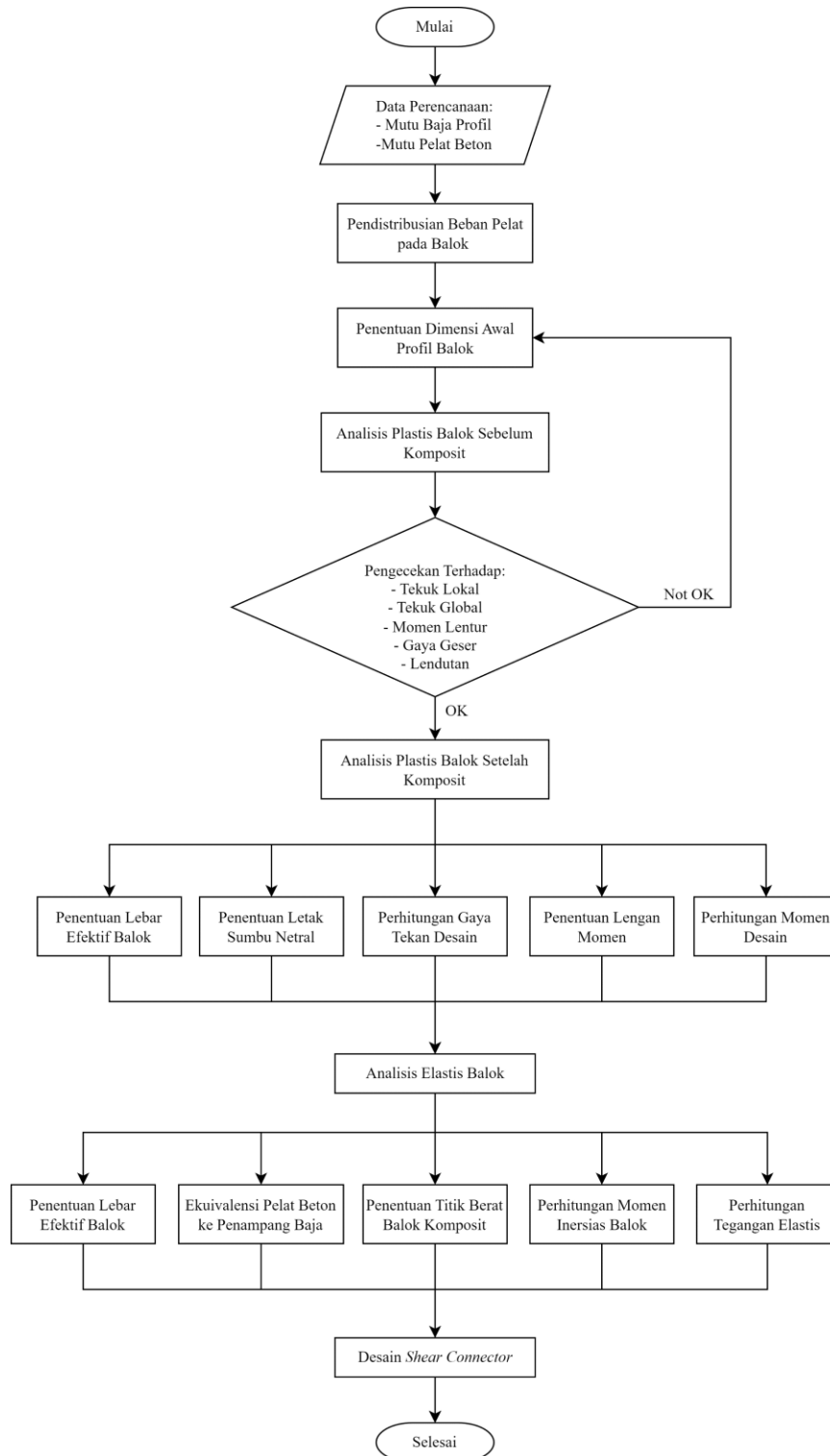
<b>WF 350.175.7.11</b>			
<b>d</b>	350 mm	<b>rx</b>	20,50 cm
<b>b</b>	175 mm	<b>ry</b>	4,33 cm
<b>tw</b>	7 mm	<b>Zx</b>	1910 cm <sup>3</sup>
<b>tf</b>	11 mm	<b>Zy</b>	214 cm <sup>3</sup>
<b>w</b>	49,60 kg/m	<b>h</b>	d - 2 (tf+r)
<b>r</b>	14 mm	<b>h</b>	300 mm
<b>A</b>	63,14 cm <sup>2</sup>		
<b>Ix</b>	13600 cm <sup>4</sup>		
<b>Iy</b>	984 cm <sup>4</sup>		



Gambar 3.28 Penampang Balok Induk

Perencanaan balok komposit disajikan dalam *flow chart* pada Gambar 3.29.



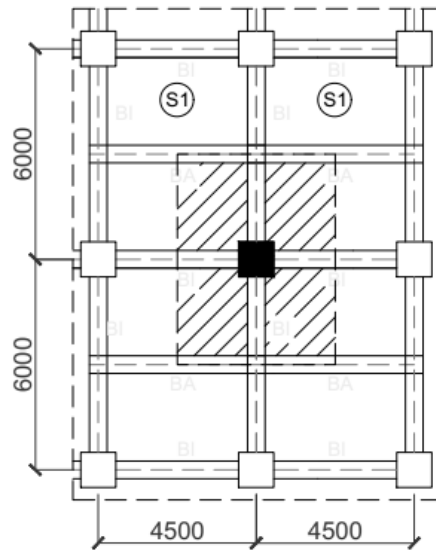


Gambar 3.29 Diagram Alir Perencanaan Balok Komposit

### 3.5.1.3 Preliminary Design Kolom Komposit

Penentuan dimensi kolom harus memperhatikan pembebanan yang dipikul oleh kolom tersebut. Kolom yang berada di bawah akan memiliki dimensi lebih

besar karena memikul beban lebih besar dibandingkan dengan kolom di atasnya. Peraturan pembebanan yang digunakan diambil dari SNI 1727-2020, Katalog Perencanaan Bondek, dan berat sendiri balok diambil dari Tabel Profil Baja.



Gambar 3.30 Tributary Area pada Sampel Lokasi Kolom

Tabel 3.5 Pembebanan pada Analisis Perencanaan Kolom

<b><i>Dead Load (DL)</i></b>	<b>Berat</b>
BJ material beton	23,54 kN/m <sup>3</sup>
Berat bondek "Super Floor Deck"	0,094 kN/m <sup>2</sup>
Berat Balok Induk (WF 400.200.8.13)	66 kg/m
Berat Balok Anak (WF 250.125.6.9)	29,60 kg/m
<b><i>Superimposed Dead Load (SIDL)</i></b>	<b>Berat</b>
<i>Finishing</i> (keramik), 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm	1,10 kN/m <sup>2</sup>
Ventilasi Udara ( <i>Ducting Mechanical</i> )	0,19 kN/m <sup>2</sup>
Penggantung langit-langit (material baja)	0,10 kN/m <sup>2</sup>
Plafond (papan serat akustik)	0,05 kN/m <sup>2</sup>
Lapisan <i>waterproofing</i> ( <i>membranes liquid applied</i> )	0,05 kN/m <sup>2</sup>
<b><i>Superimposed Dead Load (SIDL)</i></b>	<b>Berat</b>
Instalasi listrik	0,10 kN/m <sup>2</sup>
Pipa air bersih dan kotor	0,10 kN/m <sup>2</sup>

<i>Live Load (LL)</i>	<b>Berat</b>
Ruang komputer	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Ruang Rapat/ <i>Meetings</i>	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Ruang perkantoran	2,40 kN/m <sup>2</sup>
Semua ruang kecuali tangga	1,92 kN/m <sup>2</sup>
Atap (dak)	0,96 kN/m <sup>2</sup>
BJ genangan air (1cm)	9,70 kN/m <sup>2</sup>
Partisi	0,72 kN/m <sup>2</sup>

### 1. Data Perencanaan

Profil Baja : *Wide Flange (WF)*

Mutu Baja Profil : BJ 41

$f_y$  : 250 MPa

$f_u$  : 410 MPa

Mutu Beton :  $f'_c = 40$  MPa

Pembungkus

Mutu Baja Tulangan : BJTS 420A

$f_y$  : 420 MPa

$f_u$  : 525 MPa

### 2. Pembebanan

Pembebanan yang diterapkan pada struktur mengacu pada SNI 1727-2020. Beban yang diperhitungkan dalam perencanaan dimensi kolom terdiri dari *Dead Load (DL)*, *Superimposed Dead Load (SIDL)*, dan *Live Load (LL)*.

#### a) Analisis Beban yang Ditahan pada Kolom Lantai Atap

Analisis perhitungan dilakukan dengan bantuan MS. Excel yang disajikan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Rekapitulasi Pembebanan pada Lantai Atap

<b><i>Dead Load (DL)</i></b>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
Pelat Beton	BJ beton x p x l x t	57,19
Bondek	Berat bondek x p x l	2,67
Balok Induk 1	Berat profil x panjang x jumlah	2,92
Balok Anak	Berat profil x panjang x jumlah	1,62
Balok Induk 2	Berat profil x panjang x jumlah	2,19
Total Berat DL (kN)		66,60
<b><i>Superimposed Dead Load (SIDL)</i></b>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
Lapisan <i>waterproofing</i> ( <i>membranes liquid applied</i> )	Berat x p x l	1,35
Penggantung langit-langit (material baja)	Berat x p x l	2,70
Plafond (papan serat akustik)	Berat x p x l	1,35
Ventilasi Udara ( <i>Ducting Mechanical</i> )	Berat x p x l	5,13
Instalasi listrik	Berat x p x l	2,70
Pipa air bersih dan kotor	Berat x p x l	2,70
Total Berat SIDL (kN)		15,93
<b><i>Live Load (LL)</i></b>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
Atap (Dak)	Berat x p x l	25,92
Genangan air	BJ x p x l x t	2,62
Total Berat LL (kN)		28,54

## b) Analisis Beban yang Ditahan pada Kolom Lantai 1 – 9

Analisis perhitungan dilakukan dengan bantuan MS. Excel yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 3.7 Rekapitulasi Pembebanan pada Lantai 1 – 9

<i>Dead Load (DL)</i>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
Pelat Beton	BJ beton x p x l x t	63,55
Bondek	Berat bondek x p x l	2,67
Balok Induk 1	Berat profil x panjang x jumlah	2,92
Balok Anak	Berat profil x panjang x jumlah	1,62
Balok Induk 2	Berat profil x panjang x jumlah	2,19
Total Berat DL (kN)		72,95
<i>Superimposed Dead Load (SIDL)</i>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
<i>Finishing</i> (keramik) 1,9 cm	Berat x p x l	29,70
Penggantung langit-langit (material baja)	Berat x p x l	2,70
<i>Plafond</i> (papan serat akustik)	Berat x p x l	1,35
Ventilasi Udara ( <i>Ducting Mechanical</i> )	Berat x p x l	5,13
Instalasi listrik	Berat x p x l	2,70
Pipa air bersih dan kotor	Berat x p x l	2,70
Berat dinding pada BI1	Berat x panjang	25,56
Berat dinding pada BI2	Berat x panjang	19,17
Berat dinding pada BA	Berat x panjang	19,81
Total Berat SIDL (kN)		108,82
<i>Live Load (LL)</i>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>

<i>Live Load (LL)</i>		
<b>Pembebanan</b>	<b>Perhitungan</b>	<b>Berat (kN)</b>
Partisi	Berat x p x l	19,44
Ruang Rapat	Berat x p x l	129,33
Total Berat LL (kN)		148,77

c) Komulatif Beban Tiap Lantai

Perhitungan komulatif beban tiap lantai dilakukan dengan bantuan MS. Excel. Kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1,2 DL + 1,2 SIDL + 1,6 LL. Berikut rekapitulasi perhitungan yang disajikan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kombinasi dan Komulatif Beban Tiap Lantai

<b>Lantai</b>	<b>Beban (kN)</b>				
	<b>DL</b>	<b>SIDL</b>	<b>LL</b>	<b>Load Combination (1,2DL + 1,2SIDL + 1,6LL)</b>	<b>Kumulatif, Pu (kN)</b>
10 (Atap)	66,59	15,93	28,54	144,69	144,69
9	72,95	108,82	148,77	456,15	600,85
8	72,95	108,82	148,77	456,15	1057,00
7	72,95	108,82	148,77	456,15	1513,15
6	72,95	108,82	148,77	456,15	1969,31
5	72,95	108,82	148,77	456,15	2425,46
4	72,95	108,82	148,77	456,15	2881,62
3	72,95	108,82	148,77	456,15	3337,77
2	72,95	108,82	148,77	456,15	3793,92
1	72,95	108,82	148,77	456,15	4250,08

3. Dimensi Awal Kolom

Penentuan dimensi awal penampang kolom dapat memperhatikan luasan yang diperlukan oleh penampang kolom tersebut dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A = \frac{P_u}{\phi f_y}$$

Dengan mengacu pada tabel komulatif beban tiap lantai, maka dapat direncanakan luasan profil kolom yang dibutuhkan.

- Kolom Lantai 10 (Atap)

$$A = \frac{144,692}{0,9(250000)} = 0,000643 \text{ m}^2 = 6,43 \text{ cm}^2$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama hingga kolom lantai 1. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa semakin bawah ketinggian lantai, maka kebutuhan luasan kolom semakin besar. Oleh karena itu, dari lantai 5 ke bawah dilakukan perubahan dimensi kolom dengan luasan yang lebih besar. Berikut rekapitulasi kebutuhan luasan dan rencana profil kolom yang akan digunakan yang disajikan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Rekapitulasi Luasan Perlu dan Profil Kolom Desain

Lantai	Luas Kebutuhan Kolom, $A_{keb}$ ( $\text{cm}^2$ )	Kolom Desain		Kontrol $A_{desain} \geq A_{keb}$
		Profil	Luas, $A_{desain}$ ( $\text{cm}^2$ )	
10 (Atap)	6,43	WF 500.300.11.18	163,50	Memenuhi
9	26,70	WF 500.300.11.18	163,50	Memenuhi
8	46,98	WF 500.300.11.18	163,50	Memenuhi
7	67,25	WF 500.300.11.18	163,50	Memenuhi
6	87,52	WF 500.300.11.18	163,50	Memenuhi
5	107,80	WF 600.300.14.23	222,40	Memenuhi
4	128,07	WF 600.300.14.23	222,40	Memenuhi
3	148,35	WF 600.300.14.23	222,40	Memenuhi
2	168,62	WF 600.300.14.23	222,40	Memenuhi
1	188,89	WF 600.300.14.23	222,40	Memenuhi

Berikut spesifikasi baja profil yang digunakan pada kolom K1 (lantai 1 – 5) dan kolom K2 (lantai 6 – 10) yang disajikan pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11.

Tabel 3.10 Spesifikasi Baja Profil K1

WF 600.300.14.23			
<b>d</b>	600 mm	<b>rx</b>	24,9 cm
<b>b</b>	300 mm	<b>ry</b>	6,90 cm

<b>WF 600.300.14.23</b>			
<b>tw</b>	13 mm	<b>Zx</b>	4620 cm <sup>3</sup>
<b>tf</b>	24 mm	<b>Zy</b>	701 cm <sup>3</sup>
<b>w</b>	175 kg/m	<b>h</b>	d - 2 (tf+r)
<b>r</b>	28 mm		496 mm
<b>A</b>	222,4 cm <sup>2</sup>		
<b>Ix</b>	137000 cm <sup>4</sup>		
<b>Iy</b>	10600 cm <sup>4</sup>		

Tabel 3.11 Spesifikasi Baja Profil K2

<b>WF 500.300.11.18</b>			
<b>d</b>	500 mm	<b>rx</b>	20,8 cm
<b>b</b>	300 mm	<b>ry</b>	7,04 cm
<b>tw</b>	11 mm	<b>Zx</b>	3100 cm <sup>3</sup>
<b>tf</b>	18 mm	<b>Zy</b>	824 cm <sup>3</sup>
<b>w</b>	128 kg/m	<b>h</b>	d - 2 (tf+r)
<b>r</b>	26 mm		412 mm
<b>A</b>	163,50 cm <sup>2</sup>		
<b>Ix</b>	71000 cm <sup>4</sup>		
<b>Iy</b>	8110 cm <sup>4</sup>		

Dalam struktur kolom komposit, perencanaan dimensi beton pembungkus baja harus menyesuaikan dengan ukuran profil baja yang digunakan. Ukuran kolom beton juga harus mempunyai *space* yang cukup supaya tulangan pembungkus baja profil tidak memiliki jarak yang terlalu berdekatan maupun berjauhan.

Dimensi tambahan kolom beton pembungkus diambil 2 kali jarak dari tulangan ke tepi kolom beton (selimut beton). Diambil tebal selimut beton 30 mm, maka:

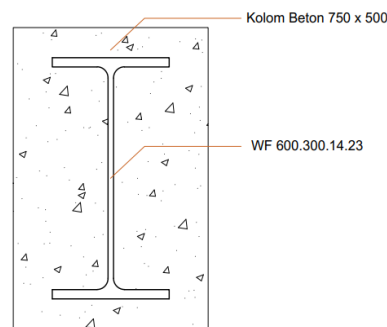
$$2 \times \text{jarak tulangan ke tepi kolom} = 2 \times 30 = 60 \text{ mm (untuk satu sisi)}$$



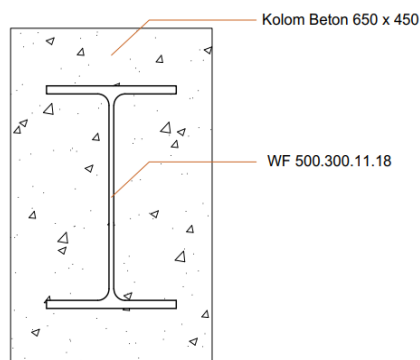
Maka, didapat dimensi tambahan kolom untuk kedua sisi sebesar 120 mm dari tinggi dan lebar profil baja yang digunakan. Berikut rekapitulasi dimensi kolom komposit baja profil terbungkus beton.

Tabel 3.12 Rekapitulasi Dimensi Kolom Beton Pembungkus Baja

Lantai	Dimensi Kolom Rencana (mm)		Dimensi Kolom Desain (mm)	
	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar
10 (Atap)	620	420	650	450
9	620	420	650	450
8	620	420	650	450
7	620	420	650	450
6	620	420	650	450
5	720	420	750	500
4	720	420	750	500
3	720	420	750	500
2	720	420	750	500
1	720	420	750	500

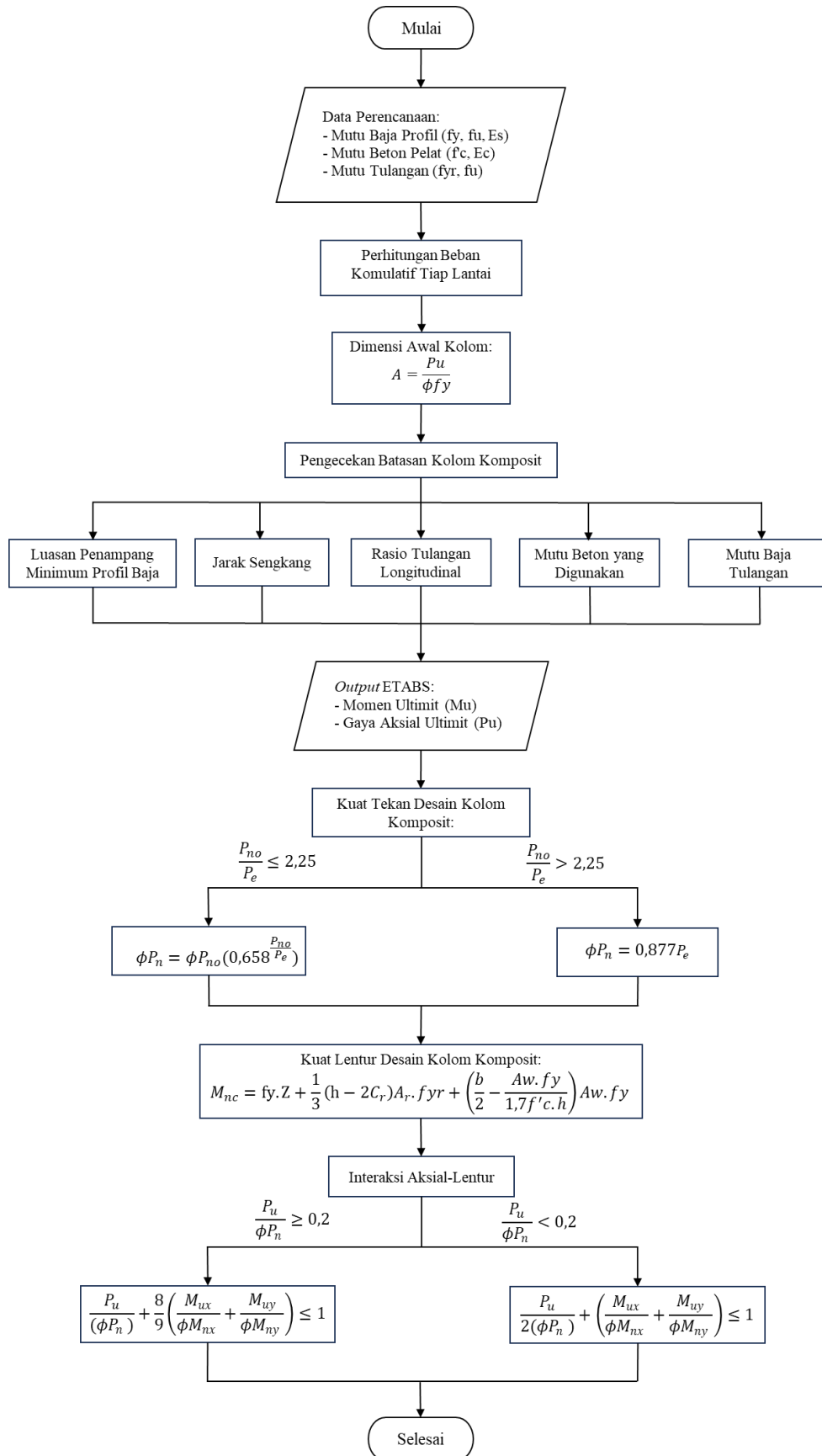


Gambar 3.31 Penampang Kolom K1



Gambar 3.32 Penampang Kolom K2

Perencanaan balok komposit disajikan dalam *flow chart* pada Gambar 3.33.



Gambar 3.33 Diagram Alir Perencanaan Kolom Komposit

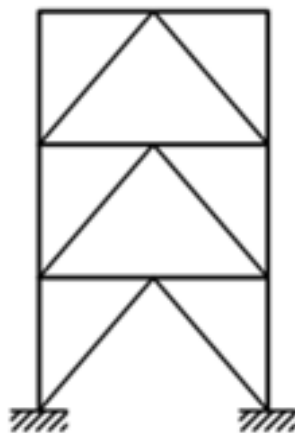
### 3.5.1.4 Preliminary Design Bracing

*Bracing* yang diterapkan sebagai penahan gaya lateral pada struktur gedung yang akan dianalisis yaitu menggunakan jenis *Centrically Braced Frame* (CBF) dengan tipe *Inverted V-Bracing*. Pemilihan tipe *bracing* ini dilandaskan pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu dengan hasil sebagai berikut

1. Perbandingan nilai simpangan horizontal bangunan baja Hotel Loji Kridanggo Boyolali dengan *bracing* tipe diagonal dan *bracing* tipe inverted V adalah 0,321 : 0,294. *Bracing* tipe inverted V lebih kaku dan kokoh dibandingkan dengan *bracing* tipe diagonal (Adila et al., 2023).
2. Penambahan pengaku lateral (*bracing*) pada struktur gedung dengan *bracing* tipe inverted V lebih unggul dalam mengurangi simpangan horizontal (*drift*) akibat gaya gempa statik ekuivalen hingga mencapai 74,65% pada arah X dan 75,06% pada arah Y dibandingkan dengan *bracing* tipe V (Soelarso & Baehaki, 2016).

Adapun spesifikasi profil *bracing* yang digunakan yaitu sebagai berikut.

Profil Baja	: WF 300.300.10.15
Mutu Baja	: BJ 37
$f_y$	: 240 MPa
$f_u$	: 370 MPa



Gambar 3.34 *Inverted V-Bracing CBF*

Spesifikasi baja profil yang digunakan pada struktur *bracing* disajikan dalam Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Spesifikasi Profil *Bracing*

<b>WF 300.300.10.15</b>			
<b>d</b>	300 mm	<b>rx</b>	13,51 cm
<b>b</b>	300 mm	<b>ry</b>	7,51 cm
<b>tw</b>	10 mm	<b>Zx</b>	1360 cm <sup>3</sup>
<b>tf</b>	15 mm	<b>Zy</b>	450 cm <sup>3</sup>
<b>w</b>	94 kg/m	<b>h</b>	d - 2 (tf+r)
<b>r</b>	18 mm		234 mm
<b>A</b>	119,80 cm <sup>2</sup>		
<b>Ix</b>	20400 cm <sup>4</sup>		
<b>Iy</b>	6750 cm <sup>4</sup>		

### 3.5.1.5 Preliminary Design Tangga

Dalam mendesain struktur tangga terdapat 3 hal yang harus diperhatikan, yaitu ukuran langkah, keamanan, dan kenyamanan. Maka dari itu, penentuan lebar injakan atau antrede (a) dan tinggi tanjakan atau optrede (s) harus mempertimbangkan tiga hal tersebut.

#### 1. Data Perencanaan

Digunakan tangga tipe U dengan spesifikasi data sebagai berikut.

Tinggi antar lantai $\Delta H_r$	:	350 cm
Panjang area tangga (P)	:	450 cm
Lebar area tangga (L)	:	300 cm
Jarak antar jalur tangga (L1)	:	30 cm
Lebar satu jalur anak tangga (Lt)	:	135 cm
Lebar injakan atau antrede (a)	:	30 cm
Tinggi injakan atau optrede (s)	:	16 cm

#### 2. Kontrol Desain Perencanaan

Tabel 3.14 Kontrol Desain Perencanaan Tangga

<b>Aspek</b>	<b>Syarat</b>	<b>Kontrol</b>
Berdasarkan ukuran langkah	$2s + a = 60$ s.d 65	62 cm

Aspek	Syarat	Kontrol
		<b>Memenuhi</b>
Berdasarkan Keamanan	$s + a = \pm 46$	46 cm
		<b>Memenuhi</b>
Berdasarkan Kenyamanan	$a - s = \pm 12$	14 cm
		<b>Memenuhi</b>

### 3. Desain Bordes

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bordes rencana (hb)} & : 175 \text{ cm} \\ \text{Panjang tangga horizontal (P1)} \quad ((a/s).hb) & : 328,125 \text{ cm} \\ \text{Lebar bordes (Lb)} \quad (P - P1) & : 121,875 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 4. Jumlah Anak Tangga di Bawah Bordes

$$\begin{aligned} \text{Jumlah optrede (ns)} \quad (h/s) & : 11 \text{ Tanjakan} \\ \text{Jumlah antrede (na)} \quad (ns - 1) & : 10 \text{ Injakan} \\ \text{Jumlah anak tangga pakai (n1)} & : 11 \text{ Buah} \end{aligned}$$

### 5. Jumlah Anak Tangga di Atas Bordes

$$\begin{aligned} \text{Jumlah optrede (ns)} \quad (h/s) & : 11 \text{ Tanjakan} \\ \text{Jumlah antrede (na)} \quad (ns - 1) & : 10 \text{ Injakan} \\ \text{Jumlah anak tangga pakai (n2)} & : 11 \text{ Buah} \end{aligned}$$

### 6. Jumlah total anak tangga (nt)

$$n1 + n2 : 22 \text{ buah}$$

Dengan menggunakan *trial and error*, didapat konfigurasi anak tangga yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3.15 Konfigurasi Anak Tangga

Posisi Anak Tangga	n	$\Sigma n$	s (cm)	$\Sigma Hd$ (n.s)	Kontrol
Anak Tangga Lantai Atas	3	22	9	350	$\Sigma n = nt$
Anak Tangga di Atas Bordes	8		19		<b>Memenuhi</b>
Anak Tangga di Bawah Bordes	8		18		$\Sigma Hd = \Sigma Hr$

Posisi Anak Tangga	n	$\Sigma n$	s (cm)	$\Sigma Hd$ (n.s)	Kontrol
Anak Tangga Lanti Dasar	3		9		<b>Memenuhi</b>

Dikarenakan jumlah tangga dan tinggi anak tangga berbeda, maka dimensi tangga dihitung kembali

Panjang tangga horizontal (P1)	(n1.a)	:	330 cm
Lebar bordes (Lb)	(P - P1)	:	120 cm
Panjang pelat miring (Pm)	$(\sqrt{P1^2 + hb^2})$	:	373,53 cm
Panjang pelat (I)	(Pm +Lb)	:	493,53 cm

Tebal pelat minimum dihitung berdasarkan kondisi tumpuan pada pelat satu arah. Kondisi tumpuan diasumsikan dengan satu ujung menerus, maka persamaan yang digunakan yaitu  $L/24$ .

Tebal pelat minimum ( $tp_{min}$ ) = 15,56 cm

Digunakan tebal pelat tangga dan pelat bordes sebesar 16 cm

#### 7. Kemiringan Tangga

$$\begin{aligned} \text{Sudut miring tangga } (\alpha) &= \text{atan } \frac{s}{a} \\ &= 28,07^\circ \end{aligned}$$

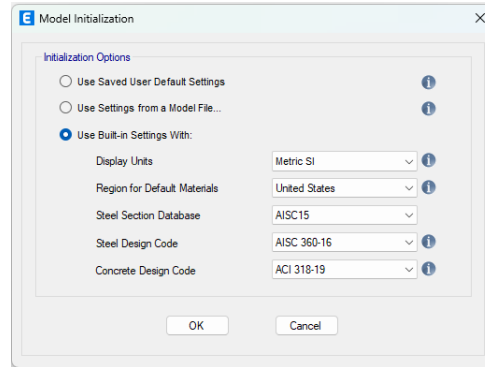
$$\begin{aligned} \text{Cek kemiringan tangga} &= 25^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \\ &= 25^\circ \leq 28,07^\circ \leq 30^\circ \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

### 3.5.2 Pemodelan Struktur pada ETABS

Dari gambar perencanaan yang telah disajikan pada point 3.3.2, dilakukan pemodelan struktur pada *software* ETABS v21 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

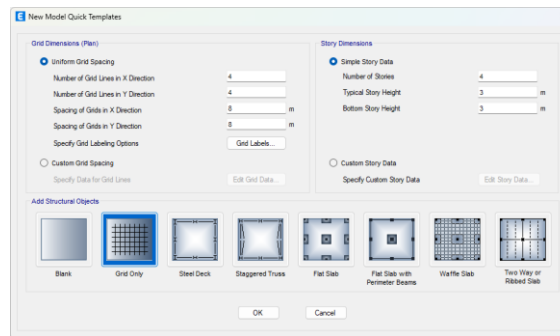
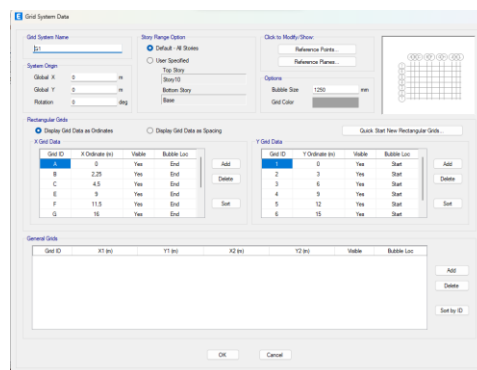
#### 3.5.2.1 Model Initialization

Tahapan pertama, terlebih dahulu menentukan pertaturan terbaru dalam merencanakan struktur gedung.

Gambar 3.35 Model *Initialization*

### 3.5.2.2 Grid System Data

Proses ini menentukan dimensi ukuran bangunan dari jumlah kolom, luas ruangan, tinggi bangunan, dan jumlah tingkat bangunan yang akan direncanakan.

Gambar 3.36 Penentuan *Template Model*

Gambar 3.37 Grid System Data

### 3.5.2.3 Define Material Properties

Material yang diinput pada penelitian ini yaitu beton dengan mutu K-400 dan K-350, baja dengan mutu BJ41 dan BJ37, baja tulangan (rebar) dengan tipe

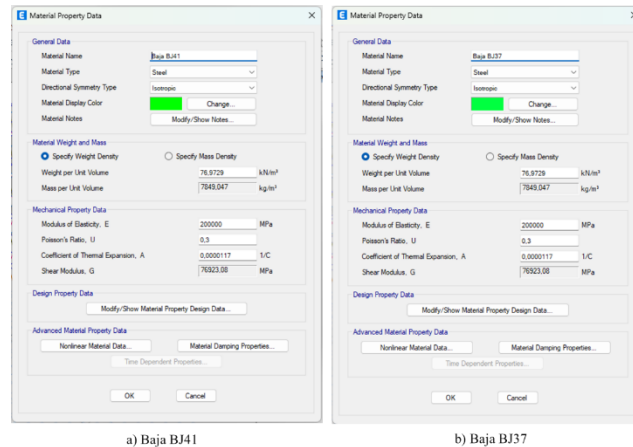
BjTP 420A dan BjTS 280, serta baja bondek untuk perencanaan pelat. Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Material Properties – Add new Material*.



a) Beton  $f'c$  40 MPa

b) Beton  $f'c$  35 MPa

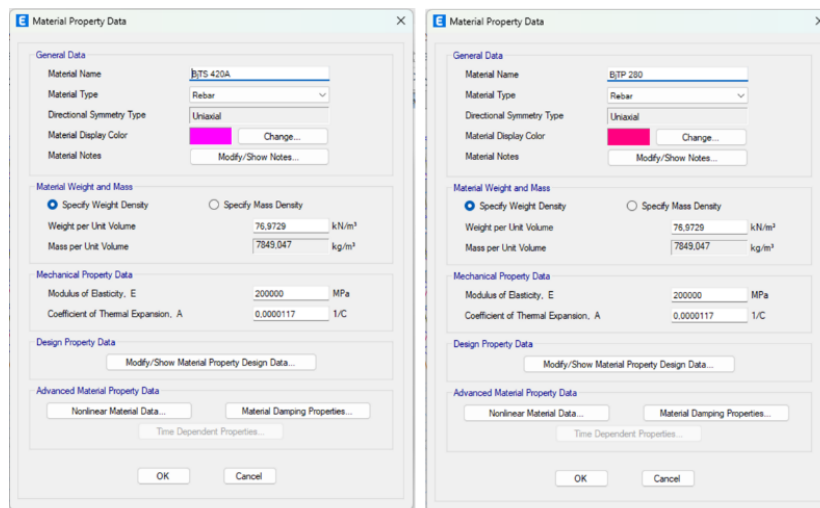
Gambar 3.38 Define Property Beton



a) Baja BJ41

b) Baja BJ37

Gambar 3.39 Define Property Baja Profil

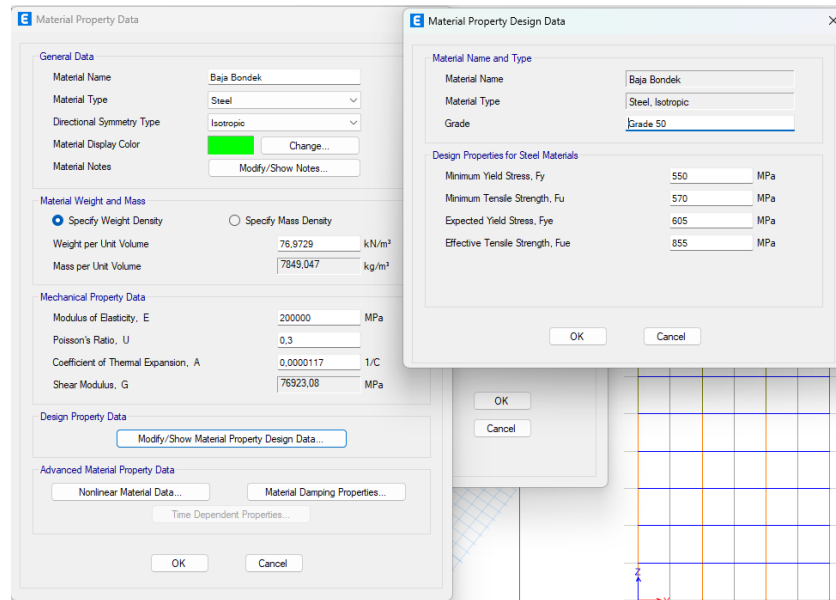


a) Tulangan BjTS 420A

b) Tulangan BjTP 280

Gambar 3.40 Define Property Rebar





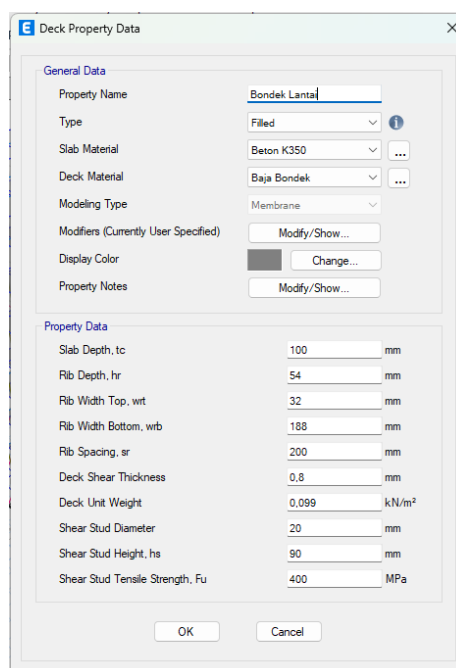
Gambar 3.41 *Define Property Baja Bondek*

### 3.5.2.4 *Define Frame Section*

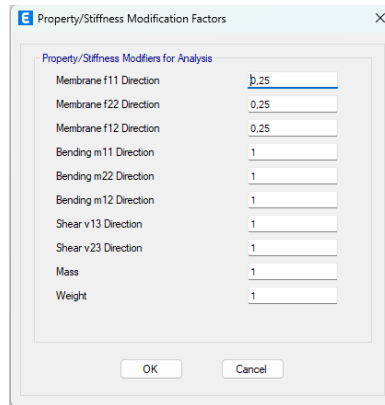
Merencanakan penampang yang akan digunakan, seperti pelat, balok, dan kolom.

#### 1. Data Pelat (Dek Baja Gelombang)

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Deck Section – Add new Properties.*



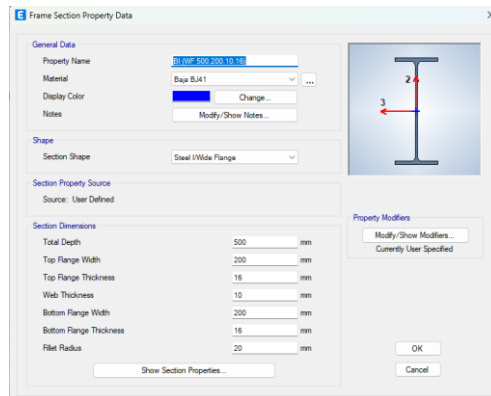
Gambar 3.42 *Frame Section Pelat*



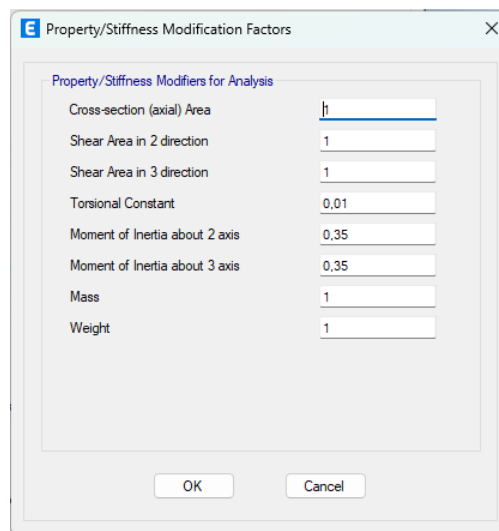
Gambar 3.43 *Stiffness Modification Factors Pelat*

## 2. Data Balok Komposit

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Frame Section – Add new Properties.*

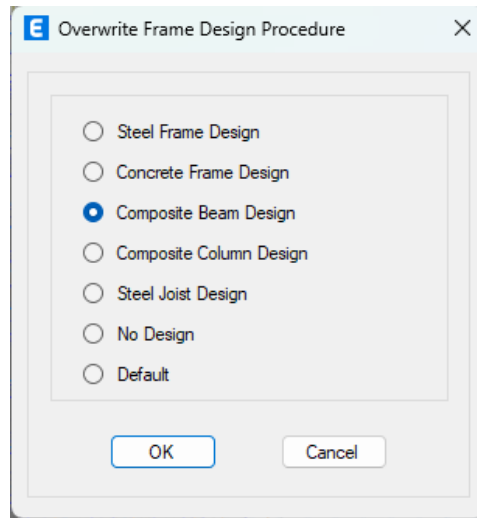


Gambar 3.44 *Frame Section Balok*



Gambar 3.45 *Stiffness Modification Factors Balok*

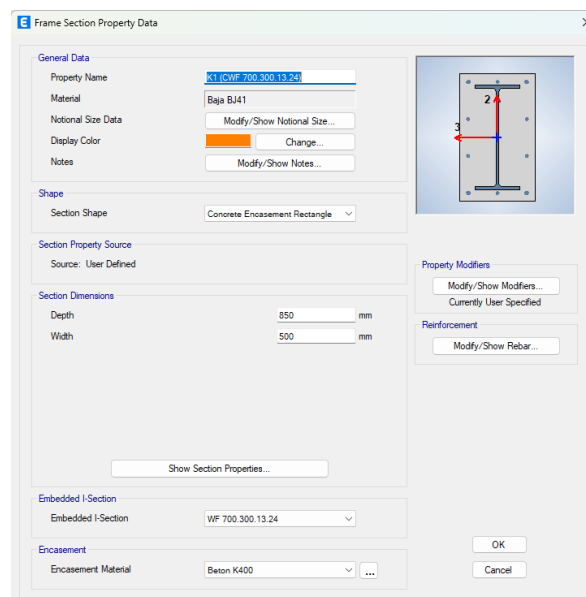
Untuk mengubah penampang balok baja menjadi penampang balok komposit, dilakukan tahapan: *Select Profil Balok – Design – Overwrite Frame Design Procedure – Composite Beam Design*.



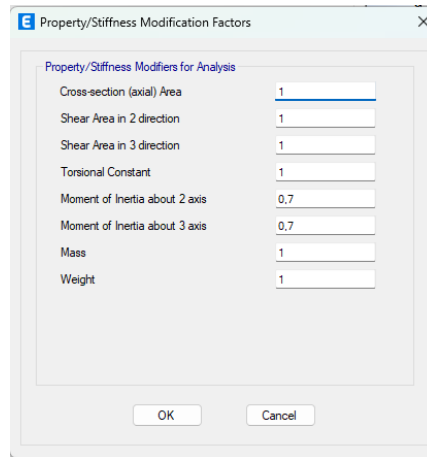
Gambar 3.46 *Design* Balok Komposit

### 3. Data Kolom Komposit

Tahapan dalam proses ini yaitu: *Define – Section Properties – Frame Section – Add new Properties – Steel Composite – Rectangular Encased I Section*. Sebelum disatukan menjadi kolom komposit baja-beton, terlebih dahulu mendefinisikan penampang profil baja dan mutu beton yang direncanakan.

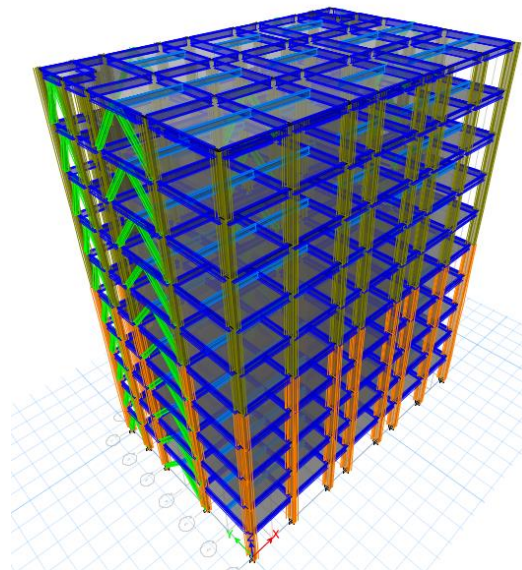


Gambar 3.47 *Frame Section* Kolom

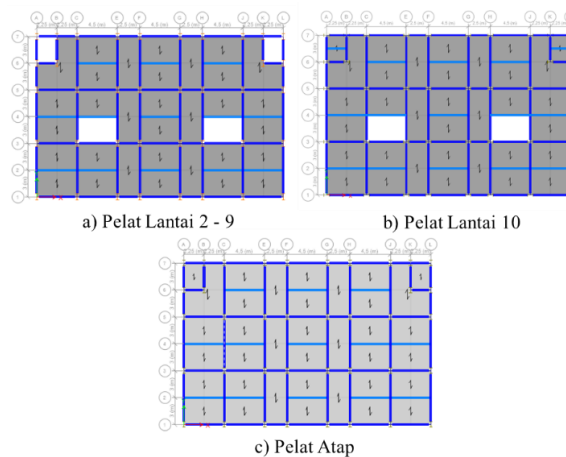


Gambar 3.48 *Stiffness Modification Factors* Kolom

### 3.5.2.5 Hasil Pemodelan

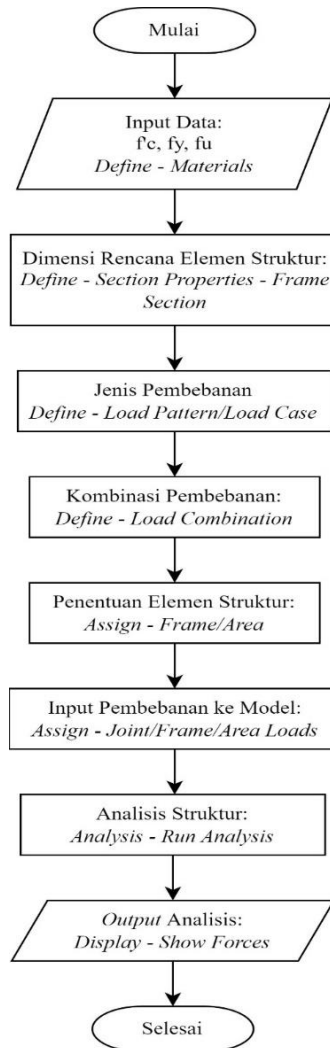


Gambar 3.49 Tampak 3D Gedung



Gambar 3.50 Tampak Atas Gedung

Berikut merupakan diagram alir tahapan pemodelan sampai *output* analisis struktur gedung dengan *software* ETABS v21 yang disajikan pada Gambar 3.51.



Gambar 3.51 Diagram Alir Analisis dengan *Software* ETABS

### 3.5.3 Pembebanan pada Struktur

#### 3.5.3.1 *Dead Load* (DL)

Beban mati merupakan beban akibat berat sendiri elemen struktur. Jenis beban ini akan secara otomatis dihitung oleh *software* ETABS.

#### 3.5.3.2 *Superimposed Dead Load* (SIDL)

Beban mati tambahan mengacu pada SNI 1727-2020. Jenis beban ini akan diinputkan pada elemen pelat lantai dan pelat atap, sedangkan untuk beban dinding akan disalurkan langsung pada balok.

##### 1. Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai

Berikut disajikan tabel beban mati tambahan yang akan disalurkan pada pelat lantai 1-9.

Tabel 3.16 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Berat (kN/m <sup>2</sup> )
1	<i>Finishing</i> (keramik), 1,9 cm di atas mortar 2,5 mm	1,10
2	Ventilasi udara ( <i>ducting mechanical</i> )	0,19
3	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10
4	Plafond (papan serat akustik)	0,05
5	Instalasi listrik	0,10
6	Pipa air	0,10
<b>Total Beban</b>		1,64

## 2. Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap

Berikut disajikan beban mati tambahan yang akan disalurkan pada pelat atap.

Tabel 3.17 Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap

No	Jenis Beban	Berat (kN/m <sup>2</sup> )
1	Lapisan <i>waterproofing</i> ( <i>membranes liquid applied</i> )	0,05
2	Ventilasi udara ( <i>ducting mechanical</i> )	0,19
3	Penggantung langit-langit (material baja)	0,10
4	Plafond (papan serat akustik)	0,05
5	Instalasi listrik	0,10
6	Pipa air	0,10
<b>Total Beban</b>		0,59

## 3. Beban Dinding pada Balok

Berdasarkan SNI 1727-2020, pada Lampiran C3.1, diketahui:

Beban dinding bata ringan ½ bata : 0,94 kN/m<sup>2</sup>

Plesteran kedua sisi : 0,48 kN/m<sup>2</sup>

Maka, beban total dinding (q) sebesar 1,42 kN/m<sup>2</sup>

Tinggi antar lantai (h) yaitu 3 m

- Beban dinding pada balok Induk (BI)

Tinggi balok (hb) : 0,5 m

Tinggi dinding (hd) : h - b = 3 m

Beban dinding (qd) : q.hd = 4,26 kN/m

- Beban dinding pada balok Anak (BA)

Tinggi balok (hb) : 0,4 m

Tinggi dinding (hd) : h - b = 3,1 m

Beban dinding (qd) : q.hd = 4,402 kN/m

Beban tangga dan *lift* yang akan disalurkan pada elemen pelat dan balok akan dihitung pada pembahasan di bab selanjutnya.

### 3.5.3.3 Live Load (LL)

Beban hidup yang diperhitungkan berupa beban area yang akan diinputkan pada elemen pelat atap dan pelat lantai. Beban hidup yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2020 yang disajikan pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Beban Hidup pada Pelat

No	Jenis Beban	Berat (kN/m <sup>2</sup> )
1	Ruang perkantoran	2,40
2	Ruang komputer	4,79
3	Ruang <i>Meetings</i> /Pertemuan	4,79
3	Semua ruangan kecuali tangga	1,92
4	Atap (dak)	0,96
5	Partisi	0,72
6	Air hujan (1cm)	0,10
Total Beban pada Pelat Atap		1,06

### 3.5.3.4 Earthquake Load (EL)

Beban gempa yang digunakan untuk kontrol struktur *dual system* merupakan metode respon spektrum yang didesain sesuai dengan ketentuan pada

SNI 1726-2019, Pasal 6.10.2.1. Sedangkan dalam analisis struktur, beban gempa yang digunakan merupakan metode *time history analysis*. Berikut merupakan pembebanan gempa dengan metode respon spektrum.

#### 3.5.3.4.1 Lokasi Perencanaan

Lokasi	= Jakarta
Lintang Selatan (LS)	= $-6,186324^\circ$
Bujur Timur (BT)	= $106,797529^\circ$

#### 3.5.3.4.2 Kategori Resiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko Bangunan	= II
Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ )	= 1

#### 3.5.3.4.3 Parameter Percepatan Gempa Batuan Dasar

Percepatan batuan dasar periode 0,2 det. ( $S_s$ )	= 0,850
Percepatan batuan dasar periode 1,0 det. ( $S_1$ )	= 0,45

#### 3.5.3.4.4 Faktor Amplifikasi

##### 1. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dapat ditentukan dengan hasil uji N-SPT pada 30 m lapisan terasatas (apabila lapisan tanah lebih dari 30m tetap yang diambil hanya 30 m lapisan teratas).

Tabel 3.19 Klasifikasi Situs Berdasarkan N-SPT

<i>Soil Layer</i>		<b>N-SPT Value (Ni)</b>	<b>Thick (di)</b>	<b>di/Ni</b>
<b>From</b>	<b>To</b>			
<b>(m)</b>				
0	1,5	2	1,5	0,750
1,5	1,95	2	0,45	0,225
1,95	3	3	1,05	0,350
3	3,45	3	0,45	0,150
3,45	4,5	4	1,05	0,263
4,5	4,95	4	0,45	0,113
4,95	6	5	1,05	0,210
6	6,45	5	0,45	0,090
6,45	7,5	25	1,05	0,042
7,5	7,95	25	0,45	0,018
7,95	9	36	1,05	0,029
9	9,45	36	0,45	0,013



<i>Soil Layer</i>		<b>N-SPT Value (Ni)</b>	<b>Thick (di)</b>	<b>di/Ni</b>
<b>From</b>	<b>To</b>			
<b>(m)</b>				
9,45	10,5	31	1,05	0,034
10,5	10,95	31	0,45	0,015
10,95	12	60	1,05	0,018
12	12,45	60	0,45	0,007
12,45	13,5	28	1,05	0,038
13,5	13,95	28	0,45	0,016
13,95	15	42	1,05	0,025
15	15,45	42	0,45	0,011
15,45	16,5	46	1,05	0,023
16,5	16,95	46	0,45	0,010
16,95	18	32	1,05	0,033
18	18,45	32	0,45	0,014
18,45	19,5	50	1,05	0,021
19,5	19,95	50	0,45	0,009
19,95	21	42	1,05	0,025
21	21,45	42	0,45	0,011
21,45	22,5	22	1,05	0,048
22,5	22,95	22	0,45	0,020
22,95	24	21	1,05	0,050
24	24,45	21	0,45	0,021
24,45	25,5	19	1,05	0,055
25,5	25,95	19	0,45	0,024
25,95	27	31	1,05	0,034
27	27,45	31	0,45	0,015
27,45	28,5	38	1,05	0,028
28,5	28,95	38	0,45	0,012
28,95	30	46	1,05	0,023
$\Sigma$			30	2,889
$\Sigma(di/(di/Ni))$			10,385	

Berdasarkan Tabel Klasifikasi Situs yang terdapat pada SNI 1726-2019,

karena  $\Sigma \left( \frac{d_i}{\left( \frac{d_i}{N_i} \right)} \right) < 15$ , maka termasuk tanah lunak.

## 2. Koefisien Situs

Koefisien situs periode 0,2 det. (Fa) = 1,22

Koefisien situs periode 1,0 det. (Fv) = 2,30

### 3.5.3.4.5 Percepatan Gempa Maksimum

$$\begin{aligned} \text{Parameter respon percepatan pada saat} &= \text{Fa.S}_s = 1,04 \text{ g} \\ \text{periode 0,2 det. (S}_{MS}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Parameter respon percepatan pada saat} &= \text{Fv.S}_1 = 1,04 \text{ g} \\ \text{periode 0,1 det. (S}_{M1}) & \end{aligned}$$

### 3.5.3.4.6 Gempa Desain Struktur

$$\text{Periode ulang gempa} = 2/3 \text{ dari 2500 tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{Parameter spectral percepatan pada saat} &= 2/3 \text{ S}_{MS} = 0,691 \text{ g} \\ \text{periode 0,2 det. (S}_{DS}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Parameter spectral percepatan pada saat} &= 2/3 \text{ S}_{M1} = 0,690 \text{ g} \\ \text{periode 0,2 det. (S}_{D1}) & \end{aligned}$$

### 3.5.3.4.7 Periode Getar Fundamental Struktur

$$T_0 = 0,2(S_{D1}/S_{DS}) = 0,691 \text{ det}$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0,690 \text{ det}$$

$$\text{Periode panjang (T}_L) = 20 \text{ detik}$$

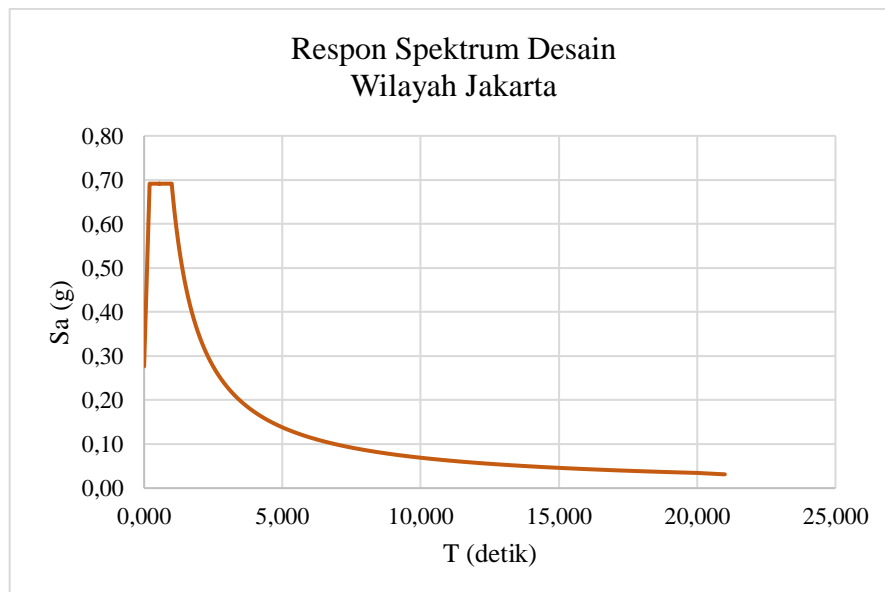
### 3.5.3.4.8 Respon Spektrum Desain

$$\text{Untuk } T < T_0 : S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6(T/T_0))$$

$$\text{Untuk } T = T_0 : S_a = S_{DS}$$

$$\text{Untuk } T_s < T_0 \leq T_L : S_a = S_{D1}/T$$

$$\text{Untuk } T > T_L : S_a = S_{D1} \cdot T_L / T^2$$



Gambar 3.52 Grafik Respon Spektrum Wilayah Jakarta

#### 3.5.3.4.9 Kategori Desain Seismik

Kategori desain seismik berdasarkan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1} = D$

#### 3.5.3.4.10 Sistem Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur berdasarkan KDS E, maka digunakan sistem struktur ganda (*dual system*) yaitu rangka baja dan beton komposit dengan bresing komentris khusus.

Koefisien modifikasi respons	:	R	=	6
Faktor kuat lebih sistem	:	$\Omega_0$	=	2,5
Faktor pembesaran defleksi	:	Cd	=	5
Faktor skala	:	$g.I/R$	=	1634,44 mm/sec <sup>2</sup>

#### 3.5.3.5 Wind Load (WL)

Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain diatur dalam SNI 1727-2020. Penentuan tekanan angin desain (P) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$P = qGC_p - q_i(qGC_{pi})$$

##### 1. Parameter Beban Angin Desain

###### a. Kecepatan Angin Dasar (V)

Desain kondisi batas sesuai LRFD, maka:

$$V = 40 \text{ m/s}$$

###### b. Koefisien Faktor Arah Angin (Kd)

Berdasarkan Tabel 2.6, faktor arah angin (Kd) bangunan termasuk ke dalam tipe struktur Sistem Penahan Beban Angin Utama, maka:

$$Kd = 0,85$$

###### c. Kategori Eksposur

Sesuai peraturan pada SNI 1727-2020, Pasal 26.7.3, gedung yang direncanakan termasuk ke dalam kategori eksposur B.

###### d. Koefisien Faktor Topografi (Kzt)

Efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, maka:

$$Kzt = 1$$

###### e. Koefisien Faktor Hembusan Angin (G)

Berdasarkan SNI 1727-2020, Pasal 26.11.1, faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar:

$$G = 0,85$$

f. Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )

Berdasarkan Tabel 2.9, gedung yang direncanakan termasuk ke dalam klasifikasi gedung tertutup maka:

$$GC_{pi} = 0,18$$

g. Tekanan Velositas ( $q_z$ )

Berdasarkan SNI 1727-2020, Pasal 26.10.1, dengan perkiraan konservatif, nilai  $K_e$  boleh diambil sebesar 1. Dalam pasal yang sama, nilai  $K_z$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

Berdasarkan SNI 1727-2020 pada Tabel 26.11-1, nilai  $\alpha$  dan  $z_g$  untuk kategori eksposur B yaitu sebesar:

$$\alpha = 7$$

$$z_g = 365,76 \text{ m}$$

Sesuai Pasal 26.10.2, nilai  $q_z$  dapat dicari dengan persamaan:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

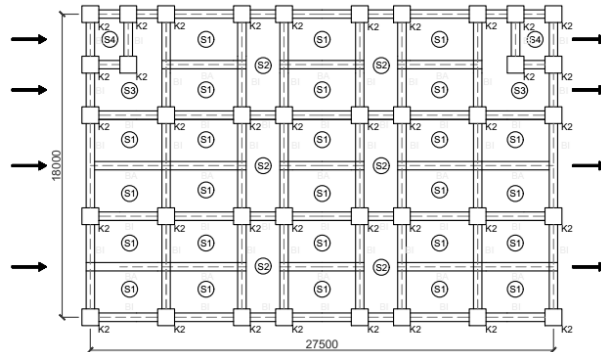
Perhitungan untuk setiap parameter disajikan dalam Tabel 3.20.

Tabel 3.20 Perhitungan Nilai  $K_z$  dan  $q_z$  pada Setiap Elevasi

Elevasi, z (m)	$\alpha$	$Z_g$ (m)	$K_z$	$q_z$ (N/m <sup>2</sup> )
3,5	7	365,76	0,53	443,92
7	7	365,76	0,65	541,14
10,5	7	365,76	0,73	607,61
14	7	365,76	0,79	659,66
17,5	7	365,76	0,84	703,08
21	7	365,76	0,89	740,68
24,5	7	365,76	0,93	774,03
28	7	365,76	0,96	804,13
31,5	7	365,76	1,00	831,65
35	7	365,76	1,03	857,07

h. Koefisien Tekanan Eksternal ( $C_p$ )

## 1) Arah sumbu x



Gambar 3.53 Angin Arah Sumbu x

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin,  $L = 27,5$  m

Dimensi denah gedung tegak lurus arah angin,  $B = 18$  m

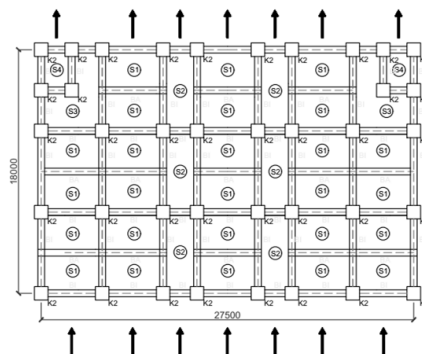
Maka,  $L/B = 1,53$

Berdasarkan Gambar 27.3-1 pada SNI 1727-2020, dari nilai  $L/B$  yang didapat, maka diperoleh:

Tabel 3.21 Nilai  $C_p$  Arah Sumbu x

Permukaan	$C_p$
Dinding di sisi angin datang	0,8
Dinding di sisi angin pergi	-0,39

## 2) Arah Sumbu y



Gambar 3.54 Angin Arah Sumbu y

Dimensi denah gedung paralel ke arah angin,  $L = 18$  m

Dimensi denah gedung tegak lurus arah angin,  $B = 27,5$  m

Maka,  $L/B = 0,65$

Berdasarkan Gambar 27.3-1 pada SNI 1727-2020, dari nilai  $L/B$  yang didapat, maka diperoleh:

Tabel 3.22 Nilai  $C_p$  Arah Sumbu  $y$

Permukaan	$C_p$
Dinding di sisi angin datang	0,80
Dinding di sisi angin pergi	-0,50

i. Tekanan Angin Desain ( $P$ )

Dari beberapa parameter yang sudah didapatkan, maka besarnya tekanan angin desain dapat dihitung dengan persamaan:

$$P = qG C_p - q_i (qG C_{pi})$$

Perhitungan dilakukan dengan MS. Excel, lalu disajikan dalam Tabel berikut.

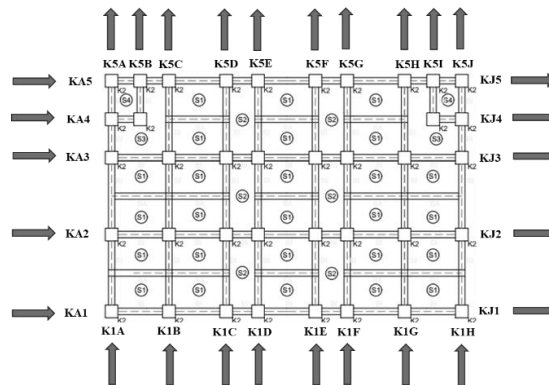
Tabel 3.23 Rekapitulasi Tekanan Angin ( $P$ ) pada Dinding

Elevasi, $h$ (m)	Sumbu $x$		Sumbu $y$	
	Angin Datang, $P^{(+)}$ ( $kN/m^2$ )	Angin Pergi, $P^{(-)}$ ( $kN/m^2$ )	Angin Datang, $P^{(+)}$ ( $kN/m^2$ )	Angin Pergi, $P^{(-)}$ ( $kN/m^2$ )
3,5	0,222	0,067	0,222	0,109
7,0	0,271	0,082	0,271	0,133
10,5	0,304	0,092	0,304	0,149
14,0	0,330	0,100	0,330	0,162
17,5	0,352	0,107	0,352	0,172
21,0	0,370	0,112	0,370	0,181
24,5	0,387	0,117	0,387	0,190
28,0	0,402	0,122	0,402	0,197
31,5	0,416	0,126	0,416	0,204
35,0	0,429	0,130	0,429	0,210

2. Konversi Beban Angin pada Kolom

Nilai tekanan (beban) angin yang telah dihitung sebelumnya merupakan beban luasan ( $kN/m^2$ ) yang akan mengenai permukaan dinding.

Lalu, beban angin tersebut akan didistribusikan pada permukaan kolom sehingga menjadi beban garis (kN/m).



Gambar 3.55 Beban Angin pada Permukaan Kolom Arah x dan y

a. Beban Angin pada Kolom Arah x

1) Beban Angin Datang

Contoh perhitungan, pada kolom KA1 dengan:

$$\text{Ketinggian elevasi (h)} = 35 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar kolom maksimum (Lk)} = 6 \text{ m}$$

$$P^{(+)} = 0,429 \text{ kN/m}^2$$

$$qWL^{(+)} = P^{(+)} \cdot Lk$$

$$= 0,429 \cdot 6$$

$$= 2,57 \text{ kN/m}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.24 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah x

Elevasi, h (m)	KA1		KA2		KA3	
	Lk (m)	$qWL^{(+)}$ (kN/m)	Lk (m)	$qWL^{(+)}$ (kN/m)	Lk (m)	$qWL^{(+)}$ (kN/m)
3,5	6	1,33	6	1,33	6	1,33
7,0	6	1,62	6	1,62	6	1,62
10,5	6	1,82	6	1,82	6	1,82
14,0	6	1,98	6	1,98	6	1,98
17,5	6	2,11	6	2,11	6	2,11
21,0	6	2,22	6	2,22	6	2,22
24,5	6	2,32	6	2,32	6	2,32
28,0	6	2,41	6	2,41	6	2,41

Elevasi, h (m)	KA1		KA2		KA3	
	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)
31,5	6	2,49	6	2,49	6	2,49
35,0	6	2,57	6	2,57	6	2,57

Tabel 3.25 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah x (Lanjutan)

Elevasi, h (m)	KA4		KA5	
	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)
3,5	3	0,67	3	0,67
7,0	3	0,81	3	0,81
10,5	3	0,91	3	0,91
14,0	3	0,99	3	0,99
17,5	3	1,05	3	1,05
21,0	3	1,11	3	1,11
24,5	3	1,16	3	1,16
28,0	3	1,21	3	1,21
31,5	3	1,25	3	1,25
35,0	3	1,29	3	1,29

## 2) Beban Angin Pergi

Contoh perhitungan, pada kolom KJ1 dengan:

$$\text{Ketinggian elevasi (h)} = 35 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar kolom maksimum (Lk)} = 6 \text{ m}$$

$$P^{(-)} = 0,130 \text{ kN/m}^2$$

$$qWL^{(-)} = P^{(-)} \cdot Lk$$

$$= 0,130 \cdot 6$$

$$= 0,78 \text{ kN/m}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.26 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah x

Elevasi, h (m)	KJ1		KJ2		KJ3	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
3,5	6	0,40	6	0,40	6	0,40



Elevasi, h (m)	KJ1		KJ2		KJ3	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
7,0	6	0,49	6	0,49	6	0,49
10,5	6	0,55	6	0,55	6	0,55
14,0	6	0,60	6	0,60	6	0,60
17,5	6	0,64	6	0,64	6	0,64
21,0	6	0,67	6	0,67	6	0,67
24,5	6	0,70	6	0,70	6	0,70
28,0	6	0,73	6	0,73	6	0,73
31,5	6	0,76	6	0,76	6	0,76
35,0	6	0,78	6	0,78	6	0,78

Tabel 3.27 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah x (Lanjutan)

Elevasi, h (m)	KJ4		KJ5	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
3,5	3	0,20	3	0,20
7,0	3	0,25	3	0,25
10,5	3	0,28	3	0,28
14,0	3	0,30	3	0,30
17,5	3	0,32	3	0,32
21,0	3	0,34	3	0,34
24,5	3	0,35	3	0,35
28,0	3	0,37	3	0,37
31,5	3	0,38	3	0,38
35,0	3	0,39	3	0,39

## b. Beban Angin pada Kolom Arah y

## 1) Beban Angin Datang

Contoh perhitungan, pada kolom K1A dengan:

$$\text{Ketinggian elevasi (h)} = 35 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar kolom maksimum (Lk)} = 4,5 \text{ m}$$

$$P^{(+)} = 0,429 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} qWL^{(+)} &= P^{(+)} \cdot Lk \\ &= 0,429 \cdot 4,5 \\ &= 1,93 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.28 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah y

Elevasi, h (m)	K1A		K1B		K1C		K1D	
	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)
3,5	4,5	1,00	4,5	1,00	4,5	1,00	2,25	0,50
7,0	4,5	1,22	4,5	1,22	4,5	1,22	2,25	0,61
10,5	4,5	1,37	4,5	1,37	4,5	1,37	2,25	0,68
14,0	4,5	1,48	4,5	1,48	4,5	1,48	2,25	0,74
17,5	4,5	1,58	4,5	1,58	4,5	1,58	2,25	0,79
21,0	4,5	1,67	4,5	1,67	4,5	1,67	2,25	0,83
24,5	4,5	1,74	4,5	1,74	4,5	1,74	2,25	0,87
28,0	4,5	1,81	4,5	1,81	4,5	1,81	2,25	0,90
31,5	4,5	1,87	4,5	1,87	4,5	1,87	2,25	0,94
35,0	4,5	1,93	4,5	1,93	4,5	1,93	2,25	0,96

Tabel 3.29 Rekapitulasi Beban Angin Datang pada Kolom Arah y (Lanjutan)

Elevasi, h (m)	K1E		K1F		K1G		K1H	
	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(+)</sup> (kN/m)
3,5	2,25	0,50	4,5	1,00	4,5	1,00	4,5	1,00
7,0	2,25	0,61	4,5	1,22	4,5	1,22	4,5	1,22
10,5	2,25	0,68	4,5	1,37	4,5	1,37	4,5	1,37
14,0	2,25	0,74	4,5	1,48	4,5	1,48	4,5	1,48
17,5	2,25	0,79	4,5	1,58	4,5	1,58	4,5	1,58
21,0	2,25	0,83	4,5	1,67	4,5	1,67	4,5	1,67
24,5	2,25	0,87	4,5	1,74	4,5	1,74	4,5	1,74
28,0	2,25	0,90	4,5	1,81	4,5	1,81	4,5	1,81
31,5	2,25	0,94	4,5	1,87	4,5	1,87	4,5	1,87
35,0	2,25	0,96	4,5	1,93	4,5	1,93	4,5	1,93

## 2) Beban Angin Pergi

Contoh perhitungan, pada kolom K5A dengan:

Ketinggian elevasi (h) = 35 m

Jarak antar kolom maksimum (Lk) = 2,25 m

$$\begin{aligned}
 P^{(-)} &= 0,130 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{WL}^{(-)} &= P^{(-)} \cdot L_k \\
 &= 0,210 \cdot 2,25 \\
 &= 0,47 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk setiap elevasi ketinggian kolom.

Tabel 3.30 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y

Elevasi, h (m)	K5A		K5B		K5C		K5D	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
3,5	2,25	0,24	2,25	0,24	4,5	0,49	4,5	0,49
7,0	2,25	0,30	2,25	0,30	4,5	0,60	4,5	0,60
10,5	2,25	0,33	2,25	0,33	4,5	0,67	4,5	0,67
14,0	2,25	0,36	2,25	0,36	4,5	0,73	4,5	0,73
17,5	2,25	0,39	2,25	0,39	4,5	0,78	4,5	0,78
21,0	2,25	0,41	2,25	0,41	4,5	0,82	4,5	0,82
24,5	2,25	0,43	2,25	0,43	4,5	0,85	4,5	0,85
28,0	2,25	0,44	2,25	0,44	4,5	0,89	4,5	0,89
31,5	2,25	0,46	2,25	0,46	4,5	0,92	4,5	0,92
35,0	2,25	0,47	2,25	0,47	4,5	0,94	4,5	0,94

Tabel 3.31 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y (Lanjutan)

Elevasi, h (m)	K5E		K5F		K5G		K5H	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
3,5	4,5	0,49	4,5	0,49	4,5	0,49	4,5	0,49
7,0	4,5	0,60	4,5	0,60	4,5	0,60	4,5	0,60
10,5	4,5	0,67	4,5	0,67	4,5	0,67	4,5	0,67
14,0	4,5	0,73	4,5	0,73	4,5	0,73	4,5	0,73
17,5	4,5	0,78	4,5	0,78	4,5	0,78	4,5	0,78
21,0	4,5	0,82	4,5	0,82	4,5	0,82	4,5	0,82
24,5	4,5	0,85	4,5	0,85	4,5	0,85	4,5	0,85
28,0	4,5	0,89	4,5	0,89	4,5	0,89	4,5	0,89
31,5	4,5	0,92	4,5	0,92	4,5	0,92	4,5	0,92
35,0	4,5	0,94	4,5	0,94	4,5	0,94	4,5	0,94

Tabel 3.32 Rekapitulasi Beban Angin Pergi pada Kolom Arah y (Lanjutan)

Elevasi, h (m)	K5I		K5J	
	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)	Lk (m)	qWL <sup>(-)</sup> (kN/m)
3,5	2,25	0,24	2,25	0,24
7,0	2,25	0,30	2,25	0,30
10,5	2,25	0,33	2,25	0,33
14,0	2,25	0,36	2,25	0,36
17,5	2,25	0,39	2,25	0,39
21,0	2,25	0,41	2,25	0,41
24,5	2,25	0,43	2,25	0,43
28,0	2,25	0,44	2,25	0,44
31,5	2,25	0,46	2,25	0,46
35,0	2,25	0,47	2,25	0,47

### 3.5.3.6 Beban Gempa *Time History* (TH)

Terdapat dua metode dalam analisis beban gempa *time history*, yaitu linear dan non-linear. Berdasarkan SNI 1726-2019, pada analisis *time history* linear membutuhkan 3 data gempa berupa *ground motion* dari masing-masing sumber gempa, yang diambil dari suatu lokasi dengan keadaan geologi, topografi, serta seismotektoniknya hampir menyamai dengan lokasi yang akan ditinjau. Sedangkan untuk analisis non-linear sedikitnya membutuhkan 11 data *ground motion* dari ketiga sumber gempa.

Pada tugas akhir ini direncanakan menggunakan analisis *time history* linear. Parameter yang diperlukan untuk memperoleh data *ground motion* berdasarkan ketiga sumber gempa yang diambil dari peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia yaitu sebagai berikut.

Kelas Situs	: Tanah Lunak (SE)
Vs (m/s)	: 0 - 175
T	: 0,9831 m/s

Tabel 3.33 Magnitudo dan Jarak pada Lokasi Perencanaan

Sumber	Magnitudo			Jarak (km)		
	PGA	0.2 detik	3 detik	PGA	0.2 detik	3 detik
<i>Shallow Crustal</i>		5,6-6,2			40-50	

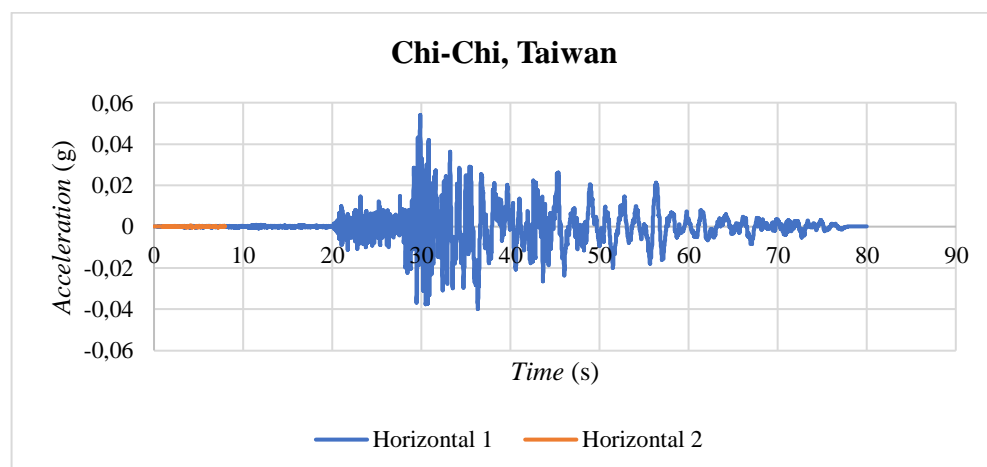
Sumber	Magnitudo			Jarak (km)		
	PGA	0.2 detik	3 detik	PGA	0.2 detik	3 detik
<i>Benioff</i>		7,2-7,4			120-150	
<i>Megathrust</i>		8,2-8,8			200-250	

Adapun data sumber gempa yang digunakan berdasarkan magnitudo dan jarak pada lokasi yang ditinjau disajikan pada Tabel 3.34.

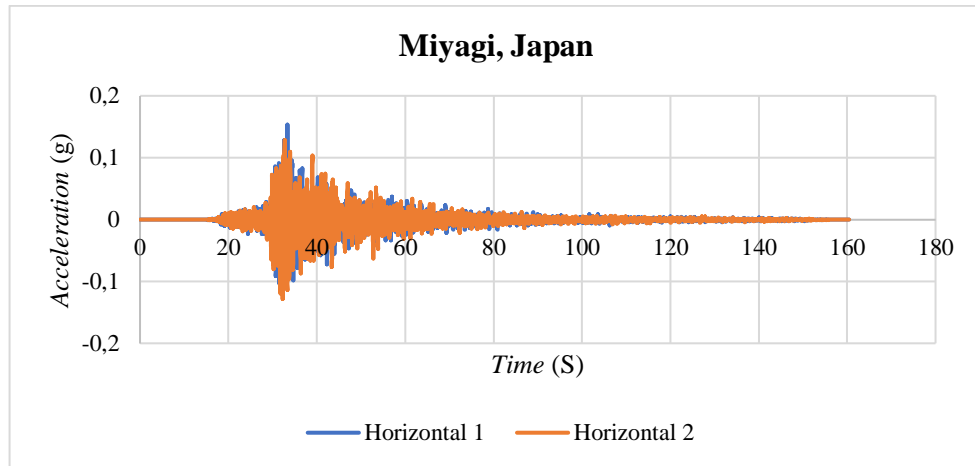
Tabel 3.34 Data Sumber Gempa yang Digunakan

Sumber	RSN	Event	Lokasi	Tahun	M	R (km)	Vs (m/s)
<i>Shallow Crustal</i>	2473	Chi-Chi	Taiwan	1999	6,20	46,17	169,52
<i>Benioff</i>	40330913	Miyagi-Eq	Japan	2005	7,22	120,44	137,30
<i>Megathrust</i>	4022803	Tokachi-oki	Japan	2003	8,29	212,39	154,30

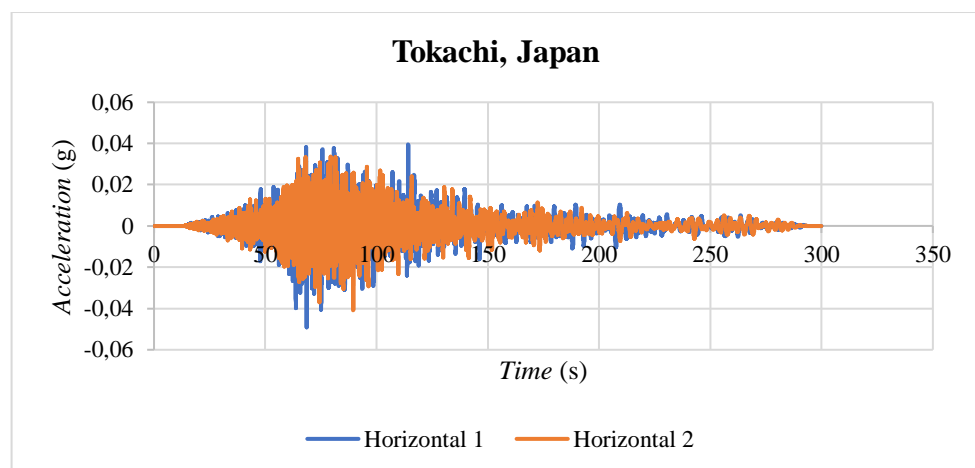
Data gempa yang telah diperoleh, selanjutnya diolah menggunakan *software* SeismoMatch untuk dilakukan pencocokan spektra (*spectral matching*) dengan grafik respon spektrum yang telah didapatkan pada lokasi yang ditinjau. Grafik percepatan gempa (*acceleration*) sebelum dilakukan *matching* dengan Respon Spektrum dari ketiga data gempa yang digunakan, disajikan pada Gambar 3.56 sampai Gambar 3.58.



Gambar 3.56 *Ground Motion* Gempa Chi-Chi, Taiwan

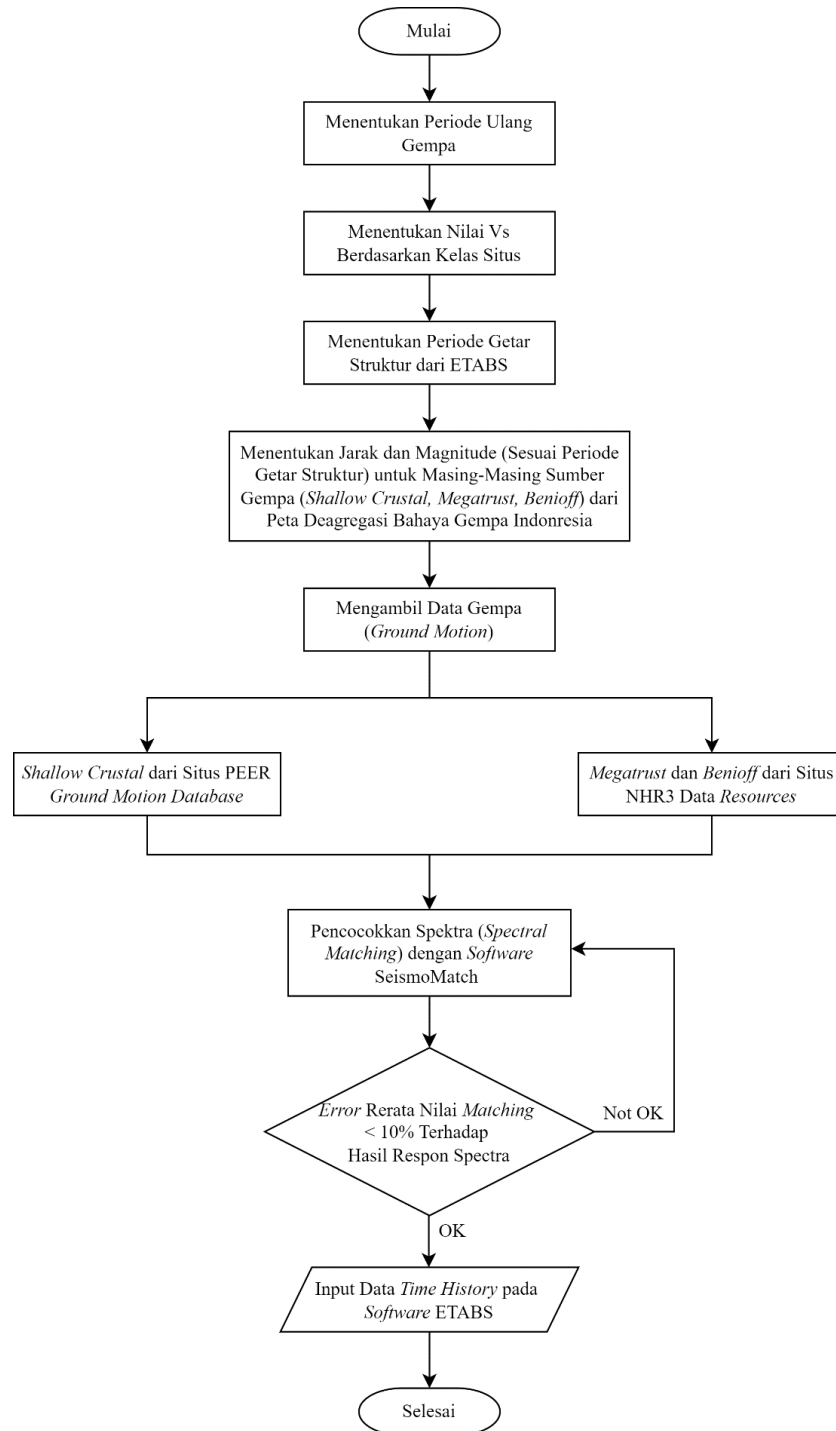


Gambar 3.57 *Ground Motion* Gempa Miyagi-Eq, Japan



Gambar 3.58 *Ground Motion* Gempa Tokachi-oki Japan

Berikut merupakan diagram alir penentuan beban metode *time history* yang disajikan pada Gambar 3.59.



Gambar 3.59 Diagram Alir Penentuan Beban *Time History*

### 3.5.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisis struktur atas menggunakan kombinasi metode ultimit (metode LRFD). Kombinasi ini mengacu pada SNI 1726-2019, Pasal 4.2.2, yang terdiri dari kombinasi pembebanan dasar

(poin 1–5) dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik (poin 6 dan 7).

Tabel 3.35 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit

<i>Combination</i>		<b>DL</b>	<b>SIDL</b>	<b>LL</b>	<b>ELx</b>	<b>ELy</b>	<b>WLx</b>	<b>WLy</b>
1	Combo 1	1,40	1,40					
2	Combo 2	1,20	1,20	1,6				
3	Combo 3	1,20	1,20	1,0				
	Combo 4	1,20	1,20				0,50	
	Combo 5	1,20	1,20					0,50
	Combo 6	1,20	1,20				0,38	0,37
4	Combo 7	1,20	1,20	1,0			1,00	
	Combo 8	1,20	1,20	1,0				1,00
	Combo 9	1,20	1,20	1,0			0,75	0,75
5	Combo 10	0,90	0,90				1,00	
	Combo 11	0,90	0,90					1,00
	Combo 12	0,90	0,90				0,75	0,75
6	Combo 13	1,34	1,34	1,0	1,30	0,39		
	Combo 14	1,34	1,34	1,0	1,30	-0,39		
	Combo 15	1,34	1,34	1,0	-1,30	0,39		
	Combo 16	1,34	1,34	1,0	-1,30	-0,39		
	Combo 17	1,34	1,34	1,0	0,39	1,30		
	Combo 18	1,34	1,34	1,0	0,39	-1,30		
	Combo 19	1,34	1,34	1,0	-0,39	1,30		
	Combo 20	1,34	1,34	1,0	-0,39	-1,30		
7	Combo 21	0,76	0,76		1,30	0,39		
	Combo 22	0,76	0,76		1,30	-0,39		
	Combo 23	0,76	0,76		-1,30	0,39		
	Combo 24	0,76	0,76		-1,30	-0,39		
	Combo 25	0,76	0,76		0,39	1,30		
	Combo 26	0,76	0,76		0,39	-1,30		
	Combo 27	0,76	0,76		-0,39	1,30		
	Combo 28	0,76	0,76		-0,39	-1,30		

Metode kombinasi pembebanan yang digunakan untuk desain struktur bawah (fondasi) yaitu metode tegangan ijin (metode ASD). Kombinasi ini terbagi menjadi 3, yaitu gravitasi, gempa nominal dan gempa kuat. Acuan yang digunakan yaitu SNI 1726-2019, Pasal 4.2.3, yang terdiri dari kombinasi pembebanan dasar



(poin 1–7) dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik (poin 8–10).

Tabel 3.36 Kombinasi Pembebanan Metode Tegangan Ijin

<i>Combination</i>		<b>DL</b>	<b>SIDL</b>	<b>LL</b>	<b>ELx</b>	<b>ELy</b>	<b>WLx</b>	<b>WLy</b>
1	G1	1,00	1,00					
2	G2	1,00	1,00	1,00				
4	G3	1,00	1,00	0,75				
5	G4	1,00	1,00				0,600	
	G5	1,00	1,00					0,60
	G6	1,00	1,00				0,450	0,45
6	G7	1,00	1,00	0,75			0,450	
	G8	1,00	1,00	0,75				0,45
	G9	1,00	1,00	0,75			0,338	0,34
7	G10	0,60	0,60				0,600	
	G11	0,60	0,60					0,60
	G12	0,60	0,60				0,4500	0,45
8	N1	1,10	1,10		0,900	0,273		
	N2	1,10	1,10		0,900	-0,273		
	N3	1,10	1,10		-0,910	0,273		
	N4	1,10	1,10		-0,910	-0,273		
	N5	1,10	1,10		0,273	0,900		
	N6	1,10	1,10		0,273	-0,900		
	N7	1,10	1,10		-0,273	0,900		
	N8	1,10	1,10		-0,273	-0,910		
9	N9	1,07	1,07	0,75	0,700	0,205		
	N10	1,07	1,07	0,75	0,700	-0,205		
	N11	1,07	1,07	0,75	-0,700	0,205		
	N12	1,07	1,07	0,75	-0,700	-0,205		
	N13	1,07	1,07	0,75	0,205	0,700		
	N14	1,07	1,07	0,75	0,205	-0,700		
	N15	1,07	1,07	0,75	-0,205	0,700		
	N16	1,07	1,07	0,75	-0,205	-0,700		
10	N17	0,50	0,50		0,900	0,273		
	N18	0,50	0,50		0,900	-0,273		
	N19	0,50	0,50		-0,900	0,273		
	N20	0,50	0,50		-0,900	-0,273		
	N21	0,50	0,50		0,273	0,900		
	N22	0,50	0,50		0,273	-0,900		
	N23	0,50	0,50		-0,273	0,900		

<b>Combination</b>		<b>DL</b>	<b>SIDL</b>	<b>LL</b>	<b>ELx</b>	<b>ELy</b>	<b>WLx</b>	<b>WLy</b>
	N24	0,50	0,50		-0,273	-0,900		
8	K1	1,10	1,10		1,800	0,525		
	K2	1,10	1,10		1,800	-0,525		
	K3	1,10	1,10		-1,750	0,525		
	K4	1,10	1,10		-1,750	-0,525		
	K5	1,10	1,10		0,525	1,800		
	K6	1,10	1,10		0,525	-1,800		
	K7	1,10	1,10		-0,525	1,800		
	K8	1,10	1,10		-0,525	-1,750		
9	K9	1,07	1,07	0,75	1,300	0,394		
	K10	1,07	1,07	0,75	1,300	-0,394		
	K11	1,07	1,07	0,75	-1,300	0,394		
	K12	1,07	1,07	0,75	-1,300	-0,394		
	K13	1,07	1,07	0,75	0,394	1,300		
	K14	1,07	1,07	0,75	0,394	-1,300		
	K15	1,07	1,07	0,75	-0,394	1,300		
	K16	1,07	1,07	0,75	-0,394	-1,300		
10	K17	0,50	0,50		1,800	0,525		
	K18	0,50	0,50		1,800	-0,525		
	K19	0,50	0,50		-1,800	0,525		
	K20	0,50	0,50		-1,800	-0,525		
	K21	0,50	0,50		0,525	1,800		
	K22	0,50	0,50		0,525	-1,800		
	K23	0,50	0,50		-0,525	1,800		
	K24	0,50	0,50		-0,525	-1,800		

### 3.5.5 Kontrol Struktur Hasil Perencanaan

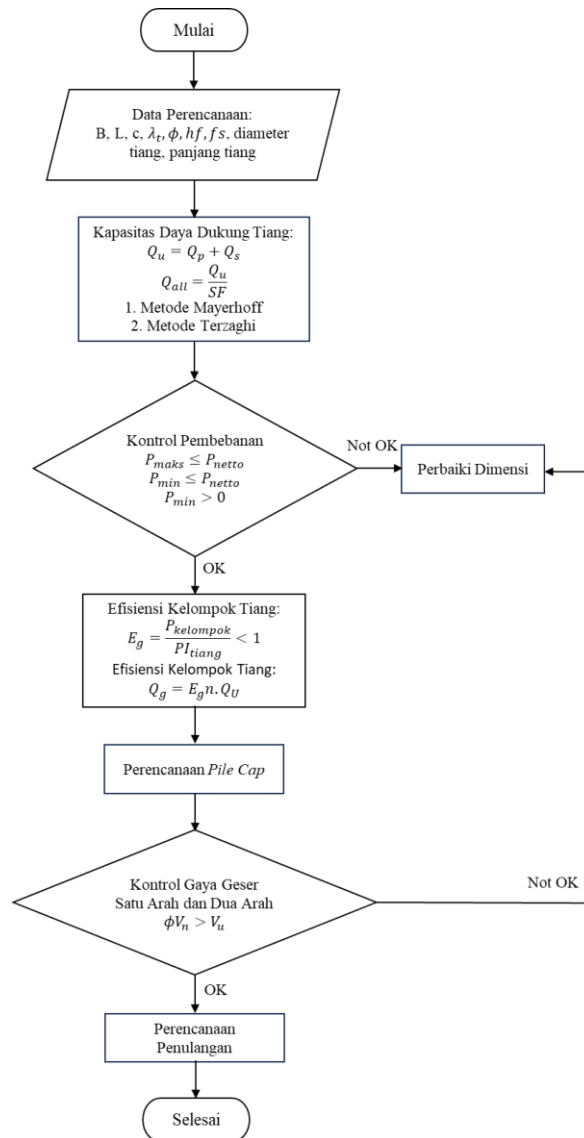
Tahapan ini terdiri dari beberapa pengecekan, yaitu kontrol periode fundamental struktur (T), kontrol ketidakberaturan struktur, kontrol perilaku struktur, perhitungan *base shear*, kontrol simpangan antar lantai, dan kontrol pengaruh P-Delta. Tahapan ini mengacu pada SNI 1726-2019.

### 3.5.6 Desain Sambungan

Desain sambungan yang akan dilakukan meliputi sambungan balok anak–balok induk, sambungan balok induk–kolom, sambungan *bracing*, sambungan antar kolom, dan sambungan *base plat*. Tahapan analisis sambungan akan dibahas pada BAB selanjutnya dengan mengacu pada point 2.15.

### 3.5.7 Desain Struktur Bawah

Struktur bawah yang akan direncanakan yaitu fondasi jenis tiang pancang beserta desain analisis *pile cap*. Berikut merupakan diagram alir perencanaan fondasi tiang pancang yang disajikan pada Gambar 3.60.



Gambar 3.60 Diagram Alir Perencanaan Struktur Bawah

### 3.5.8 Penggambaran Hasil Perencanaan

Desain struktur hasil perencanaan dan analisis akan digambarkan dengan bantuan *software AutoCAD Student Version 2022*.