

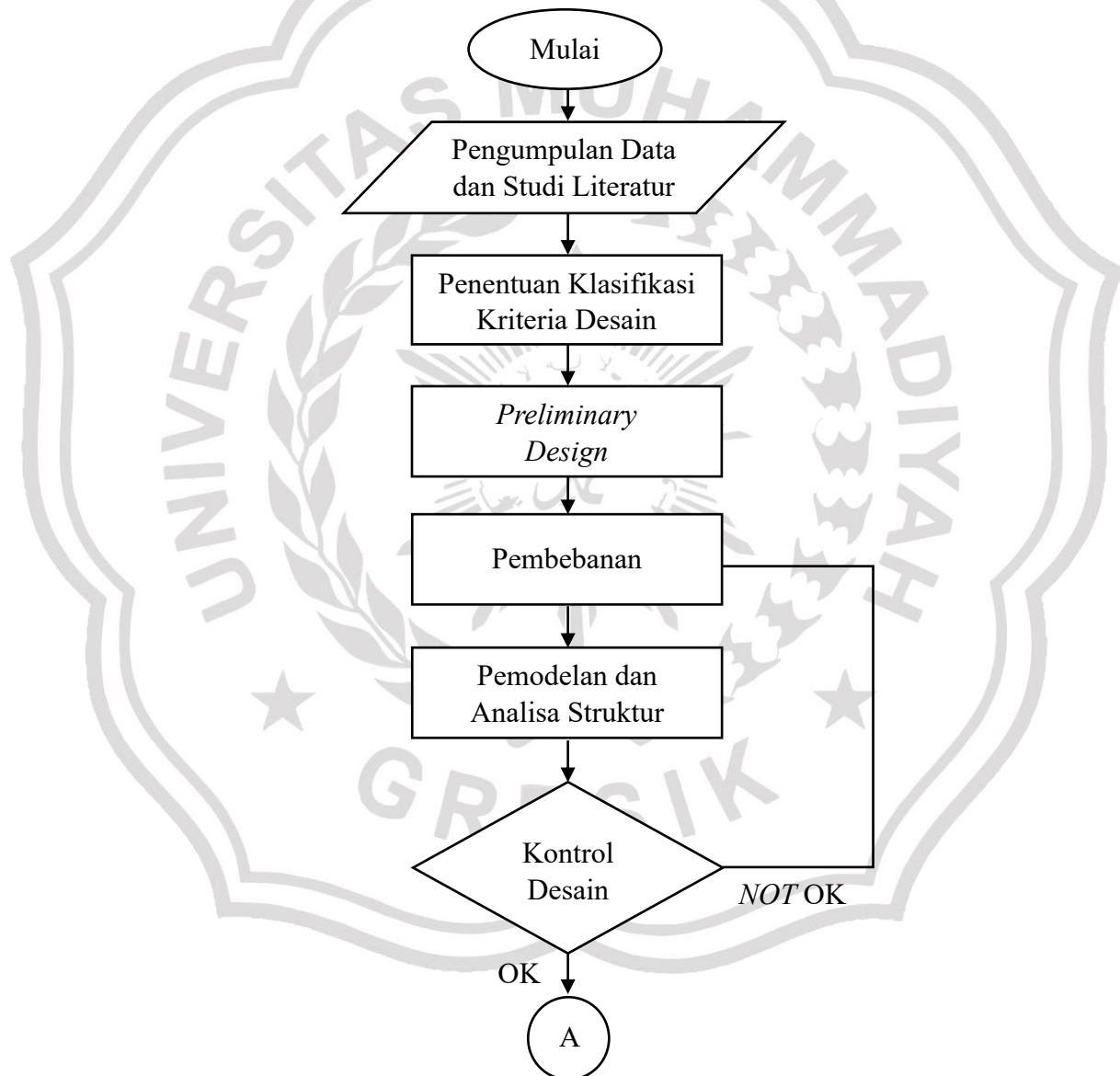
BAB III METODOLOGI

3.1 Umum

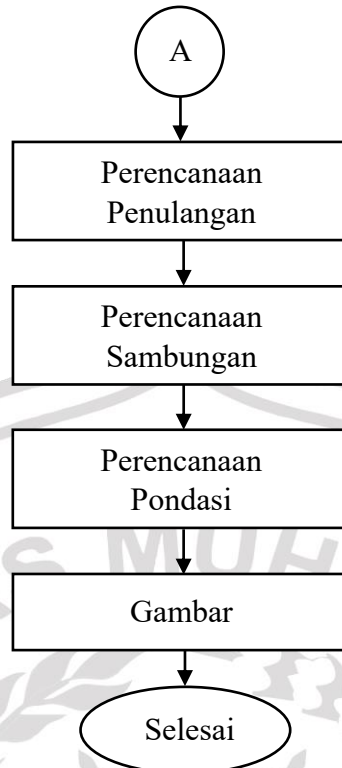
Perencanaan gedung Samaview *Apartment* ini mengadopsi metode beton pracetak, yang memerlukan pengaturan pengerjaan yang terstruktur sesuai dengan urutan kegiatan. Proses pelaksanaannya dimulai dengan pengumpulan data, diakhiri dengan pembuatan gambar teknik.

3.2 Bagan Alir Perencanaan

Proses pekerjaan yang akan dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini akan dijelaskan sesuai dengan bagan alir yang ditampilkan di bawah ini.



Gambar 3.1 Bagan Alir Perencanaan Tugas Akhir
(Sumber : Data Penulis)



Lanjutan Gambar 3.1 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir
(Sumber : Data Penulis)

3.3 Pengumpulan Data Perencanaan

Data perencanaan berupa denah gedung, data tanah, potongan, dan tampak dari gedung terlampir pada lampiran.

3.3.1 Peraturan dan Pedoman

Dalam modifikasi perencanaan struktur Gedung Samaview Apartment, beberapa pedoman dan peraturan yang berlaku telah diterapkan, antara lain:

- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
- SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung
- PPIUG 1983
- PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete 6th Edition

3.4 Penentuan Kriteria Klasifikasi Desain

Penentuan kelas situs mengacu pada SNI 1726:2019, khususnya pada Tabel 5, yang menjelaskan klasifikasi jenis tanah berdasarkan persamaan berikut:

$$N_{\text{rerata}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana:

- Ni : nilai NSPT pada lapis ke-i tanpa koreksi
di : tebal lapis ke-i

Dari perhitungan SNI 1726:2019 Tabel 5 didapat hasil kriteria klasifikasi desain tanah berjenis tanah SC (tanak keras).

3.5 Preliminary Desain

Desain awal dilakukan untuk memperkirakan dimensi awal dari elemen-elemen struktur, dengan mengacu pada peraturan yang berlaku.

3.5.1 Perencanaan Dimensi Balok

Dalam menentukan ukuran tinggi balok, baik balok anak maupun balok induk, dimensi balok dapat direncanakan berdasarkan SNI 2847:2019, khususnya pada tabel 9.3.1. Pada tabel tersebut, lebar balok ditetapkan sebesar 2/3 dari tinggi balok minimum yang dinyatakan sebagai (h_{min}). Selain itu, peraturan mengenai tinggi minimum balok dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Tinggi Minimum Balok

Kondisi Perletakan	Minimum h
Perletakan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$

(Sumber : SNI 2847:2019, Tabel 9.3.1.1)

Dimana :

h_{min} : tinggi balok

L : lebar balok

3.5.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan dimensi kolom, penentuan dilakukan berdasarkan beban tekan aksial yang ditanggung, sesuai dengan SNI 2847:2019, pasal 10.3.1, menggunakan rumus berikut:

$$A_{perlu} = \frac{W}{f'_c} \dots \dots \dots (3-2)$$

Dimana :

A : luas penampang kolom yang dibutuhkan

W : total beban yang menumpu pada beton

f'_c : mutu beton

3.5.3 Perencanaan Pelat

Untuk desain awal pelat satu arah, penentuan dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.3.1.1, dengan merujuk pada Tabel 7.3.1.1 yang ditampilkan pada tabel bawah ini.

Tabel 3.2 Ketebalan Minimum Pelat Solid Satu Arah Nonprategang

Kondisi Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

(Sumber : SNI 2847:2019, Tabel 7.3.1.1)

Untuk pelat dua arah sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1 pada tabel 8.3.1.1, yang dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang Tanpa Balok Interior

Fy, MPa ^[2]	Tanpa Drop Panel			Dengan Drop Panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi ^[4]		Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi ^[4]	
280	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$	$\ell_n/40$	$\ell_n/40$
420	$\ell_n/30$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/33$	$\ell_n/36$	$\ell_n/36$
520	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$

(Sumber : SNI 2847:2019, Tabel 8.3.1.1)

3.6 Perencanaan Struktur Sekunder

3.6.1 Perencanaan Balok Anak

Pelat berfungsi sebagai elemen pertama yang menerima beban, kemudian mendistribusikan beban tersebut ke balok anak. Beban yang diterima dari balok anak akan dianggap sebagai beban ekuivalen trapesium. Selanjutnya, beban yang ditanggung oleh balok anak ini akan digunakan untuk menghitung gaya dalam. Gaya dalam tersebut penting untuk perhitungan penulangan lentur dan geser. Untuk menentukan dimensi awal balok anak, kita merujuk pada dimensi balok induk yang telah diatur dalam SNI 2847:2019, pasal 9.3.1. Sementara itu, penulangan balok anak akan mengikuti spesifikasi penulangan balok induk, yang akan dibahas secara lebih mendetail dalam sub bab berikutnya.

3.6.2 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga dimulai dengan mengukur lebar dan tinggi anak tangga, yang harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm} \dots \dots \dots (3-3)$$

Dimana :

t : tinggi injakan

i : lebar injakan

α : sudut kemiringan tangga ($25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$)

Dalam perencanaan penulangan tangga, perhitungan untuk pelat bordes dan pelat dasar tangga dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti perencanaan tulangan pelat, dengan mengasumsikan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Selain itu, ketebalan tangga juga ditentukan sesuai dengan ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

3.7 Pembebanan

Dalam melakukan perhitungan desain suatu struktur, sangat penting untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang perilaku serta besaran beban yang akan bekerja pada struktur tersebut. Selanjutnya, akan dijelaskan lebih rinci mengenai jenis-jenis beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan sesuai dengan SNI 1727:2019.

3.7.1 Beban Mati

Beban mati adalah total berat dari semua bahan konstruksi yang terdapat dalam sebuah bangunan, seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, serta dinding partisi tetap. Selain itu, beban mati juga mencakup elemen finishing, kulit bangunan, komponen arsitektural dan struktural, serta peralatan lain yang terpasang. Jenis dan ukuran dari beban mati yang akan digunakan dijelaskan secara rinci dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Jenis dan Berat Beban Mati

Jenis Beban	Berat Beban
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Plafon	24 kg/m ³
Penggantung	11 kg/m ³
Keramik	30 kg/m ³
Spasi per (cm) tebal	21 kg/m ³
<i>Ducting dan plumbing</i>	7 kg/m ³
Dinding bata ringan 60x20x10	85 kg/m ³

(Sumber : Data Pribadi)

3.7.2 Beban Hidup

Beban hidup merujuk pada beban yang dihasilkan oleh pengguna dan penghuni suatu bangunan, yang berbeda dari beban konstruksi serta beban lingkungan, seperti beban angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati. Salah satu karakteristik utama dari beban hidup adalah kemampuannya untuk bergerak, sehingga penentuan nilai beban hidup yang tepat menjadi tantangan yang kompleks akibat fluktuasi yang beragam. Untuk mengatasi hal ini, digunakan pedoman SNI 1727:2020, khususnya Tabel 4.3.1, sebagai referensi dalam menentukan beban hidup yang berlaku di *Samaview Apartment*.

3.7.3 Beban Gempa

Menurut SNI 1726:2019, terdapat dua metode untuk menganalisis gempa dinamik, yaitu analisis respon spektrum dan analisis respon dinamik riwayat gempa (*time history*). Dalam tugas akhir ini, kami menggunakan analisis gempa berdasarkan respon spektrum. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan analisis respon spektrum untuk menentukan nilai gaya gempa lateral yang terjadi pada setiap tingkat.

3.7.3.1 Menentukan Kelas Situs

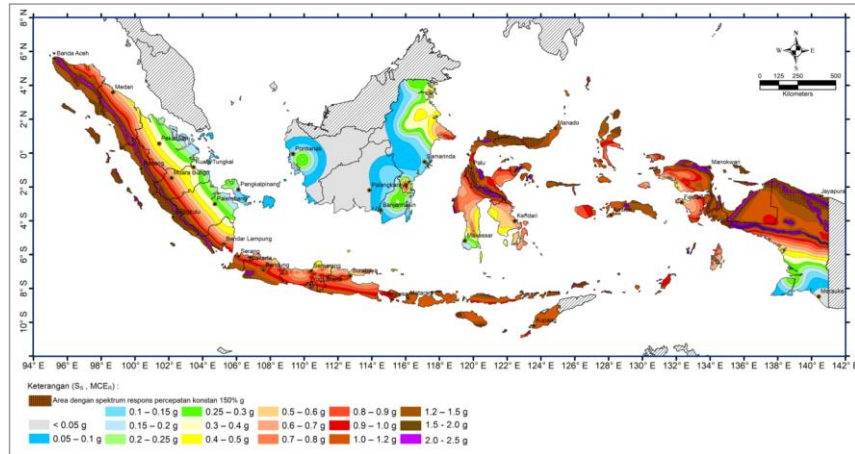
Mengacu pada SNI 1726:2019, khususnya pada pasal 5.3, terdapat prosedur untuk menentukan klasifikasi situs. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menghitung nilai *N* berdasarkan data hasil SPT. Definisi parameter kelas situs yang menggunakan data SPT dapat ditemukan pada SNI 1726:2019 pasal 5.4.2, yang dijelaskan lebih lanjut dalam persamaan (2) yang tertera di Tabel 2.3.

3.7.3.2 Menentukan Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa

Dalam Tabel 3 SNI 1726:2019, berbagai risiko yang terkait dengan struktur bangunan gedung dan non-gedung menunjukkan bahwa pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan faktor keutamaan (*I_e*) sesuai yang tercantum dalam Tabel 4 SNI 1726:2019. Faktor keutamaan ini ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan yang merujuk pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 sebelumnya. *Samaview Apartment*, sebagai sebuah gedung fasilitas apartemen, dikategorikan dalam kategori II dengan faktor keutamaan gempa (*I_e*) sebesar 1,0.

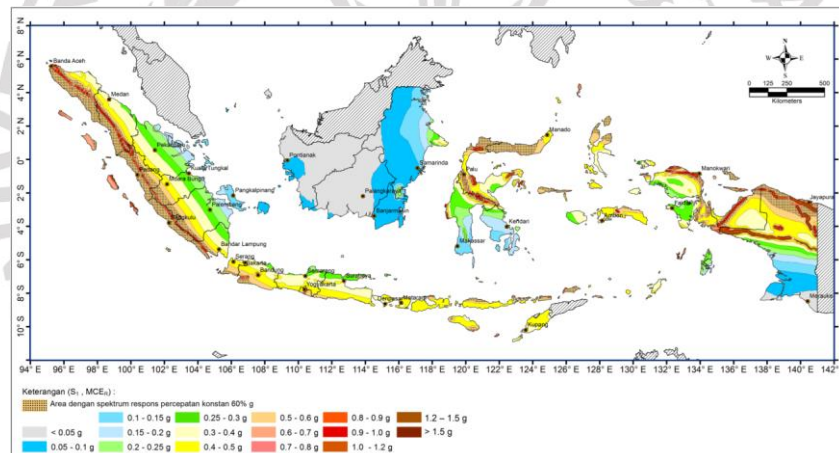
3.7.3.3 Menentukan Nilai *S_s* dan *S₁*

S_s adalah parameter *respons* spektral percepatan gempa pada tingkat MCER yang ditentukan untuk periode pendek dengan redaman sebesar 5 persen, sesuai dengan SNI 1726:2019. Nilai *S_s* ini diperoleh berdasarkan lokasi bangunan yang merujuk pada peta zona gempa di Indonesia, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Parameter gerak Tanah S_s , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia
(Sumber : SNI 1726:2019, Gambar 15)

S_1 adalah parameter *respons* percepatan spektral gempa MCER yang diukur untuk periode 1,0 detik dengan redaman sebesar 5 persen (SNI 1726:2019). Nilai S_1 ini diperoleh berdasarkan lokasi bangunan yang ditentukan sesuai dengan peta zona gempa Indonesia yang terdapat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia.
(Sumber : SNI 1726:2019, Gambar 16)

Berdasarkan gambar 16 dan gambar 17, diperoleh nilai S_s dan S_1 di Kota Malang sebesar :

$$S_{DS} = 0,599$$

$$S_{D1} = 0,355$$

$$S_s = 0,749$$

$$S_1 = 0,355$$

3.7.3.4 Menentukan Faktor Amplifikasi Getaran

Untuk menentukan *respons* spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, penting untuk mempertimbangkan faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik. Faktor amplifikasi ini terdiri dari dua komponen: pertama, faktor amplifikasi getaran pada periode pendek (F_a), dan kedua, faktor amplifikasi getaran pada periode 1 detik (F_v).

Faktor amplifikasi F_a dipengaruhi oleh nilai situs sebelumnya dan nilai S_s , sedangkan faktor amplifikasi F_v tergantung pada kelas situs yang juga ditentukan oleh nilai S_1 . Nilai dari F_a dan F_v dapat ditemukan dalam tabel 3.5 dan tabel 3.6.

Tabel 3.5 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko - tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	0,9	0,9	0,8
SF	SS^a					

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 6)

Tabel 3.6 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respon spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko - tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS^a					

(Sumber : SNI 1726:2019, Tabel 7)

Berdasarkan Tabel 3.6 dan Tabel 3.7, diperoleh nilai F_a dan F_v sebesar:

$$F_a = 1,2$$

$$F_v = 1,5$$

3.7.3.5 Menentukan S_{MS} dan S_{M1}

Menurut SNI 1726:2019 pada pasal 6. 2, parameter *spektrum respons* percepatan untuk periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots \dots \dots (3-4)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots \dots \dots (3-5)$$

Dimana:

S_{MS} : periode pendek

S_{M1} : periode 1 detik

F_a : faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek

F_v : faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik

3.7.3.6 Menentukan S_{D1} dan S_{DS}

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 6.3, parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan untuk periode 1 detik (S_{D1}) harus ditentukan menggunakan persamaan yang tertera di bawah ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (3-6)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (3-7)$$

Dimana:

S_{DS} : parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

S_{D1} : perioda 1 detik

3.7.3.7 Menentukan Kategori Desain Seismik

Nilai yang diperoleh dari S_{DS} , S_{D1} , dan kategori risiko gedung akan menghasilkan dua kategoridesain seismik. Dari kedua Kategori Desain Seismik (KDS) tersebut, nilai yang diambil adalah yang tertinggi. Nilai ini harus berdasarkan informasi yang tertera dalam tabel 3.8 dan tabel 3.9 di bawah ini:

Tabel 3.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek S_{DS}

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

(SNI 1726:2019, Tabel 8)

Tabel 3.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik, S_{D1}

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(SNI 1726:2019, Tabel 9)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) adalah sebuah sistem rangka ruang yang terdiri dari komponen seperti balok, kolom, dan sambungan yang berfungsi untuk menahan gaya yang bekerja melalui berbagai aksi, termasuk lentur, geser, dan aksial. SRPM dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis:

a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Ini adalah sistem rangka yang memenuhi ketentuan SNI beton pada pasal 1-20 dan 22, serta pasal 21.1.2 dan 21.2. SRPMB memiliki tingkat daktilitas yang terbatas, sehingga cocok digunakan pada bangunan yang dikenakan maksimal Kelas Daya Seismik (KDS) B.

b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem ini tidak hanya memenuhi ketentuan untuk SRPMB, tetapi juga memenuhi ketentuan *detailing* pada pasal 21.1.2, 21.1.8, dan 21.3. SRPMM memiliki tingkat daktilitas sedang, dan diperuntukkan bagi bangunan yang dikenakan maksimum KDS C.

c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem ini memenuhi semua ketentuan yang berlaku untuk SRPMB, serta ketentuan pada pasal 21.1.2 hingga 21.1.8, pasal 21.5 hingga 21.8, dan pasal 21.11 hingga 21.13. SRPMK memiliki tingkat daktilitas penuh dan harus digunakan untuk bangunan yang dikenakan KDS D, E, atau F. Struktur yang digunakan dalam sistem ini harus mematuhi batasan serta memperhatikan koefisien sesuai dengan jenis sistem struktur yang diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2.

3.7.3.8 Menghitung Koefisien Respon Seismik

Koefisien respons seismik (C_s) harus ditentukan sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam SNI 1726:2019, khususnya pada pasal 7.8.1.1.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (3-8)$$

Dimana :

S_{DS} : parameter percepatan *spektrum respons* desain dalam rentang periode pendek

R : faktor modifikasi *respons* yang ditentukan oleh sistem penahan gempa yang dipilih

I_e : faktor keutamaan gempa yang ditentukan kategori risiko

Nilai C_s yang dihitung $\leq$ dari :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (3-9)$$

Dan $C_s \geq$ dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (3-10)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah yang mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari :

$$C_s = \frac{0,5 S_{S1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (3-11)$$

Dimana :

S_{D1} : parameter percepatan *spektrum respons* desain pada periode 1 detik

T : periode fundamental struktur (detik)

S_1 : parameter percepatan *spektrum respons* maksimum

3.7.4 Kombinasi Pembebanan

Dalam perencanaan pembebanan digunakan kombinasi yang sesuai dengan pasal 2.3.2 pada SNI 1727:2020, yaitu sebagai berikut :

- $U = 1,4D$
- $U = 1,2D + 1,6L$
- $U = 1,2D + 1EX + 1EZ + 1,0L$
- $U = 1,2D + 1EY + 1EZ + 1,0L$
- $U = 0,9DL - EZ + 1EX$
- $U = 0,9DL - EZ + 1EY$
- $U = 1,2DL + 1L$
- $U = 1DL + 1L$
- $U = 1,2D + 1EV + 1EH + 1L$
- $U = 0,9D - 1EV + 1EH$

Dimana :

U = beban *ultimate*

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

Z = beban gempa Z

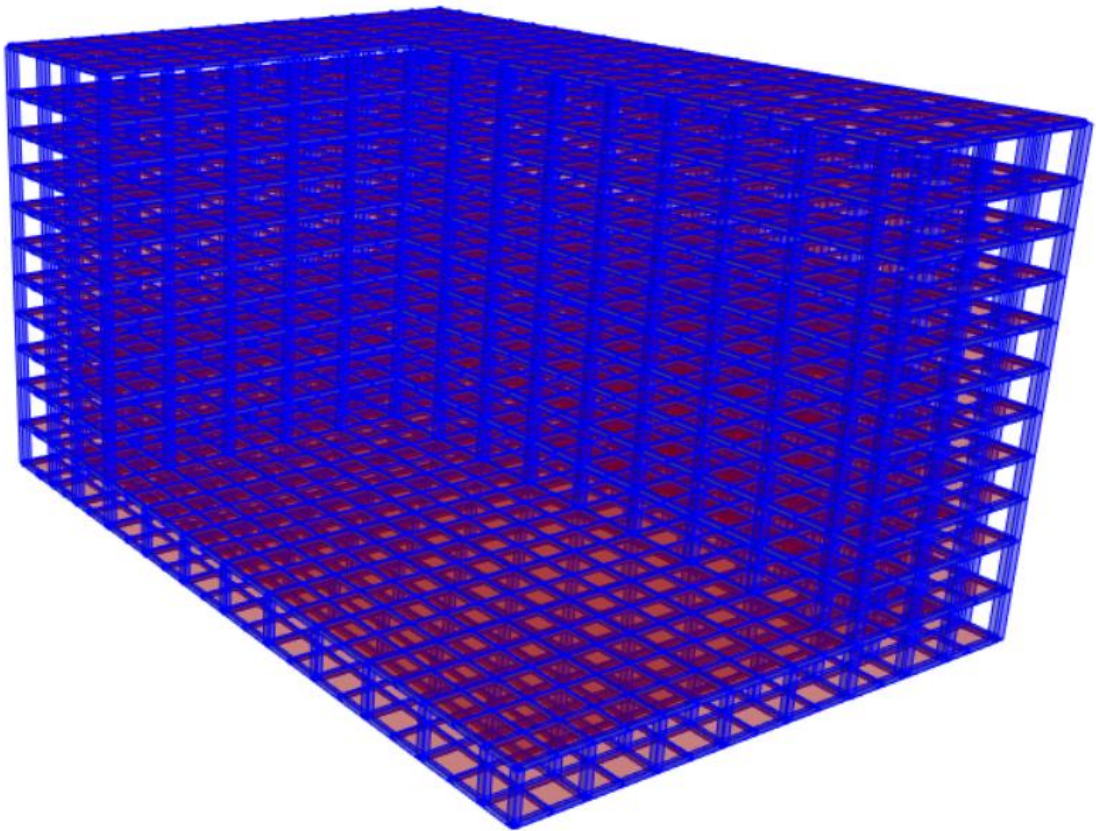
H = beban gempa *horizontal*

V = beban gempa vertikal

3.8 Permodelan dan Analisa Struktur

3.8.1 Penggunaan Analisa Struktur

Analisis struktur utama dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak analisis struktural, SAP2000, untuk memperoleh reaksi dan gaya internal yang terjadi pada setiap elemen struktur. Meskipun demikian, penting untuk melakukan kontrol yang cermat dalam pemodelan struktur agar hasilnya dapat mencerminkan kondisi yang sebenarnya di lapangan.



Gambar 3.4 Pemodelan Gedung
(Sumber : Data Pribadi)

3.8.2 Perhitungan Gaya Dalam

Gaya dalam pada analisa struktur menggunakan program bantu SAP2000 kalau sudah didapatkan, maka diperlukan input data berupa :

- Bentuk dan koordinat gedung
- Spesifikasi material beton yang akan digunakan
- Pembebanan struktur
- Kombinasi pembebanan
- Respons spectrum* gempa sesuai wilayah didirikannya gedung

3.8.3 Kontrol Pemodelan Struktur

Model yang akan dibuat harus memenuhi beberapa kriteria agar *respons* terhadap gaya gempa yang dihasilkan dapat diterapkan dalam perencanaan. Kriteria tersebut meliputi kontrol partisipasi massa, kontrol periode fundamental struktur, kontrol gaya skala dinamis, kontrol *drift*, kontrol sistem ganda, dan kontrol pengaruh p-delta. Pada Gedung Samaview Apartment, terdapat potensi ketidakberaturan struktur baik secara horizontal maupun vertikal. Mengingat permodelan yang dilakukan menggunakan analisis dinamik linear berupa analisis spektrum *respons* ragam, maka tinjauan ketidakberaturan struktur tidak diperlukan. Tinjauan tersebut hanya diperlukan jika permodelan menggunakan analisis statik ekuivalen.

3.8.3.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1, nilai partisipasi massa suatu struktur harus sekurang-kurangnya mencapai 90% dari massa aktualnya. Untuk mencapai hal tersebut, analisis perlu dilakukan guna menentukan ragam getar alami struktur. Dalam analisis ini, penting untuk mencakup jumlah ragam yang memadai agar partisipasi massa dari ragam yang terkombinasi dapat mencapai minimal 90% dari massa aktual untuk setiap arah horizontal ortogonal yang menjadi *respons* dalam model yang ditinjau.

3.8.3.2 Kontrol Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur (T) yang akan ditinjau harus ditentukan dengan memperhatikan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang telah teruji. Nilai periode fundamental struktur (T) tidak dapat melebihi hasil perkalian koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_u) yang tercantum dalam Tabel 3.9, serta periode fundamental pendekatan (T_a) yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1. Sebagai alternatif, dalam analisis untuk menentukan periode fundamental struktur (T), diperkenankan untuk langsung menggunakan periode bangunan pendekatan (T_a) yang dihitung berdasarkan ketentuan di pasal 7.8.2.1.

$$T_a = C_t \times h_n^x \dots \dots \dots (3-12)$$

Dimana :

- T_a : Periode bangunan
- C_t : Koefisien yang ditentukan dari Tabel 3.10
- X : Koefisien yang ditentukan dari Tabel 3.10
- H_n : ketinggian struktur (m)

Tabel 3.9 Koefisien C_u

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $SD1$	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(SNI 1726:2019, Tabel 17)

Tabel 3.10 Koefisien C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Rangka Baja Pemikul Momen	0,0724	0,8
Rangka Beton Pemikul Momen	0,0466	0,9

Rangka Baja dengan Bresing Ekstentris	0,0731	0,75
---------------------------------------	--------	------

(SNI 1726:2019, Tabel 18)

Lanjutan Tabel 3.10 Koefisien C_t dan x

Rangka Baja dengan Bresing Terkekang Terhadap Tekuk	0,0731	0,75
Semua Sistem Struktur Lainnya	0,0488	0,75

(SNI 1726:2019, Tabel 18)

3.8.3.3 Kontrol Simpangan Bangunan (*Drift*)

Penentuan simpangan antar lantai dalam tingkat desain perlu dilakukan dengan menghitung perbedaan defleksi antara pusat massa di lantai teratas dan terendah yang sedang ditinjau. Jika pusat massa tidak terletak pada satu garis vertikal, maka perhitungan defleksi di dasar lantai dapat dilakukan dengan menggunakan proyeksi vertikal dari pusat massa lantai di atasnya. Apabila menggunakan desain tegangan izinnnya, defleksi harus dihitung dengan mempertimbangkan gaya gempa berdasarkan tingkat kekuatan yang telah ditetapkan, tanpa adanya reduksi untuk desain tegangan izin tersebut. Penjelasan lebih lanjut tentang penentuan simpangan izin pada struktur dapat dilihat dalam Tabel 3.11 dan Gambar 3.4.

Tabel 3.11 Simpang Ijin Struktur

Struktur	Kategori Risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025 h_{xx}^c$	$0,020 h_{xx}$	$0,015 h_{xx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010 h_{xx}$	$0,010 h_{xx}$	$0,010 h_{xx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{xx}$	$0,007 h_{xx}$	$0,007 h_{xx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{xx}$	$0,015 h_{xx}$	$0,010 h_{xx}$

(SNI 1726:2019, Tabel 16)

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6, penentuan simpangan antar lantai pada tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai selisih defleksi pada pusat massa antara tingkat teratas dan terendah yang sedang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diperbolehkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Defleksi pusat massa pada tingkat x (δ_x) dalam milimeter harus ditentukan sesuai dengan rumus yang terdapat pada halaman berikutnya.

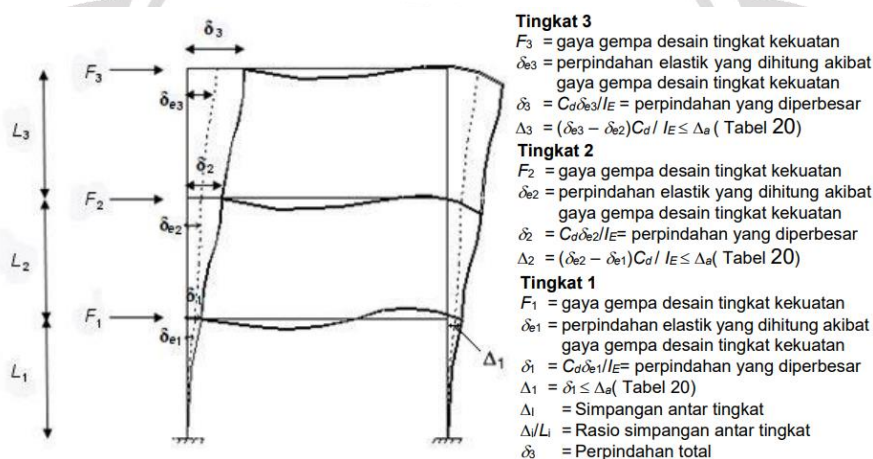
$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (3-13)$$

Dimana:

δ_{xe} : defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

I_e : faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 2.2

C_d : faktor amplifikasi defleksi dalam SNI 1726:2019 Tabel 12



Gambar 3.5 Penentuan Simpangan Tiap Lantai
 (Sumber : SNI 1726:2019, Gambar 10)

3.9 Perencanaan Penulangan Struktur Primer dan Sekunder

3.9.1 Penulangan Balok Pracetak

Dalam perencanaan penulangan balok pracetak, terdapat tiga metode yang digunakan untuk menghitung penulangan, yaitu sebelum komposit, saat pengangkatan, dan setelah komposit. Perhitungan untuk struktur primer dan sekunder mengacu pada SNI 2847:2019, pasal 22.2.2.

3.9.1.1 Sebelum Komposit

Berikut urutan perencanaan dalam perhitungan sebelum komposit pada balok induk:

a. Beban mati

1. Berat sendiri balok

$$b \times h_{\text{sebelum komposit}} \times \gamma_{\text{beton}} \dots \dots \dots (3-14)$$

Dimana:

b : lebar balok

$h_{\text{sebelum komposit}}$: tinggi balok

γ_{beton} : 2400 kg

2. Berat *overlapping*

$$b \times h_{\text{overlapping}} \times \gamma_{\text{beton}} \dots \dots \dots (3-15)$$

Dimana:

b : lebar balok
 $h_{\text{overtopping}}$: tinggi balok
 γ_{beton} : 2400 kg

3. Berat pelat

$$\text{luas area} \times t_p \times \gamma_{\text{beton}} \dots\dots\dots (3-16)$$

$$q_d = \sum \text{beban mati} \dots\dots\dots (3-17)$$

Dimana:

T_p : tebal plat
 γ_{beton} : 2400 kg
 q_d : beban mati
 $\sum \text{beban mati}$: jumlah beban mati

b. Kombinasi beban

$$q_u = 1,4 \times q_d \dots\dots\dots (3-18)$$

Dimana:

q_u : beban ultimate
 q_d : beban mati

c. Perhitungan momen

Momen yang akan terjadi pada balok induk sebelum komposit dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa tumpuan pada balok induk bersifat sederhana. Dengan demikian, momen pada tumpuan tersebut dianggap tidak ada.

$$M_{\text{tumpuan}} = 0 \dots\dots\dots (3-19)$$

$$M_{\text{lapangan}} = \frac{1}{8} q_u \cdot l \dots\dots\dots (3-20)$$

$$V_u = \frac{1}{2} q_u \cdot l \dots\dots\dots (3-21)$$

Dimana:

q_u : beban *ultimate*
 l : Panjang balok
 V_u : gaya geser maks

3.9.1.2 Saat Pengangkatan

Berikut urutan perencanaan dalam perhitungan saat pengangkatan pada balok induk:

a. Beban mati

1. Berat Sendiri Balok

$$b \times h_{\text{sebelum komposit}} \times \gamma_{\text{beton}} \dots\dots\dots (3-22)$$

Dimana:

b : lebar balok
 $h_{\text{sebelum komposit}}$: tinggi balok
 γ_{beton} : 2400 kg

2. Kombinasi Beban

$$q_u = 1,4 \times q_d \dots\dots\dots (3-23)$$

Dimana

q_u : beban *ultimate*

q_d : beban mati

3. Titik Angkat Balok

$$d = h_{\text{balok}} - \text{clear cover} - D_{\text{senggang}} - 0,5 D_{\text{tulangan}} \dots \dots \dots (3-24)$$

Dimana:

d : jarak pengangkatan

clear cover : tebal *cover*

D_{senggang} : diameter sengkang

D_{tulangan} : diameter tulangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L} \tan \theta \right) \dots \dots \dots (3-25)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{8} \dots \dots \dots (3-26)$$

$$y_t = \frac{h}{2} \dots \dots \dots (3-27)$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} bh^3 \dots \dots \dots (3-28)$$

$$y_c = y_t + 5 \dots \dots \dots (3-29)$$

Dimana:

$+M$: momen positif

$-M$: momen negative

W : berat bangunan

L : panjang balok

b : lebar balok

h : tinggi balok

4. Pengangkatan Balok Induk

Dalam proses pemasangan balok pracetak, balok tersebut akan melalui tahap pengangkatan. Oleh karena itu, penting untuk merencanakan tulangan angkat yang tepat untuk balok tersebut.

- Perhitungan Tulangan Angkat Balok Pracetak

$$DL = h_{\text{pracetak}} \times p \times l \times \rho_{\text{beton}} \dots \dots \dots (3-30)$$

$$q = K \times 1,4 DL \dots \dots \dots (3-31)$$

Dimana:

K : 1,2 (faktor kejut) (*PCI Design Handbook 6th edition*)

DL : beban mati balok

H_{pracetak} : tinggi balok pracetak

P : panjang balok pracetak

L : lebar balok pracetak

ρ_{beton} : 2400 kg

$$T_u = \frac{q}{2 \times \cos 45^\circ} \dots \dots \dots (3-32)$$

Dimana:

T_u : torsi balok

q : berat balok

- Kontrol Tulangan Angkat

$$\sigma_{\text{balok}} < \sigma_{\text{ijin}} \dots \dots \dots (3-33)$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = \frac{0,7 \times \sqrt{f'_c}}{SF} \dots \dots \dots (3-34)$$

$$Z = \frac{1}{6} b \times (h_{\text{pracetak}}^2) \dots \dots \dots (3-35)$$

$$\sigma_{\text{balok}} = \frac{M_u}{Z} \dots \dots \dots (3-36)$$

Dimana:

f'_c : mutu beton

SF : angka keamanan (*Safety Factor*)

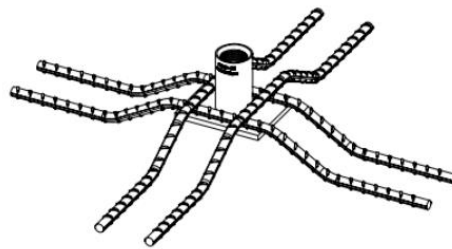
b : lebar balok pracetak

h : tinggi balok pracetak

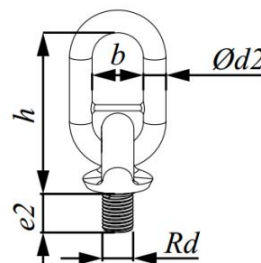
M_u : momen *ultimate*

5. Profil Tulangan Angkat

Alat angkat yang akan digunakan adalah *Jenka Lifting System* dari *Peikko Group*. Tipe yang dipilih adalah *Jenka PSA Short Insert* dengan kait JL, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.27 dan Gambar 4.28. Pada setiap titik angkat, profil ini mampu mengangkat beban antara 5 hingga 125 kN dengan sudut angkat yang bervariasi antara 0° hingga 45°.



Gambar 3.6 *Jenka PSA Short Insert*
Sumber : (Larasati, 2020)



Gambar 3.7 Kait JL
Sumber : (Larasati, 2020)

3.9.1.3 Setelah Komposit

1. Perencanaan Tulangan Lentur pada Balok Pracetak

Berikut urutan perencanaan dalam perencanaan dalam penulangan lentur pada balok induk:

- Penentuan data - data yang digunakan, yaitu (tinggi efektif beton), f_y (kuat leleh tulangan baja), f'_c (kuat tekan beton), dan M_u (momen *ultimate*).
- Menentukan nilai β_1 , sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 22.2.2.4.3 yaitu:
 - a. Untuk $17 \leq f'_c \leq 28$ maka $\beta_1 = 0,85$
 - b. Untuk $28 < f'_c < 55$ maka $\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05 (f'_c - 28)}{7}$
 - c. Untuk $f'_c \geq 55$ maka $\beta_1 = 0,65$
- Menentukan batasan tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang telah disyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_{\max} \leq 0,025 \dots \dots \dots (3-37)$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,025 \sqrt{f'_c}}{f_y} \dots \dots \dots (3-38)$$

$$\rho_{\min} \geq \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (3-39)$$

- Menentukan nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \dots \dots \dots (3-40)$$

- Menentukan nilai factor penahan lentur (R_n)

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2} \dots \dots \dots (3-41)$$

$$\phi = 0,9$$

- Perhitungan rasio tulangan yang digunakan dalam desain

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (3-42)$$

Dengan syarat, $\rho < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

- Menghitung luas tulangan (A_s perlu) berdasarkan ρ yang telah didapat dari perhitungan sebelumnya

$$A_s = \rho b d \dots \dots \dots (3-43)$$

- Menghitung jumlah tulangan yang dibutuhkan berdasarkan A_s perlu

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\frac{1}{4} \pi \phi^2} \dots \dots \dots (3-44)$$

- Menghitung jarak tulangan yang dibutuhkan (s)

$$s = \frac{b - n \cdot D - 2 \cdot d - 2 \phi S}{n - 1} \dots \dots \dots (3-45)$$

Dimana:

- f'_c : mutu beton
- F_y : mutu baja
- M_n : momen dari SAP2000
- b : lebar balok

As : luas tulangan
D : diameter tulangan
S : jarak tulangan

2. Penulangan Geser Balok Pracetak

• Penulangan Geser Balok pada Daerah Tumpuan

Untuk pemasangan tulangan geser di area sendi plastis, yang terletak sepanjang 2h dari permukaan kolom, dilakukan analisis perhitungan sebagaimana berikut:

a. Menghitung momen ujung pada tiap tumpuan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b \cdot e} \dots \dots \dots (3-46)$$

$$M_{pr} = A_s (1,25 f_y) \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (3-47)$$

M_{pr} : gaya maksimum
A_s : luas tulangan
F_y : mutu baja

b. Menghitung gaya geser total

$$V_e = \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{L_n} \dots \dots \dots (3-48)$$

Dimana:

V_e : gaya geser
M_{pr+} : gaya maksimum +
M_{pr-} : gaya maksimum -
L_n : Panjang balok

Dengan asumsi bahwa beton tidak menahan gaya geser, sehingga

V_c : 0
V_n : V_e maksimum

c. Perhitungan tulangan geser yang diperlukan

$$V_s = \frac{V_n}{\phi} \dots \dots \dots (3-49)$$

$$V_{s_{max}} = \frac{2}{3} b_w \cdot d \cdot \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (3-50)$$

$$Cek V_s < V_{s_{max}} \dots \dots \dots (3-51)$$

Dimana V_s : kuat gaya geser yang disediakan

V_n : kuat geser nominal
Ø : 0,9
b_w : lebar balok
f'_c : mutu beton

• Penulangan Geser Balok Pracetak pada Daerah Lapangan

Untuk pemasangan tulangan geser di luar sendi plastis (di luar 2h), berikut adalah analisis perhitungan yang telah dilakukan:

$$V_u \text{ lapangan} = V_n - (2h) \dots\dots\dots (3-52)$$

$$\phi V_s \text{ min} = 0,75 \times \frac{1}{3} \times b_w \times d \dots\dots\dots (3-53)$$

$$\phi V_c = 0,75 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \dots\dots\dots (3-54)$$

Cek kondisi :

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c \dots\dots\dots (3-55)$$

$$0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c \dots\dots\dots (3-56)$$

$$\phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{smin}) \dots\dots\dots (3-57)$$

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \dots\dots\dots (3-58)$$

$$A_v \text{ min} = \frac{b \times s}{a \times f_y} \dots\dots\dots (3-59)$$

Dimana:

V_u lapangan : gaya geser ultimate di daerah lapangan

V_n : kuat geser nominal

h : tinggi balok

b_w : lebar balok

V_u : gaya geser ultimatr

V_c : gaya geser beton

A_v : luas tulangan Sengakang

N : jumlah tulangan

S : jarak tulangan

Dengan syarat jarak Sengakang maksimum :

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} \dots\dots\dots (3-60)$$

3. Penulangan Torsi Balok Pracetak

a. Pengaruh adanya torsi harus diperhitungkan berdasarkan kondisi berikut:

$$T_u \geq \phi T_{th} \dots\dots\dots (3-61)$$

$$T_u \leq \frac{\phi \sqrt{f'_c}}{12} \times \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \dots\dots\dots (3-62)$$

b. Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$\phi T_n \geq T_u \dots\dots\dots (3-63)$$

c. Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_n = \frac{2 A_0 A_t f_y}{s} \times \cot \theta \dots\dots\dots (3-64)$$

$$T_n = \frac{2 A_0 A_t f_y}{P_h} \times \cot \theta \dots\dots\dots (3-65)$$

Dari kedua harga T_n di atas, digunakan nilai T_n yang memiliki harga terkecil.

Dimana :

- T_u : Momen torsi terfaktor
 T_n : Kuat momen torsi
 T_c : Kuat torsi nominal beton
 T_s : Kuat torsi nominal geser (Sengkang)
 A_0 : Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser (mm²)
 S : jarak tulangan

3.9.2 Penulangan Pelat Pracetak

Pelat akan direncanakan dalam tiga kondisi yaitu sebelum komposit, saat pengangkatan dan setelah komposit.

3.9.2.1 Sebelum komposit

Berikut urutan perencanaan dalam perhitungan sebelum komposit pada pelat pracetak:

a. Beban mati

$$\Sigma \text{ beban mati} \dots \dots \dots (3-66)$$

b. Beban hidup

$$\Sigma \text{ beban hidup} \dots \dots \dots (3-67)$$

c. Kombinasi pembebanan

$$1,4 D \dots \dots \dots (3-68)$$

Dimana:

D : beban mati

d. Perhitungan Tulangan Pelat Pracetak

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai tulangan pelat pracetak.

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f'c - 28}{7} \dots \dots \dots (3-69)$$

$$dx = h_{\text{komposit}} - d' - 0,5 - D \dots \dots \dots (3-70)$$

$$dy = h_{\text{komposit}} - d' - D_{\text{arah x}} - D_{\text{arah y}} \dots \dots \dots (3-71)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \dots \dots \dots (3-72)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (3-73)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (3-74)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \dots \dots \dots (3-75)$$

Dimana:

- $f'c$: mutu beton
 f_y : mutu baja
 D_x : tinggi efektif arah sumbu x
 D_y : tinggi efektif arah sumbu y
 H : tinggi plat

Dx : diameter tulangan arah x
Dy : diameter tulangan arah y

d. Penulangan Arah X dan Y

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai penulangan pelat pracetak pada arah X dan arah Y.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times d^2} \dots \dots \dots (3-76)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (3-77)$$

$$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} \dots \dots \dots (3-78)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d \dots \dots \dots (3-79)$$

$$A_s (D) = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots \dots \dots (3-80)$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s (D)} \dots \dots \dots (3-81)$$

$$S = \frac{1000}{n} \dots \dots \dots (3-82)$$

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}^2 \text{ berdasarkan SNI 2847:2019} \dots \dots \dots (3-83)$$

$$A_s \text{ pakai} = n \times A_s (D) \dots \dots \dots (3-84)$$

Dimana:

Mu : momen *ultimate*
B : lebar pelat
dx : tinggi efektif arah sumbu x
fy : mutu baja
As perlu : luas perlu tulangan
n : jumlah tulangan
S : jarak tulangan

3.9.2.2 Setelah komposit

Berikut urutan perencanaan dalam perhitungan setelah komposit pada pelat pracetak:

a. Beban mati

$$\Sigma \text{ beban mati} \dots \dots \dots (3-85)$$

b. Beban hidup

$$\Sigma \text{ beban hidup} \dots \dots \dots (3-86)$$

c. Kombinasi pembebanan

$$1,4 D + 1,6 L \dots \dots \dots (3-87)$$

Dimana:

D : beban mati
L : beban hidup

d. Perhitungan Tulangan Pelat Pracetak

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai tulangan pelat pracetak.

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f'c - 28}{7} \dots \dots \dots (3-88)$$

$$dx = h_{\text{komposit}} - d' - 0,5 - D \dots \dots \dots (3-89)$$

$$dy = h_{\text{komposit}} - d' - D_{\text{arah x}} - D_{\text{arah y}} \dots \dots \dots (3-90)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} \dots \dots \dots (3-91)$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ berdasarkan SNI 2847:2019} \dots \dots \dots (3-92)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots \dots \dots (3-93)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \dots \dots \dots (3-94)$$

Dimana:

$f'c$: mutu beton

F_y : mutu baja

D_x : tinggi efektif arah sumbu x

D_y : tinggi efektif arah sumbu y

h : tinggi plat

D_x : diameter tulangan arah x

D_y : diameter tulangan arah y

e. Penulangan Arah X dan Y

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai penulangan pelat pracetak pada arah X dan arah Y.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times dx^2} \dots \dots \dots (3-95)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (3-96)$$

$$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min} \dots \dots \dots (3-97)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times dx \dots \dots \dots (3-98)$$

$$A_s (D) = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots \dots \dots (3-99)$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s (D)} \dots \dots \dots (3-100)$$

$$S = \frac{1000}{n} \dots \dots \dots (3-101)$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}^2 \dots \dots \dots (3-102)$$

$$A_s \text{ pakai} = n \times A_s (D) \dots\dots\dots (3-103)$$

Dimana:

Mu : momen *ultimate*
b : lebar pelat
dx : tinggi efektif arah sumbu x
fy : mutu baja
As perlu : luas perlu tulangan
n : jumlah tulangan
S : jarak tulangan

3.9.2.3 Saat Pengangkatan

Berikut urutan perencanaan dalam perhitungan saat pengangkatan pada pelat pracetak:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \times \frac{f'_c - 28}{7} \dots\dots\dots (3-104)$$

$$dx = h_{\text{komposit}} - d' - 0,5 - D \dots\dots\dots (3-105)$$

$$dy = h_{\text{komposit}} - d' - D_{\text{arah x}} - D_{\text{arah y}} \dots\dots\dots (3-106)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \dots\dots\dots (3-107)$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \text{ berdasarkan SNI 2847:2019} \dots\dots\dots (3-108)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (3-109)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots (3-110)$$

Dimana:

f'c : mutu beton
Fy : mutu baja
Dx : tinggi efektif arah sumbu x
Dy : tinggi efektif arah sumbu y
h : tinggi plat
Dx : diameter tulangan arah x
Dy : diameter tulangan arah y

a. Perhitungan Momen Akibat Pengangkatan saat Instalasi

Berdasarkan *PCI Handbook* 6th Pasal 5.3, momen yang terjadi pada saat pengangkatan 4 titik angkat sebagai berikut :

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \dots\dots\dots (3-111)$$

$$M_x = 0,0107 \times w \times a \times b^2 \dots\dots\dots (3-112)$$

Dimana:

W : $h_{\text{precast}} \times \rho_{\text{beton}}$
x : panjang pelat
y : lebar pelat

b. Penulangan Arah X dan Y

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai penulangan pelat pracetak pada arah X dan arah Y.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times dx^2} \dots \dots \dots (3-113)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \dots \dots \dots (3-114)$$

$$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}} \dots \dots \dots (3-115)$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times dx \dots \dots \dots (3-116)$$

$$A_s (D) = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \dots \dots \dots (3-117)$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s (D)} \dots \dots \dots (3-118)$$

$$S = \frac{1000}{n} \dots \dots \dots (3-119)$$

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}^2 \text{ berdasarkan SNI 2847:2019} \dots \dots \dots (3-120)$$

$$A_s \text{ pakai} = n \times A_s (D) \dots \dots \dots (3-121)$$

Dimana:

Mu : momen *ultimate*

b : lebar pelat

dx : tinggi efektif arah sumbu x

f_y : mutu baja

A_s perlu : luas perlu tulangan

n : jumlah tulangan

S : jarak tulangan

c. Pengangkatan Pelat Pracetak

Dalam proses pemasangan pelat pracetak, pelat tersebut akan melalui tahap pengangkatan. Oleh karena itu, penting untuk merencanakan sistem tulangan angkat yang sesuai untuk pelat tersebut.

1. Perhitungan Tulangan Angkat Pelat Pracetak

$$DL = h_{\text{pracetak}} \times p \times l \times \rho_{\text{beton}} \dots \dots \dots (3-122)$$

$$q = K \times DL \dots \dots \dots (3-123)$$

Dimana:

h_{pracetak} : tinggi pelat pracetak

p : Panjang pelat pracetak

l : lebar pelat pracetak

ρ_{beton} : 2400 kg

K : 1,2 (faktor kejut) (*PCI Design Handbook 6th edition*)

$$T_u = \frac{q}{4} \dots \dots \dots (3-124)$$

Dimana:

Tu : torsi balok

Q : berat balok

$$\sigma_{ijin} = \frac{f_y}{1,5} \dots \dots \dots (3-125)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Tu}{\pi \times \sigma}} \dots \dots \dots (3-126)$$

Dimana:

f'c : mutu beton

SF : angka keamanan (*Safety Factor*)

B : lebar balok pracetak

h : tinggi balok pracetak

Mu : momen *ultimate*

2. Kontrol Tulangan Angkat

$$\sigma_{\text{pelat}} < \sigma_{\text{ijin}} \dots \dots \dots (3-127)$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = \frac{0,7 \times \sqrt{f_c}}{SF} \dots \dots \dots (3-128)$$

Dimana:

f'c : mutu beton

SF : angka keamanan (*Safety Factor*)

3.9.2.4 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Pracetak

Panjang penyaluran yang diperlukan harus mencukupi untuk tulangan pelat, baik sebelum maupun setelah komposit. Penentuan panjang penyaluran ini mengacu pada SNI 2847:2013 Pasal 12.5, yang diuraikan sebagai berikut:

$$l_{dh} = 8 \times D_b \dots \dots \dots (3-129)$$

$$l_{hb} = \frac{100 \times D_b}{\sqrt{f_c}} \times \frac{f_y}{400} \dots \dots \dots (3-130)$$

Dimana:

Db : diameter tulangan

Fy : mutu baja

F'c : mutu beton

3.9.2.5 Kontrol Lendutan Pelat

Perhitungan lendutan dilakukan untuk menentukan sejauh mana lendutan terjadi pada komposit ketika beban hidup mulai berfungsi. Metodologi perhitungan ini mengacu pada SNI 2847:2013, khususnya pada Pasal 9.5, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Lendutan Pelat Akibat Beban Mati

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai lendutan pelat pracetak akibat beban mati.

$$y_t = \frac{h}{2} \dots \dots \dots (3-131)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots \dots \dots (3-132)$$

$$f_r = 0,62 \sqrt{f_c} \dots \dots \dots (3-133)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} \dots\dots\dots (3-134)$$

$$M_a = M_d = \frac{1}{8} \times q \times l^2 \dots\dots\dots (3-135)$$

$$M_{cr} > M_a \dots\dots\dots (3-136)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3-137)$$

$$\delta D = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E_c \times I_e} \dots\dots\dots (3-138)$$

Dimana:

h : tinggi pelat
b : lebar pelat
f'_c : mutu beton
M_d : momen beban mati
q : beban mati
l : Panjang pelat

2. Lendutan Pelat Akibat Beban Mati dan Beban Hidup

Dibawah ini merupakan perhitungan mengenai lendutan pelat pracetak akibat beban mati dan beban hidup.

$$y_t = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (3-139)$$

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \dots\dots\dots (3-140)$$

$$f_r = 0,62 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3-141)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \times I_g}{y_t} \dots\dots\dots (3-142)$$

$$M_a = M_l = \frac{1}{8} \times q \times l^2 \dots\dots\dots (3-143)$$

$$M_{cr} > M_a \dots\dots\dots (3-144)$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (3-145)$$

$$\delta D = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E_c \times I_e} \dots\dots\dots (3-146)$$

Dimana:

h : tinggi pelat
b : lebar pelat
f'_c : mutu beton
M_l : momen beban hidup
q : beban mati
l : Panjang pelat

Jadi lendutan yang terjadi pada pelat yaitu:

$$\delta L = \delta (D+L) - \delta D \dots \dots \dots (3-147)$$

Dimana:

D : beban mati
L : beban hidup

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.2.4.1.3, lendutan jangka panjang yang terjadi pada pelat dihitung berdasarkan faktor tergantung waktu, akan ditampilkan pada tabel 3.12.

Tabel 3.12 Faktor Lendutan Jangka Panjang

Durasi beban tetap (bulan)	Faktor Pengaruh Waktu (ϵ)
3	1,0
6	1,2
12	1,4
60 atau lebih	2,0

(Sumber : SNI 2847:2019, Tabel 22.2.4.1.3)

Sehingga dari tabel 3.12 didapatkan lendutan jangka panjang akibat beban hidup yang terjadi pada pelat, sebagai berikut :

$$\delta L (long term) = \delta L (short term) \times \epsilon \dots \dots \dots (3-148)$$

Lendutan izin yang disyaratkan dalam SNI 2847:2019 pasal 24.2.2 akan ditampilkan pada tabel 3.13.

Tabel 3.13 Perhitungan Lendutan Izin Maksimum

Jenis Komponen Struktur	Kondisi	Lendutan yang Diperhitungkan	Batas Lendutani
Atap datar	Tidak memikul atau tidak disatukan dengan elemen-elemen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat Lr dan R maksimum	$l/180$
Lantai		Lendutan seketika akibat L	$l/360$
Atap atau lantai	Memikul atau disatukan dengan elemen - elemen nonstruktural	Mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	$l/480$
		Tidak akan rusak akibat lendutan yang besar	$l/420$

(Sumber : SNI 2847:2019, Tabel 24.2.2)

Sehingga didapatkan lendutan izin pelat lantai sebagai berikut:

$$\delta_{izin} = \frac{l}{\text{batas lendutan}} \dots \dots \dots (3-149)$$

Dimana:

1 : Panjang pelat

$$\delta_{izin} > \delta L \text{ (long term)} \dots\dots\dots (3-150)$$

3.9.3 Penulangan Kolom

Penulangan kolom dilakukan untuk menahan momen gaya lentur, geser, dan torsi yang diharuskan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.4, 22.5, dan 22.7.

3.9.2.1 Penulangan Lentur Kolom

Setelah nilai gaya aksial dan momen yang bekerja pada struktur kolom diperoleh melalui analisis dengan SAP2000, langkah selanjutnya adalah menggunakan perangkat lunak SpColumn untuk menganalisis kolom tersebut. Proses ini akan menghasilkan informasi mengenai jumlah dan jarak tulangan lentur yang diperlukan. Penulangan kolom untuk mengatasi beban aksial tekan harus sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 pasal 22.4.

3.9.2.3 Penulangan Geser Kolom

Penulangan geser kolom dihitung berdasarkan persyaratan di SNI 2847:2019 pasal 22.5 mengenai geser.

3.9.2.3 Penulangan Torsi Kolom

Penulangan torsi kolom akan dihitung dengan mengacu persyaratan di SNI 2847:2019 pasal 22.7 mengenai torsi.

3.9.2.4 Persyaratan *Strong Column Weak Beam*

Sesuai filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2019 pasal 18.7.3 mensyaratkan kalau:

$$\sum Mn_c \geq 1,2 \sum Mn_b \dots\dots\dots (3-151)$$

Dimana:

Mn_c : momen kapasitas kolom

Mn_b : momen kapasitas balok

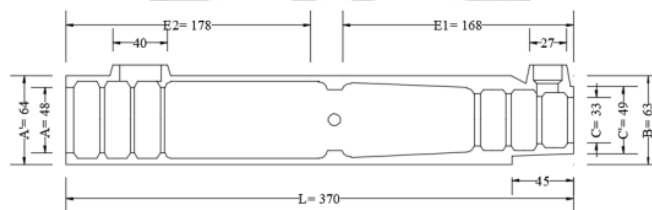
Di sini, $\sum Mn_c$ merujuk pada momen kapasitas kolom, sedangkan $\sum Mn_b$ mengacu pada momen kapasitas balok. Momen kapasitas kolom, Mn_c , ditentukan berdasarkan gaya aksial terfaktor yang menghasilkan momen lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang dianalisis, untuk memastikan terpenuhinya syarat *strong column weak beam*. Setelah jumlah tulangan kolom yang diperlukan ditentukan, langkah berikutnya adalah memastikan kapasitas kolom tersebut memenuhi kriteria *strong column weak beam*.

3.10 Perencanaan Sambungan

Pada tugas akhir ini, rencana sambungan antar tulangan dilakukan dengan memanfaatkan sambungan mekanis (*mechanical splices*) yang menggunakan produk dari *Peikko Group*, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.8, serta *NMB Splice Sleeve* yang ditampilkan pada Gambar 3.9. Mengacu pada SNI 2847:2019 Pasal 25.5.7, dinyatakan bahwa untuk memastikan kekuatan sambungan yang memadai dan mencegah kelelahan pada tulangan, sambungan mekanis harus dirancang dengan nilai 1,25 kali dari f_y tulangan.



Gambar 3.8 *Peikko Coupler*
(Sumber : Brosur *Modix Rebar Couplers*, 2022)



Gambar 3.9 *NMB Splice Sleeve*
(Sumber : Brosur *NMB Splice Sleeve*)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.2.7.1, sambungan mekanis diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yaitu:

1. Tipe 1
Sambungan mekanis yang memenuhi ketentuan pasal 25.5.7 harus memiliki kekuatan leleh minimal 1.25 kali dari f_y tulangan yang digunakan.
2. Tipe 2
Sambungan mekanis harus memenuhi syarat tipe 1 dan memiliki kekuatan tarik minimal yang setara dengan kekuatan tarik spesifikasi batang tulangan yang terhubung.

Sambungan mekanis dengan tipe 1 hanya dapat diterapkan di luar daerah sendi plastis. Di sisi lain, tipe 2 memiliki fleksibilitas untuk digunakan di mana pun sesuai dengan perencanaan yang telah ditentukan. Sambungan antar komponen pracetak tidak hanya berfungsi sebagai penyalur beban, tetapi juga mampu secara efektif mengintegrasikan komponen-komponen tersebut, sehingga struktur secara keseluruhan dapat berperilaku layaknya monolit. Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.1, sambungan daktail pada elemen pracetak yang tahan gempa harus memenuhi persyaratan tertentu berikut ini:

$$V_n \geq 2V_e \dots \dots \dots (3-152)$$

Dimana :

V_n : kekuatan geser nominal
 V_e : kekuatan geser actual

Sedangkan menurut SNI 2847:2019 pasal 18.9.2.2, *strong connection* pada elemen pracetak yang mana tahan akan gempa harus memenuhi persyaratan berikut:

$$\phi S_n \geq 1,4 S_e \dots \dots \dots (3-153)$$

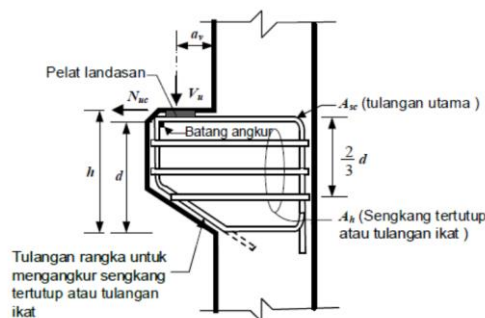
Dimana :

S_n : kekuatan lentur, geser atau aksial momen sambungan
 S_e : gaya lentur, gaya geser, dan gaya aksial pada sambungan yang terkait dengan pembentukan kuat rencana di lokasi leleh yang diharapkan

3.10.1 Sambungan Balok – Kolom

Sambungan antara balok dan kolom dapat mengoptimalkan panjang penyaluran tulangan balok. Tulangan balok akan dilanjutkan atau dihubungkan ke dalam kolom, di mana panjang penyaluran bagian bawah akan menahan tekanan, sedangkan bagian atas akan menahan tarikan. Oleh karena itu, perhitungan panjang penyaluran dilakukan dalam dua kondisi: tekan dan tarik. Pada sambungan balok-kolom, terdapat dua jenis kondisi sambungan, yaitu *single-sided connection* dan *double-sided connection*. Untuk perencanaan sambungan ini, akan digunakan produk dari *Peikko Group*, yaitu *Modix Rebar Couplers*.

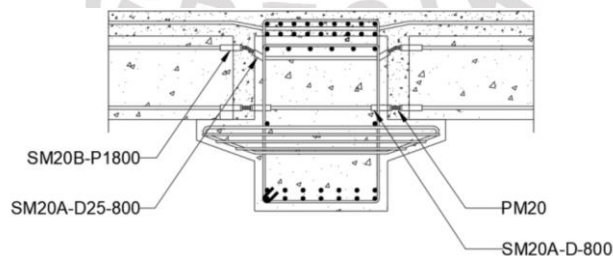
Dalam merancang sambungan balok dan kolom ini, konsol pendek digunakan sebagai penopang. Balok induk ditempatkan di atas konsol pendek pada kolom, sehingga membentuk satu kesatuan struktural. Perencanaan konsol ini mengacu pada SNI 2847:2019, pasal 16.5, yang menjabarkan ketentuan khusus untuk konsol pendek, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Parameter Geometri Konsol Pendek
(Sumber : SNI 2847:2019)

3.10.2 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Balok anak diletakkan di atas tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan yang harus mencapai sedikitnya $l/180$ kali bentang bersih komponen pelat pracetak, tetapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Hal ini juga berlaku untuk sambungan balok induk dengan tangga. Untuk memastikan integritas struktur, tulangan utama balok anak baik pada bagian atas maupun bawah sebaiknya dibuat menerus atau menggunakan kait standar, sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 pasal 8.11.3. Dalam desain sambungan antara balok induk dan balok anak, digunakan konsol pada balok induk. Untuk tulangan positif dan negatif, digunakan *Modix Coupler* yang diproduksi oleh *Peikko Group* dengan kontrol kemampuan tarik sebesar 1,25 ft. Ilustrasi sambungan antara balok dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

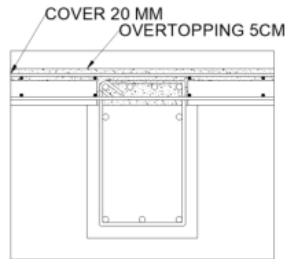


Gambar 3.11 Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak
(Sumber : Larasati, 2020)

3.10.3 Sambungan Balok – Pelat

Sambungan antara balok dan pelat dirancang menggunakan cor setempat (*topping*). Pada bagian balok dan pelat, dilakukan proses *grouting* di area tumpuan atau di bidang kontak

antara pelat pracetak dan balok pracetak. Untuk memastikan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak dapat disalurkan dengan baik ke elemen balok, pendetailan tulangan dilakukan dengan memperhatikan panjang penyaluran sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 12.



Gambar 3.12 Sambungan Balok dengan Pelat Lantai
(Sumber : Sugianto, 2020)

3.11 Perencanaan Pondasi

Dalam suatu bangunan, beban yang diterima oleh bagian atas struktur akan disalurkan ke tanah melalui bagian bawahnya, yaitu pondasi. Dalam tugas akhir ini, penulis berencana menerapkan pondasi dalam berupa tiang pancang yang menggunakan beton pracetak. Untuk menghitung daya dukung tanah vertikal, penulis akan menggunakan metode perhitungan yang dikembangkan oleh Luciano Decourt.

3.11.1 Daya Dukung Tiang Pancang Vertikal

Formula daya dukung tiang pancang vertikal yang diberikan oleh Luciano Decourt ialah:

$$Q_L = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (3-154)$$

$$Q_p = N_p + K \dots \dots \dots (3-155)$$

$$Q_s = Q_s \cdot A_s \dots \dots \dots (3-156)$$

$$Q_s = \left(\frac{N_3}{3} + 1 \right) A_s \dots \dots \dots (3-157)$$

Dimana :

- Q_L : daya dukung tanah total pada pondasi
- Q_p : daya dukung pada dasar pondasi
- Q_s : daya dukung akibat gaya lateral
- N_s : tegangan akibat gaya lateral
- N : nilai SPT

3.11.2 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang

Jumlah kebutuhan tiang pancang yang digunakan pada perencanaan apartemen ini berdasarkan pada rumus berikut:

$$n = \frac{\sum P_u}{P_{ijin}} \dots \dots \dots (3-158)$$

$$S \geq \frac{1,57 (D)_{\min} - 2D}{m+n-2} \dots \dots \dots (3-159)$$

Dimana :

- n : jumlah tiang pancang yang diperlukan

s : jarak antar tiang pancang
m : jumlah kolom
n : jumlah baris

3.11.3 Efisiensi Tiang Pancang

Daya dukung suatu tiang pancang yang beroperasi dalam suatu kelompok dapat ditentukan dengan mengalikan daya dukung satu tiang pancang dengan nilai efisiensi, yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 m n} \dots\dots\dots (3-160)$$

$$\theta = \arctg \left(\frac{D}{S} \right) \dots\dots\dots (3-161)$$

$$P_{\max} = \frac{\sum P_u}{n} + \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} + \frac{M_x Y_{\max}}{\sum y^2} \dots\dots\dots (3-162)$$

$$P_{\text{ult}} = \text{efisiensi tiang} \times P_u \text{ 1 tiang berdiri} \dots\dots\dots (3-163)$$

Dimana:

d : diameter tiang (cm)
s : jarak antar tiang (cm)
P_{max} : beban maks yang diterima oleh tiang pancang (t)
M_x : momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x
M_y : momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y
X_{max} : absis terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang
Y_{max} : ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang

3.11.4 Kontrol Kekuatan Tiang Pancang

Kontrol kekuatan tiang pancang dapat melihat rumus dibawah ini.

$$P_u \geq P_{\text{perlu}} \dots\dots\dots (3-164)$$

P_u : beban aksial

P_{perlu} : beban aksial yang diperlukan

$$P_{\text{ult}} = P_{\max} \dots\dots\dots (3-165)$$

P_{ult} : beban aksial *ultimate*

P_{max} : beban aksial *maximal*

3.11.5 Kontrol Geser Pons pada Poer

Saat merencanakan ketebalan paduan, terdapat syarat yang harus dipenuhi, yaitu kekuatan geser nominal harus lebih besar daripada kekuatan geser yang dihasilkan oleh pons. Perhitungan kekuatan geser ini berdasarkan pada SNI 2847:2019, khususnya pada pasal 22.6.5.2, yang disajikan dalam Tabel 3.14 di bawah ini.

Tabel 3.14 Perhitungan Kuat Geser Pasal 22.6.5.2

V _c	
iYang terkecil darii	0,33 λ √f' _c
	0,17 (1 + $\frac{2}{\beta}$) λ √f' _c

	$0,083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o} \right) \lambda \sqrt{f'_c}$
--	---

(Sumber : SNI 2847:2019 pasal 22.6.5.2)

Dimana :

β = rasio sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

b_o = *critical perimeter* pada *poer*

α_s = 40 (untuk kolom interior)

= 30 (untuk kolom tepi)

= 20 (untuk kolom pojok)

Ketebalan dan ukuran *poer* dikatakan memenuhi syarat terhadap geser apabila :

$$P_u < \phi V_c \dots \dots \dots (3-166)$$

P_u = beban aksial

V_c = gaya geser pada *poer*



3.12 Jadwal Kegiatan

Untuk melakukan penelitian ini penulis membuat beberapa penjadwalan kegiatan apa saja yang akan dilakukan selama waktu pengerjaan serta berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk proses pengerjaan. Dibawah ini merupakan rangkaian jadwal kegiatan:

Tabel 3.15 Jadwal Kegiatan Tugas Akhir

No.	Nama Kegiatan	Minggu ke-													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Pengumpulan Data dan Studi Literatur														
2	Penentuan Klasifikasi Kriteria Desain														
3	<i>Preliminary Design</i>														
4	Pembebanan														
5	Pemodelan dan Analisa Struktur														
6	Kontrol Desain														
7	Perencanaan Sambungan														
8	Perencanaan Pondasi														
9	Gambar														

(Sumber : Data Penulis)