

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada sub bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perancangan dan perhitungan dari struktur atas yang meliputi pelat atap, pelat lantai, balok, kolom dan tangga. Tinjauan pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perancangan yang memenuhi ketentuan bangunan yang tahan terhadap gempa. Oleh karena itu, dalam sub bab ini akan dibahas konsep pemilihan system struktur dan konsep perancangan bangunan seperti penentuan dimensi struktur, pemilihan mutu material dan pembebanan yang sesuai dengan syarat-syarat dasar perancangan gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia.

2.1.1 Preliminary Design

Bangunan gedung terdiri dari komponen struktur balok, kolom, pelat, tangga, dan fondasi. Dalam perencanaannya, diperlukan nilai-nilai koefisien dan nilai lainnya yang mendukung perencanaan. Selain itu diperlukan juga estimasi dimensi untuk setiap komponen struktur tersebut. Tata cara estimasi dimensi komponen struktur diatur dalam SNI 2847:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

a. Batasan Nilai Mutu Beton

Persyaratan untuk campuran beton didasari oleh konsep bahwa beton dirancang memiliki kekuatan dan durabilitas yang memadai. Batasan nilai mutu beton.

b. Batasan Nilai Kekuatan Leleh Tulangan

Nilai kekuatan leleh tulangan (f_y) adalah nilai tegangan yang dapat menyebabkan material meregang sangat cepat, sehingga dapat menyebabkan putusnya material pada titik tertentu jika tegangannya terlampaui. Batasan nilai kekuatan leleh untuk tulangan ulir nonprategang diatur dalam SNI 2847:2019 Tabel 20.2.2.4a.

c. Ketebalan Selimut Beton

Ketebalan selimut beton merupakan jarak antara beton terluar dengan tulangan yang digunakan pada struktur beton bertulang. Ketebalan selimut beton pada komponen struktur telah diatur dalam SNI 2847:2019 tabel 20.6.1.3.1.

d. Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Faktor reduksi kekuatan adalah nilai yang memiliki fungsi untuk memperkirakan kemungkinan kekuatan penampang tidak mencukupi karena perbedaan dimensi dan kekuatan material.

e. Faktor Modifikasi (λ)

Nilai faktor modifikasi yang digunakan dalam analisis perhitungan tulangan telah diatur dalam SNI 2847:2019 pada tabel 19.2.4.2.

f. Estimasi Dimensi Kolom

Kolom merupakan salah satu elemen struktur yang menopang beban seluruh bangunan dan meneruskannya ke fondasi.

g. Estimasi Dimensi Balok

Balok merupakan salah satu elemen struktur yang menopang beban yang berasal dari dinding dan pelat lantai. Perhitungan estimasi dimensi balok diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 9.3.1. Setelah didapatkan tinggi balok, dilakukan perencanaan dimensi lebar balok. Lebar balok dapat ditentukan dengan persamaan $2/3$ tinggi balok.

2.1.2 Penentuan Kelas Situs

a. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs adalah salah satu kriteria desain seismic yang ditentukan oleh lapisan tanah untuk menentukan amplifikasi besaran percepatan gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah pada suatu lokasi. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut yang diambil berdasarkan Tabel 5 Klasifikasi Situs pada SNI 1726:2019.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis repons spesifik-situs yang mengikuti 0)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas $PI > 20$, 2. Kadar air, $w^3 > 40\%$, 3. Kuat geser niralir $S_u < 25$ kPa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung 		

	lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa
--	---

Sumber: Tabel 5 Klasifikasi Situs pada SNI 1726:2019.

b. Kategori Risiko

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 3.28, kategori risiko adalah pengelompokan bangunan-bangunan gedung atau struktur-struktur lainnya untuk menentukan besaran beban-beban gempa berdasarkan risiko terjadinya kinerja yang tidak dapat diterima. Kategori risiko dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut yang diambil berdasarkan Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa pada SNI 1726:2019.

Bangunan dengan kategori risiko I merupakan bangunan dengan tingkat keutamaan yang paling rendah, sedangkan bangunan dengan kategori risiko II merupakan bangunan dengan tingkat keutamaan yang paling tinggi.

Tabel 2. 2 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah 	III

<ul style="list-style-type: none"> - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas Pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat <p>Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung</p>	IV

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

Sumber: Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa pada SNI 1726:2019.

c. Faktor Keutamaan Gempa

Menurut SNI 1726:2019, untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung nongedung sesuai Tabel 3 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 4. Kategori risiko dapat ditentukan menurut Tabel 2.3 berikut yang diambil berdasarkan Tabel 4 Faktor Keutamaan Gempa pada SNI 1726:2019

Tabel 2. 3 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: Tabel 4 Faktor Keutamaan Gempa pada SNI 1726:2019.

d. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik dapat dikategorikan berdasarkan besarnya nilai S_{DS} dan S_{DI} . Kategori desain seismik dapat ditentukan menurut Tabel 2.4 dan Sumber: Tabel 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek.

Tabel 2.4 yang diambil berdasarkan SNI 17:2019 Tabel 8 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan Tabel 9 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Tabel 2. 4 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber: Tabel 8 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

Tabel 2. 5 Kategori desain seismic berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 < S_{DS}$	D	D

Sumber: Tabel 9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

e. Sistem Struktur

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18, sistem struktur pada bangunan didesain agar bangunan dapat menahan dampak guncangan gempa melalui terbentuknya respons inelastis yang duktail pada komponen-komponen struktur tertentu yang dipilih. **Faktor Respons Gempa**

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.8.1.1 koefisien Responsa Seismik (C_s), harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_e}\right]} \dots\dots\dots(2.4)$$

Nilai C_s yang dihitung dengan persamaan (2.4) tidak perlu melebihi nilai berikut ini: Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.6)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.7)$$

2.1.3 Penentuan Sistem Struktur

Menurut SNI 2847:2019 pasal 4.4, sistem struktur terdiri dari komponen struktur, *joint*, dan sambungan (*connections*), yang masing-masing memiliki peran dan fungsi tersendiri. Suatu komponen struktur dapat menjadi bagian dari satu atau lebih sistem struktur, memiliki peran yang berbeda di setiap sistem struktur, dan harus memenuhi semua persyaratan pendetailan dari sistem struktur di mana komponen tersebut menjadi bagiannya.

Salah satu cara dalam menentukan sistem struktur adalah dengan menggunakan Kategori Desain Seismik. Pada SNI 2847:2019 tabel R18.2 mengatur bagian bangunan yang harus dipenuhi dalam penerapan pada bangunan gedung berdasarkan Kategori Desain Seismik.

2.1.4 Perencanaan Pembebanan Struktur

a. Beban Hidup (*Live Load*)

Menurut Pasal 4.1 SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Untuk Kriteria Minimum Terkait Dengan Bangunan, definisi dari beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban ujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup diatur dalam pasal 4.3.1 bahwa beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan pada tabel 4.3.1 SNI 1727:2020.

b. Beban Mati (*Dead Load*)

Menurut pasal 3.1 SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum Untuk Kriteria Minimum Terkait Dengan Bangunan, definisi dari beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading

gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

c. Beban Gempa

Beban Gempa (E) adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja dalam gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik maka yang diartikan dengan gempa disini ialah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa.

d. Kombinasi Pembebanan

Dalam perancangan bangunan gedung, dibutuhkan kombinasi beban untuk menganalisis beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang bekerja pada bangunan agar dapat menghasilkan bangunan yang kuat dan tahan lama terhadap gaya gaya yang bekerja.

Kombinasi beban yang digunakan pada perencanaan bangunan Fisioterapi yang mengacu pada SNI 1727:2020 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Kombinasi tersebut adalah:

2.1.5 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur secara 3 dimensi dikerjakan menggunakan aplikasi ETABS Ultimate v20.2.0. pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur bangunan secara 3 dimensi dan juga mengetahui pengaruh beban dan gaya yang bekerja pada bangunan fisioterapi. Pemodelan dilakukan dengan mengatur jenis material yang akan dilakukan terlebih dahulu, memasukkan dimensi elemen struktur yang sudah di estimasi sebelumnya serta memasukkan kombinasi beban dan gaya yang bekerja pada bangunan sesuai dengan data yang dimiliki.

2.1.6 Interpretasi *Output* Pemodelan

Luaran atau *output* pemodelan merupakan hasil yang didapat dari analisis pemodelan struktur secara 3 dimensi pada aplikasi ETABS Ultimate v20.2.0. Luaran pemodelan berisi data-data yang aksial, gaya geser serta momen yang terjadi pada elemen struktur akibat pengaruh gaya dan pembebanan yang telah dimasukkan. Data ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam perhitungan analisis struktur.

2.1.7 Perancangan Pelat Atap dan Pelat Lantai

Gedung Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan struktur pelat lantai beton bertulang pada lantai 1 dan rooftop. Dengan mengambil pelat yang terbesar dengan ukuran 4100 x 6000 mm. Denah plat Lantai dapat dilihat di Lampiran

a. Perencanaan Tebal Pelat

Pelat yang digunakan di Gedung Pusat Fisioterapi Jambi di Asumsikan setebal 130 mm.

b. Rencana Penulangan Pelat Lantai

Detail Pelat:

Ukuran Pelat	= 4.1 m x 6 m
Cek Ukuran Pelat (b)	= 1.46 < 2 (DUA ARAH)
Ukuran kolom	= 0.55 m x 0.55 m
Ukuran balok anak	= 0.35 m x 0.5 m
f'_c	= 35 Mpa
F_y	= 420 Mpa
Tebal Pelat	= 130 mm = 0.13 m
Selimut Pelat	= 20 mm
Diameter Tulangan Utama	= 12 mm

Detail Pembebanan:

$$\text{Beban Pelat} = 3.12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Plafon} = 0.11 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Pasir} = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Spesi} = 0.0021 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Keramik} = 0.24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Finishing} = 0.0042 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dead Load} = 4.28 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Live Load} = 1.92 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan beban terfaktor:

$$Q_d = 4.28 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_u = 1,2 \times 4,28 + 1,6 \times 1,92$$

$$= 8.20 \text{ kN/m}^2$$

Dalam arah Panjang

$$\begin{aligned} \text{Mol} &= \frac{8,20 \times 4,1 \times 6^2}{8} \\ &= 134.21 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mos} &= \frac{8,20 \times 6 \times 4,1^2}{8} \\ &= 86.52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Arah Memanjang

$$L2/L1 = 1.46$$

koefisien

$$\text{Negatif} = 0.61$$

$$\text{Positif} = 0.61$$

$$\text{Mu(-)} = 0,65 \times 0,61 \times 134,21$$

$$= 53.30 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu(+)} = 0,35 \times 0,61 \times 134,21$$

$$= 28.70 \text{ kNm}$$

Sisa dari lajur kolom

$$\text{Mu(-)} = 0,65 \times 0,39 \times 86,52$$

$$= 33.93 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu(+)} = 0,35 \times 0,39 \times 86,52$$

$$= 18.27 \text{ kNm}$$

Arah Memanjang

$$M_0 = 134.21 \text{ kNm}$$

$$M_+ = 0,35 \times 134,21$$

$$= 46.97 \text{ kNm}$$

$$M_- = 0,65 \times 134,21$$

$$= 87.2382 \text{ kNm}$$

Tabel 2. 6 Momen Balok dan Plat Arah Memanjang

	Negatif	Positif
Momen Balok	45.3053	24.3952
Momen Plat	7.9951	4.3050
Jumlah Balok+Plat	53.3004	28.7002
Momen Lajur tengah	33.9378	18.2742

Arah memendek

$$L2/L1 = 1.46$$

koefisien

$$\text{Negatif} = 0.61$$

$$\text{Positif} = 0.61$$

$$Mu (-) = 0,65 \times 0,61 \times 86,52$$

$$= 34.36 \text{ kNm}$$

$$Mu (+) = 0,35 \times 0,61 \times 86,52$$

$$= 18.50 \text{ kNm}$$

Sisa dari lajur kolom

$$Mu (-) = 0,65 \times 0,39 \times 86,52$$

$$= 21.87 \text{ kNm}$$

$$Mu (+) = 0,35 \times 0,38 \times 86,52$$

$$= 11.78 \text{ kNm}$$

Arah memendek

$$M_{os} = 86.52$$

$$M_{+} = 0,35 \times 86,52$$

$$= 30.28$$

$$M_{-} = 0,65 \times 86,52$$

$$= 56.23$$

Tabel 2. 7 Momen Balok dan Pelat Arah Memendek

	Negatif	Positif
Momen Balok	29.2067	15.7267
Momen Pelat	5.1541	2.7753
Jumlah Balok + Pelat	34.3608	18.5020
Momen Lajur tengah	21.8784	11.7807

Perhitungan Tulangan Pelat Arah Memanjang

Arah Memanjang

Lajur Kolom (-)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 5.1541 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0013$$

$$A_s = 132.7835 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 851.7425 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-390

Arah Memanjang

Lajur Kolom (+)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 4.3050 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0011$$

$$A_s = 110.6732 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 1021.9033 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-390

Arah Memanjang

Lajur Tengah (-)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 33.9378 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0091$$

$$A_s = 948.8419 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260.0000 \text{ mm}^2$$

$$S = 119.1951 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-100

Arah Memanjang

Lajur Tengah (+)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 18.2742 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0047$$

$$A_s = 487.4259 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 232.0298 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-200

Perhitungan Tulangan Pelat arah Memendek

Arah Memendek

Lajur Kolom (-)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 5.1541 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0013$$

$$A_s = 132.7835 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 851.7425 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-390

Arah Memendek

Lajur Kolom (+)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 2.7753 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0007$$

$$A_s = 71.0767 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 1591.2010 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-390

Arah Memendek

Lajur Tengah (-)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$$d_s = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 21.8784 \text{ kNm}$$

$$p = 0.0057$$

$$A_s = 589.5616 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 260 \text{ mm}^2$$

$$S = 191.8329 \leq 3h = 390$$

Digunakan D12-150

Arah Memendek

Lajur Tengah (+)

Diasumsikan lebar pelat = 1000 mm

$d_s = 104 \text{ mm}$

$M_u = 11.7807 \text{ kNm}$

$p = 0.0030$

$A_s = 308,7287 \text{ mm}^2$

$A_{smin} = 260 \text{ mm}^2$

$S = 366.3324 \leq 3h = 390$

Digunakan D12-350

Tabel 2. 8 Rekapitulasi Perhitungan Tulangan Pelat

	ARAH MEMANJANG				ARAH MEMENDEK			
	LAJUR KOLOM		LAJUR TENGAH		LAJUR KOLOM		LAJUR TENGAH	
	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)	M (-)	M (+)
Mu	7.9951	2.7753	33.9378	18.2742	5.1541	2.7753	21.8784	11.7807
B	0.0013	0.0011	0.0091	0.0047	0.0013	0.0007	0.0057	0.0030
AS	132.7835	948.8419	948.8419	487.4259	132.7835	71.0767	589.5616	308.7287
Asmin	280.0000	280.0000	280.0000	280.0000	280.0000	280.0000	280.0000	280.0000
S	851.7425	1021.9033	119.1951	232.0298	851.7425	1591.2010	191.8329	366.3324
DIGUNAKAN	D12-390	D12-390	D12-100	D12-200	D12-390	D12-390	D12-150	D12-350

2.1.8 Perancangan Balok

a. Syarat Dimensi Penampang

Berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), balok memiliki batasan dimensi yang telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.2, dengan ketentuan sebagai berikut:

- a) Panjang bentang bersih (l_n) harus minimal atau dapat lebih besar dari 4 kali tinggi efektif ($l_n \geq 4d$)
- b) Lebar penampang (b_w), harus memenuhi syarat setidaknya 0,3 kali tinggi penampang ($0,3h$) dan tidak kurang dari 250 mm ($b_w \geq 0,3h$ atau 250 mm)
- c) Proyeksi lebar balok yang melampaui lebar kolom penumpu tidak boleh melebihi nilai terkecil dari c_2 dan $0,75c_1$ pada masing-masing sisi kolom

b. Perencanaan Penulangan Balok berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Ketentuan perancangan Balok berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6. Berikut merupakan perancangan penulangan pada Balok berdasarkan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus:

1) Tulangan Lentur

Penyusunan analisis tulangan lentur pada balok diatur dalam standar SNI 2847:2019 pada Pasal 9. Berdasarkan pasal 9.6.1.2 menjelaskan bahwa nilai minimum dari luas penampang tulangan ($A_s \text{ min}$) harus melebihi nilai yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\text{a. } A_s \text{ min } 1 = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} b_w d$$

$$\text{b. } A_s \text{ min } 2 = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

Untuk jumlah minimum tulangan perlu disediakan setidaknya dua buah tulangan, baik di sisi atas maupun sisi bawah penampang. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung jumlah tulangan yang diperlukan:

$$As\ perlu = \frac{Mu\ tumpuan \cdot 10^6}{0,9 \cdot fy \cdot (d - (\frac{a}{2}))} \text{ atau } \frac{Mu\ Lapangan \cdot 10^6}{0,9 \cdot fy \cdot (d - (\frac{a}{2}))}$$

$$n\ (jumlah\ tulangan) = \frac{As\ perlu}{(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (diameter\ tulangan\ longitudinal)^2)}$$

$$As\ pakai = \frac{jumlah\ tulangan \cdot \pi \cdot (diameter\ tulangan\ longitudinal)^2}{4}$$

$$As\ max = \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f'c \cdot b \cdot d}{fy}$$

Berdasarkan Tabel 2.9, Nilai b1 digunakan untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen. Ketentuan mengenai nilai b1 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Nilai B1 untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

$f'c, \text{ Mpa}$	$b1$	
$17 \leq f'c \leq 28$	0,85	a)
$28 < f'c < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f'c - 28)}{7}$	b)
$f'c \geq 55$	0,65	c)

Kekuatan lentur nominal pada penampang balok termasuk pelat yang merangka dalam sambungan, dinyatakan dengan Mn pada balok (Mnb). Untuk menentukan kuat momen atau momen nominal pada balok digunakan persamaan sebagai berikut:

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - (2 \cdot Mu\ Tumpuan \cdot 10^6)}}{0,9 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot b} \text{ atau } \frac{d - \sqrt{d^2 - (2 \cdot Mu\ Lapangan \cdot 10^6)}}{0,9 \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot b}$$

$$M_n = As\ pakai \cdot fy \cdot (d - \frac{a}{2})$$

Kekuatan perencanaan dirancang dengan memperhitungkan gaya dan momen yang relevan bagi struktur khusus. Dalam merencanakan balok, kekuatan perencanaan harus memenuhi persyaratan yang diatur berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.5.1.1 yaitu sebagai berikut:

$$fM_n \geq fM_u$$

Spasi tulangan pada perencanaan balok bertujuan untuk memberikan dukungan struktural terhadap beban lentur yang dialami oleh balok. Dalam merencanakan spasi tulangan harus memenuhi persyaratan yang diatur berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 9.7.2.1 tentang spasi tulangan minimum yaitu sebagai berikut:

- a. $S_{min} \geq 25 \text{ mm}$
- b. $S_{min} \geq db$ (db : diameter tulangan longitudinal balok)
- c. $S_{min} \geq (4/3)d_{agg}$ (dagg : ...)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 24.3.2 perencanaan balok harus didasarkan juga terhadap spasi tulangan maksimum yaitu sebagai berikut:

2) Tulangan Transversal (Sengkang)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.5, disebutkan bahwa balok yang menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus harus memiliki kemampuan untuk menahan gaya geser (V_e). Gaya geser ini dihitung berdasarkan gaya – gaya yang bekerja pada bagian balok antara kedua muka joint.

Momen – momen yang memiliki arah berlawanan dan terkait dengan momen lentur maksimum yang mungkin terjadi, M_p , diasumsikan bekerja pada muka – muka joint. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.1, analisis kuat momen lentur di ujung balok (M_{pr}) ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$M_{pr} = A_s \text{ tulangan longitudinal} \cdot 1,25 \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 gambar R18.6.5 menjelaskan bahwa arah gaya geser (V_e) pada balok bergantung pada perbandingan antara beban gravitasi dan momen ujung yang menyebabkan gaya geser. Gaya geser rencana (V_e) pada balok dapat dihitung dengan berdasar pada persamaan berikut:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u \cdot l_n}{2}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, tulangan transversal sepanjang daerah yang diidentifikasi dalam pasal 18.6.4.1 harus didesain untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$ bilamana kedua a) dan b) terpenuhi:

- a. Gaya geser akibat gempa yang dihitung sesuai 18.6.5.1 mewakili setidaknya setengah kekuatan geser perlu maksimum dalam bentang tersebut.
- b. Gaya tekan aksial terfaktor P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $20A_g f'_c$

Berikut persamaan yang digunakan untuk mengecek persyaratan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2:

Gaya geser desain (V_e) = Gaya geser gempa akibat sendi plastis (V_E) + Gaya geser akibat beban gravitasi (V_G)

50% gaya geser desain = 50% x V_e

Jika persyaratan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2 tidak terpenuhi, maka nilai V_c dapat dihitung sesuai dengan persamaan yang ditulis pada pasal 22.5.5.1 sebagai berikut:

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

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 22.5.10.1, jika nilai $V_u \geq \phi V_c$, maka diperlukan tulangan transversal yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Setelah menentukan nilai V_s , diperlukan pemeriksaan terhadap batasan dimensi penampang balok dengan tujuan untuk mengetahui apakah penampang balok masih dapat memikul gaya geser yang terjadi pada balok. Pemeriksaan terhadap penampang balok dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V_s \leq 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

Apabila $V_s > 0,66 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$, maka dimensi penampang balok harus diperbesar

Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan luas tulangan geser dalam spasi (A_v):

$$A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \text{diameter sengkang}^2$$

Berdasarkan penjelasan SNI 2847:2019, daerah sendi plastis adalah panjang elemen rangka dimana pelelehan lentur diharapkan terjadi akibat perpindahan desain gempa, yang memanjang tidak kurang dari jarak h dari penampang kritis dimana pelelehan lentur berawal. Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.4 diatur bahwa daerah sendi plastis adalah:

- a. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok yang diukur dari muka kolom penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung balok
- b. Sepanjang jarak yang sama dengan dua kali tinggi balok pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur dimungkinkan terjadi sebagai akibat deformasi lateral yang melampaui perilaku elastik.

Jarak sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom penumpu, seperti yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4. Pada daerah sendi plastis balok, spasi sengkang pengekang tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a. $\frac{d}{4}$
- b. Enam kali diameter terkecil tulangan lentur utama
- c. 150 mm

2.1.9 Perancangan Kolom

a. Syarat Dimensi Penampang

Kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus memiliki batasan dimensi yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, batasan dimensi kolom harus memenuhi:

- a. Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

- b. Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4

b. Perancangan Penulangan Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

1) Desain Tulangan Longitudinal Kolom

Dalam m SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal A_{st} tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ dan tidak boleh lebih dari $0,06A_g$. Sambungan mekanis pada kolom harus memenuhi pasal 18.2.7 dan sambungan las 18.2.8. Sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan lewatan tarik dan harus dilingkupi tulangan transversal yang memenuhi 18.7.5.2 dan 18.7.5.3.

2) Tulangan Lentur

Nilai P_u dan M_u pada kolom merupakan nilai terbesar antara nilai hitungan dan nilai hasil analisis dengan aplikasi ETABS v18.11.1.1. Perhitungan nilai P_u didapatkan melalui perhitungan gaya geser terfaktor penampang (V_u) total yang bekerja pada kolom dan berat sendiri kolom. Sedangkan nilai M_u hitungan didapatkan dengan menghitung momen yang bekerja pada kolom. Analisis nilai M_{nc} dilakukan dengan menggunakan aplikasi SP COLOUMN. Pada SP COLOUMN menampilkan diagram uniaksial dan sumbu dengan arah sumbu kuat dan sumbu lemah saling tegak lurus. Dalam analisis dengan aplikasi SP COLOUMN, digunakan nilai P_u dan M_u yang bekerja pada kolom. Kemudian nilai ϕM_{nc} kemudian dibagi dengan nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ) pada kolom.

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, dijelaskan bahwa kekuatan lentur kolom harus memenuhi

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana $\sum M_{nc}$ adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah. Sedangkan M_{nb} adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

Dengan kata lain, tulangan pada kolom harus memenuhi konsep Strong Column Weak Beam. Konsep Strong Column Weak Beam merupakan konsep dimana kolom harus lebih kuat daripada balok dalam menahan gaya yang terjadi pada struktur bangunan. Konsep tersebut bertujuan agar pada saat terjadi kegagalan struktur, bagian yang runtuh pertama kali merupakan pelat dan balok, kemudian diikuti oleh kolom. Sehingga dapat memberikan waktu lebih untuk penghuni pada gedung tersebut dalam menyelamatkan diri saat terjadi kegagalan.

3) Tulangan Transversal

Pada perencanaan tulangan transversal kolom, ditentukan nilai A_{sh}/S_{bc} dengan memerhatikan persyaratan yang tercantum pada SNI 2847:2019 Tabel 18.7.5.4 Tulangan Transversal untuk Kolom-Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Nilai faktor kekuatan beton (k_f) dan faktor keefektifan pengekan (k_n) dapat dihitung melalui persamaan yang tercantum pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 sebagai berikut:

$$a. \quad k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1,0$$

$$b. \quad k_n = \frac{n_t}{n_t - 2}$$

Dimana nilai n_t merupakan jumlah batang atau bundel tulangan longitudinal di sekeliling inti kolom dengan sengkang persegi yang ditumpu secara lateral oleh sudut dari sengkang pengekan atau kait seismik.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2 bagian e), ditulis bahwa tulangan harus diatur sedemikian sehingga spasi s_x antara tulangan-tulangan longitudinal di sepanjang perimeter penampang kolom yang tertumpu secara lateral oleh sudut ikat silang atau kaki-kaki sengkang pengekan tidak boleh melebihi 350 mm.

Jarak antar tulangan transversal pada kolom telah diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, dimana spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil dari (a) hingga (c):

- a. Seperempat dimensi terkecil penampang kolom

b. Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

c. S_o , yang dihitung dengan $s_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right)$

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm.

Dalam perencanaan tulangan transversal pada kolom, digunakan persamaan berikut untuk menentukan jumlah tulangan transversal yang diperlukan:

$$\frac{A_{sh}}{s} = bc \times \frac{A_{sh}}{S_{bc}} \dots \dots \dots (2.38)$$

$$A_{sh \text{ perlu}} = \frac{A_{sh}}{s} \times s \dots \dots \dots (2.39)$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times \text{diameter sengkang}^2 \dots \dots \dots (2.40)$$

$$n = \frac{A_{sh \text{ perlu}}}{A_v} \dots \dots \dots (2.41)$$

$$A_{sh \text{ pakai}} = n \times A_v \dots \dots \dots (2.42)$$

2.1.10 Perancangan Tangga

Tangga adalah elemen struktur yang menghubungkan antar lantai pada bangunan. Perencanaan tangga perlu dilakukan dengan menentukan dimensi tangga, rencana pembebanan tangga, rencana penulangan tangga pada tumpuan dan lapangan, rencana penulangan balok bordes tangga, serta perencanaan fondasi tangga. Berikut merupakan persamaan yang digunakan dalam perencanaan dimensi tangga:

$$\text{Jumlah anak tangga} = \frac{H_{et}}{o} \dots \dots \dots (2.43)$$

$$\text{Lebar tangga} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{H_{et}}{o} - 1\right) \times A \dots \dots \dots (2.44)$$

$$\text{Sudut kemiringan tangga} = \text{arc tan} \left(\frac{o}{A}\right) \dots \dots \dots (2.45)$$

a. Rencana Pembebanan Tangga

Perencanaan pembebanan yang bekerja pada tangga dibedakan menjadi perencanaan beban mati yang bekerja pada tangga (Q_{tg}) dan perencanaan beban yang bekerja pada bordes tangga (Q_{bd}) serta beban hidup yang bekerja pada tangga.

b. Perencanaan Penulangan Tangga

Setelah analisis beban tangga dilakukan, diperlukan analisis momen dan gaya geser yang bekerja pada pelat tangga. Nilai momen (M_u) dan gaya geser (V_u) yang digunakan merupakan nilai yang terbesar dari persamaan berikut:

$$M_u = 1,4 M_{DL} \dots \dots \dots (2.48)$$

$$M_u = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \dots \dots \dots (2.49)$$

$$V_u = 1,4 DL \dots \dots \dots (2.50)$$

$$V_u = 1,2 DL + 1,6 LL \dots \dots \dots (2.51)$$

Pada perencanaan penulangan tangga nilai momen M_u pada tumpuan dikali 0,5 sedangkan pada lapangan dikali 0,8. Hal tersebut dikarenakan gaya yang bekerja pada bagian lapangan lebih besar dari pada tumpuan

c. Penulangan Balok Bordes Tangga

Pada perencanaan penulangan balok bordes tangga, Langkah yang dilakukan sama dengan yang telah dijelaskan dalam subbab 2.1.8.b

d. Perencanaan Fondasi Tangga

Perencanaan fondasi tangga, dilakukan analisis pembebanan terlebih dahulu seperti yang dilakukan pada subbab 2.1.10.a. Berat jenis tanah (γ_{tanah}) merupakan perbandingan antara butir tanah dengan berat jenis air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperature tertentu. Eksentrisitas (e) adalah beban terpusat yang bekerja pada jarak tertentu dari pusat pondasi. Selanjutnya melakukan perhitungan tegangan maksimum yang bekerja pada tanah (σ_{netto}). Berikut persamaan yang digunakan dalam menentukan daya dukung ijin yang bekerja pada tanah:

$$\gamma_{tanah} = \frac{\gamma_{dx}(1+w)}{100\%} \dots \dots \dots (2.52)$$

$$e = \frac{0,5 \times M_u}{Q_{tg}} \dots \dots \dots (2.53)$$

$$\sigma_{netto} = \sigma_{tanah} - ((d-h) \times \gamma_{tanah}) - (h-\gamma_{beton}) \dots \dots \dots (2.54)$$

$$Q_{tg} \leq Q_{tg} \times e \leq \sigma_{Max} = B + B2 \dots \dots \dots (2.55)$$

$$Q_{tg} \leq Q_{tg} \times e \leq \sigma_{Min} = B - B2 \dots \dots \dots (2.56)$$

Sebagai acuan bahwa tanah mampu menahan tegangan yang bekerja pada fondasi adalah Jika nilai σ_{Max} lebih kecil dari nilai σ_{Netto} . Nilai beban yang

bekerja pada fondasi didapat dari momen yang bekerja pada penulangan tangga.

e. Rencana Penulangan Fondasi Tangga

Dalam Penulangan fondasi tangga, digunakan momen terfaktor pada penampang (M_u) dan geser terfaktor penampang (V_u) untuk dapat mengetahui kebutuhan tulangan yang akan digunakan. Berikut persamaa untuk menghitung M_u dan V_u :

$$M_u = \frac{1}{2} \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b t g \right)^2 \dots\dots\dots(2.57)$$

$$V_u = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \left(\frac{B}{2} + e - \frac{1}{2} b t g \right) \dots\dots\dots(2.58)$$

Pada perencanaan penulangan pondasi tangga, cara yang dilakukan sama dengan perencanaan penulangan plat pada sub bab 2.1.7.c

2.2 Perancangan Struktur Atas

2.2.1 Preliminary Design

- Nama bangunan : Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi
- Lokasi : Jl. Soekarno – Hatta, Jambi
- Luas bangunan : 10.562 m²
- Jumlah tingkat : 3 lantai
- Tinggi bangunan : 12 m
- Ø tulangan lentur pelat atap : 12 mm
- Ø tulangan susut pelat atap : 12 mm
- Ø tulangan lentur pelat lantai : 12 mm
- Ø tulangan susut pelat lantai : 12 mm
- Ø tulangan lentur balok : 19 mm
- Ø tulangan sengkang balok : 10 mm
- Ø tulangan lentur kolom : 19 mm
- Ø tulangan sengkang kolom : 16 mm

a) Nilai Mutu Beton ($f'c$)

Batasan nilai $f'c$ pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi digunakan beton dengan nilai $f'c$ 35 Mpa untuk balok (balok induk dan balok anak) dan kolom (kolom utama dan kolom praktis), serta $f'c$ 25 Mpa untuk pelat lantai dan pelat atap.

b) Nilai Kekuatan Leleh Tulangan (F_y)

Batasan maksimal nilai F_y untuk tulangan lentur dan susut pada sistem seismik khusus adalah 420 Mpa, sehingga pada perencanaan pelat (pelat lantai dan pelat atap) digunakan tulangan dengan nilai F_y 420 Mpa.

Batasan maksimal nilai F_y untuk tulangan longitudinal dan transversal pada sistem seismik khusus adalah 420 Mpa, sehingga pada perencanaan balok (balok induk dan balok anak) digunakan tulangan dengan nilai F_y 420 Mpa untuk tulangan longitudinal dan F_y 280 Mpa untuk tulangan transversal.

Sedangkan batasan maksimal nilai F_y untuk tulangan longitudinal dan transversal pada sistem seismik khusus adalah 420 Mpa, sehingga pada perencanaan kolom (kolom utama dan kolom praktis) digunakan tulangan dengan nilai F_y 280 Mpa untuk tulangan longitudinal dan transversal.

c) Ketebalan Selimut Beton

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi ini menggunakan selimut beton dengan ketebalan 20 mm untuk pelat lantai dan pelat atap, dan digunakan selimut beton dengan ketebalan 40 mm untuk kolom utama dan kolom praktis serta balok induk dan balok anak.

d) Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

Pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi direncanakan pelat lantai yang dapat menahan gaya momen, aksial, geser, dan torsi, sehingga digunakan nilai faktor reduksi kekuatan sebesar 0,75.

e) Faktor Modifikasi (λ)

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi ini digunakan nilai faktor modifikasi (λ) sebesar 1.

f) Estimasi Dimensi Kolom

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan dengan jumlah tingkat sebanyak 3 lantai sehingga perencanaan kolom pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan 3 jenis kolom utama yang berdimensi 550 x 550 mm dan 3 jenis kolom praktis dengan dimensi sebesar 450 x 450 mm.

g) Estimasi Dimensi Balok Induk

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan balok induk dengan panjang bentang 6 meter dan kondisi perlekatan menerus satu sisi. Tinggi minimum balok nonprategang dengan perlekatan menerus satu sisi dapat ditentukan dengan persamaan $l/18,5$. Berikut merupakan perhitungan tinggi balok:

$$h_{min} = \frac{l}{18,5} = \frac{6000}{18,5} = 324,3243 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = 600 \text{ mm}$$

Perhitungan lebar balok dilakukan berdasarkan acuan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2. Pada perencanaan balok digunakan selimut beton dengan ketebalan 40 mm, selain itu digunakan tulangan longitudinal dengan diameter 19 mm dan tulangan transversal dengan diameter 10 mm.

$$b_w = \frac{2}{3} \times h$$

$$= \frac{2}{3} \times 324,3243$$

$$= 216,2162 \text{ mm}$$

$$b_w \text{ pakai} = 400 \text{ mm}$$

Maka, pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi digunakan balok induk dengan dimensi 600/400 mm.

h) Estimasi Dimensi Balok Anak

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan balok anak dengan panjang bentang 6 meter dan kondisi perlekatan menerus dua sisi. Tinggi minimum balok nonprategang dengan perlekatan menerus dua sisi dapat ditentukan dengan persamaan $l/21$. Berikut merupakan perhitungan tinggi balok:

$$h_{\min} = \frac{\ell}{21} = \frac{6000}{21} = 285,7143 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pakai}} = 500 \text{ mm}$$

Perhitungan lebar balok dilakukan berdasarkan acuan SNI 2847:2019 pasal 18.6.2. Pada perencanaan balok digunakan selimut beton dengan ketebalan 40 mm, selain itu digunakan tulangan longitudinal dengan diameter 19 mm dan tulangan transversal dengan diameter 10 mm.

$$b_w = \frac{2}{3} \times h$$

$$= \frac{2}{3} \times 285,7143$$

$$= 190,476 \text{ mm}$$

$$b_w \text{ pakai} = 350 \text{ mm}$$

Maka, pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi digunakan balok anak dengan dimensi 500/350 mm.

2.2.2 Penentuan Kelas Situs

a) Klasifikasi Situs

Data yang diperoleh melalui pengujian pengeboran (*Standard Penetration Test*) dan Pengujian Distribusi Ukuran Butiran untuk mengklasifikasikan situs. Melalui perhitungan, nilai N rerata didapatkan melalui hasil pembagian total kedalaman dibagi dengan D/Nv total. Untuk D/Nv merupakan hasil pembagian antara kedalaman dengan jumlah pukulan (Nv). Berikut merupakan hasil perhitungan antara N rerata yang tercantum dalam Tabel 2.10 untuk BH-1 dan Tabel 2.11 untuk BH-2.

Tabel 2. 10 Perhitungan N Rerata

Boring Number	BH - 1			
NO	KEDALAMAN	D (m)	Nv (SPT)	D/Nv
1	0 - 2	2	7	0,2857

2	2 - 4	2	37	0,0541
3	4 - 6	2	39	0,0513
4	6 - 8	2	41	0,0488
5	8 - 10	2	43	0,0465
6	10 - 12	2	45	0,0444
7	12 - 14	2	45	0,0444
8	14 - 16	2	49	0,0408
9	16 - 18	2	51	0,0392
10	18 - 20	2	53	0,0377
11	20 - 22	2	55	0,0364
12	22 - 24	2	58	0,0345
13	24 - 26	2	60	0,0333
14	26 - 28	2	60	0,0333
15	28 - 30	2	60	0,0333
16	30 - 32	2	60	0,0333
17	32 - 34	2	60	0,0333
18	34 - 36	2	60	0,0333
19	36 - 38	2	60	0,0333
20	38 - 40	2	60	0,0333
	JUMLAH	2		1,03051
			N Rerata	38,8156

Berdasarkan Parameter data BH – 1 menunjukkan *SD* (Tanah Sedang)

Tabel 2. 11 Perhitungan N Rerata

Boring Number	BH – 2			
NO	KEDALAMAN	D (m)	Nv (SPT)	D/Nv
1	0 - 2	2	8	0,2500
2	2 - 4	2	34	0,0588
3	4 - 6	2	34	0,0588
4	6 - 8	2	39	0,0513
5	8 - 10	2	42	0,0476
6	10 - 12	2	45	0,0444
7	12 - 14	2	48	0,0417
8	14 - 16	2	52	0,0385
9	16 - 18	2	52	0,0385
10	18 - 20	2	55	0,0364
11	20 - 22	2	58	0,0345
12	22 - 24	2	60	0,0333
13	24 - 26	2	60	0,0333
14	26 - 28	2	60	0,0333
15	28 - 30	2	60	0,0333
16	30 - 32	2	60	0,0333
17	32 - 34	2	60	0,0333
18	34 - 36	2	60	0,0333
19	36 - 38	2	60	0,0333
20	38 - 40	2	60	0,0333

	JUMLAH	2		1,00043
			N Rerata	39,9829

Berdasarkan Parameter data BH – 2 menunjukkan **SD (Tanah Sedang)**

Dari Tabel 2.10 dan Tabel 2.11, didapatkan nilai N rerata sebesar 38,8156 untuk BH – 1 dan 39,9829 untuk BH – 2. Berdasarkan Tabel 2.7 Klasifikasi Situs yang didasarkan SNI 1726:2019, menjelaskan bahwa nilai N rerata berada di rentang 15 sampai 50 dapat diklasifikasikan sebagai **SD (tanah sedang)**. Oleh karena itu, klasifikasi situs pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi dapat diklasifikasikan sebagai **SD (tanah sedang)**.

b) Kategori Risiko

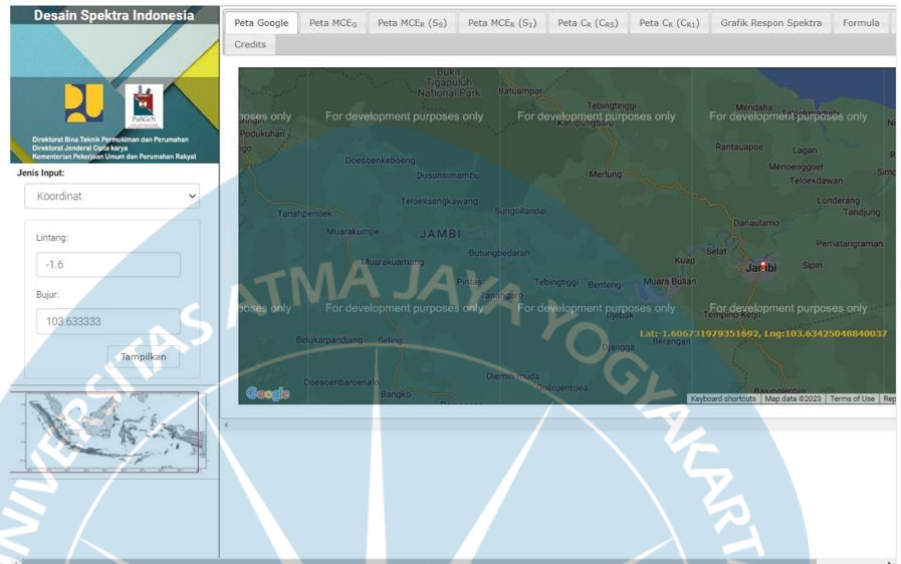
Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan yang memiliki fungsi sebagai bangunan fasilitas kesehatan (fasilitas untuk fisioterapi). Berdasarkan Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan dan nongedung untuk beban gempa yang sesuai dengan SNI 1726:2019, menjelaskan bahwa bangunan yang memiliki kategori risiko III adalah gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk bioskop, gedung pertemuan, stadion, fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, fasilitas penitipan anak, penjara, dan bangunan untuk orang jompo. Dikarenakan Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, maka bangunan ini dapat diklasifikasikan sebagai bangunan dengan kategori risiko III.

c) Faktor Keutamaan Gempa

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan dengan kategori risiko III. Berdasarkan Tabel 2.3 tentang Faktor Keutamaan Gempa, bangunan yang berkategori risiko III ini memiliki faktor keutamaan gempa dengan I_e sebesar 1,25. Oleh karena itu, Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi memiliki nilai Faktor Keutamaan Gempa atau I_e sebesar 1,25.

d) Spektrum Gempa

Spektrum gempa pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi ditentukan melalui Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021 yang dikeluarkan oleh PuSGeN, DBTPP, Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR. Hasil analisis didapatkan dengan memasukkan lokasi dan kelas tanah sesuai dengan Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021

Berikut merupakan hasil analisis spektrum gempa di Jambi dengan kelas situs Tanah Sedang (*SD*) beserta tabel hasil analisis yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan grafik respon spektrum yang dapat dilihat pada Gambar 2.2:

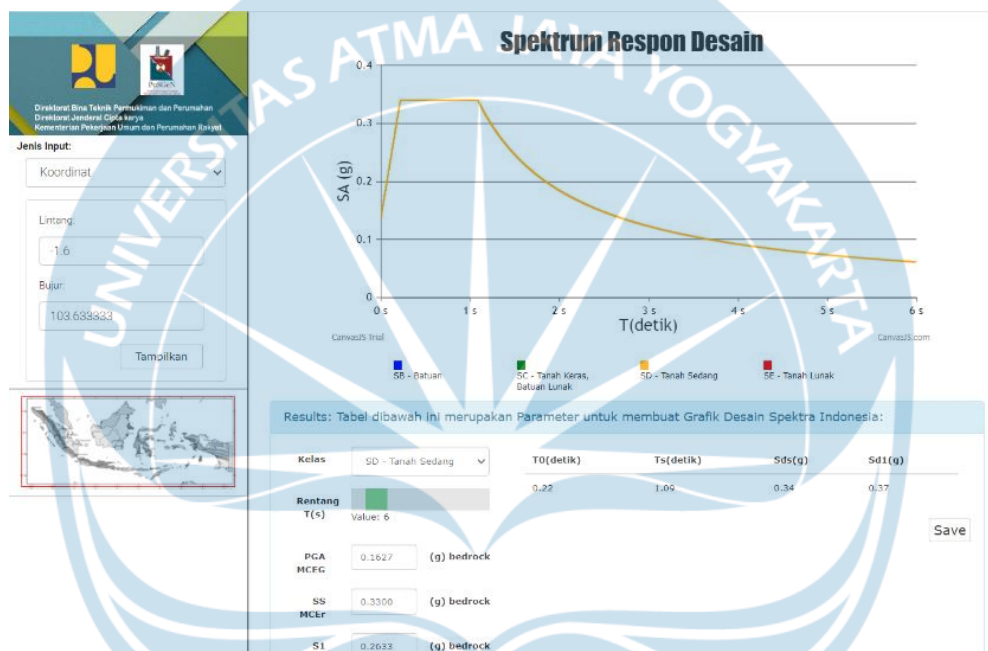
Nama Kota	: Jambi
Bujur / <i>Longitude</i>	: 103,6333 Degrees
Lintang / <i>Latitude</i>	: -1,6000 Degrees
Kelas Situs	: Tanah Sedang (<i>SD</i>)
PGA	: 0,1627 g
Ss	: 0,3300 g

S1 : 0,2633 g
 TL : 20 detik
 Fa : 1,536
 Fv : 1,8734
 S_{DS} : 0,3379 g
 SD1 : 0,3288 g
 T0 : 0,22 detik
 Ts : 1,09 detik

Tabel 2. 12 Hasil Analisis Spektrum Gempa di Jambi dengan Kelas Situs Tanah Sedang (SD) Melalui ETABS Ultimate 20.2.0

Time (sec)	Value (g)
0,0000	0,1352
0,1946	0,3379
0,9731	0,3379
1,2000	0,2740
1,4000	0,2349
1,6000	0,2055
1,8000	0,1827
2,0000	0,1644
2,5000	0,1315
3,0000	0,1096
3,5000	0,0940
4,0000	0,0822
4,5000	0,0731
5,0000	0,0658
5,5000	0,0598
6,0000	0,0548
6,5000	0,0506
7,0000	0,0470

7,5000	0,0438
8,0000	0,0411
8,5000	0,0364
9,0000	0,0325
9,5000	0,0291
10,000	0,0263



Gambar 2. 2 Grafik Spektrum Gempa di Jambi dengan Kelas Situs Tanah Sedang (SD)

e) Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik dapat dikategorikan berdasarkan besarnya nilai SDS dan SD1. Nilai SDS dan SD1 yang diperoleh melalui hasil analisis dengan menggunakan aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021.

Untuk nilai SDS yang didapatkan adalah 0,622485 g, sedangkan nilai SD1 sebesar 0,495229 g. Berdasarkan tabel kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek yang dapat dilihat pada Tabel 2.10, nilai 0,50 SDS dengan kategori risiko IV merupakan bangunan dengan kategori desain seismik D. Sedangkan untuk nilai SD1, berdasarkan SNI

1726:2019 tabel kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik yang dapat dilihat pada Sumber : Tabel 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek, nilai 0,20 SD1 dengan kategori risiko IV merupakan bangunan dengan kategori desain seismik D. Oleh karena itu, Gedung Museum Gempa Yogya 2006 merupakan bangunan dengan Kategori Desain Seismik D.

f) Sistem Struktur

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan sistem pemikul gaya seismik dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12 Faktor R, W, dan Cd untuk sistem pemikul gaya, bangunan dengan sistem rangka beton bertulang pemikul momen khusus yang memiliki nilai R sebesar 8, W sebesar 3, dan nilai Cd sebesar 5,5.

g) Faktor respons gempa

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi memiliki nilai SDS yang diperoleh melalui aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021 sebesar 0,3379 g. Maka, koefisien respons seismik (C_s) dapat ditentukan melalui persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,3379}{\frac{8}{1,25}} \\ &= 0,0528 \end{aligned}$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 2.4 tidak perlu melebihi nilai C_s yang dihitung menggunakan persamaan 2.5. Dikarenakan nilai T didapatkan sebesar 0,672 dan nilai TL sebesar 20, maka untuk $T < TL$ digunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{SD1}{T x (\frac{R}{I_e})} \\ &= \frac{0,3288}{0,672 x (\frac{8}{1,25})} \\ &= 0,0765 \end{aligned}$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,01$$

$$= 0,044 \times 0,3379 \times 1,25 \geq 0,01$$

$$= 0,0186 \geq 0,01$$

Maka nilai C_s yang digunakan adalah 0,0186

2.2.3 Penentuan Sistem Struktur

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan yang memiliki Kategori Desain Seismik. Bagian Pasal 18 yang harus dipenuhi dalam Penerapan pada Umumnya, bangunan dengan Kategori Desain Seismik D memiliki komponen yang menahan pengaruh gempa berupa komponen sistem rangka pemikul momen, dimana dalam perancangannya harus memperhatikan pasal 18.6 hingga pasal 18.9.

2.2.4 Perencanaan Pembebanan Struktur

a) Rencana Pembebanan Pelat Atap

Sebelum melakukan perhitungan struktur pada pelat atap pertama-tama kita harus menganalisa terlebih dahulu beban apa saja yang ada di atas pelat. Beban hidup dan beban mati untuk pelat telah diatur dalam SNI 1727:2013. Sedangkan beban mati dapat dihitung melalui jumlah beban sendiri plat, beban plafon dan lain-lain. Berat sendiri bangunan PPIUG 1983. Rencana pembebanan dapat dilihat dalam Tabel 2.13

Tabel 2. 13 Rencana Pembebanan Plat Atap

Fungsi Pelat	Macam Pembebanan	Tebal	Beban Volume	Beban Mati(D)	Beban Mati	Beban Hidup	$W_u = 1,2D+1,$
		mm	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	
Atap	Beban Sendiri	130	24	3,12			
	Beban Pasir						
	Beban ubin+spesi						
	Beban plafon			0,11			
	Lain-lain			0,0042			
Total				3,23		1,92	6,95

b) Rencana Pembebanan Pelat Lantai

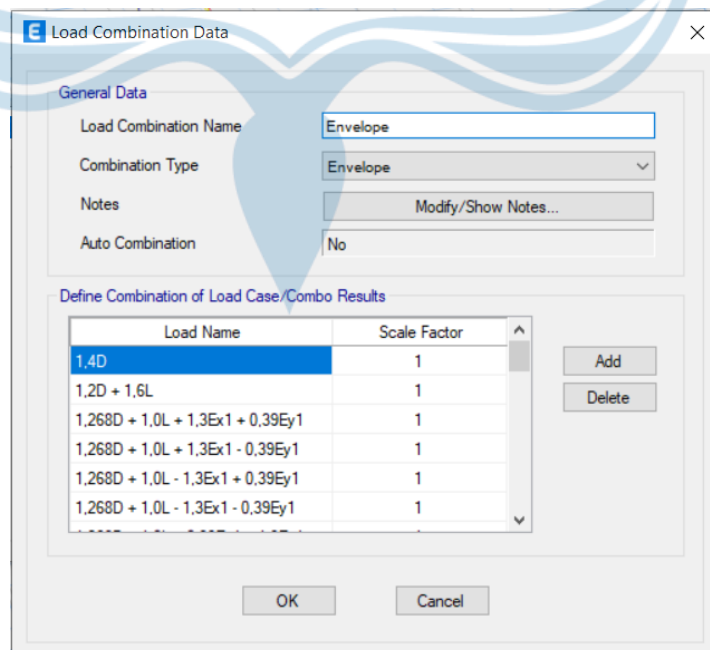
Sebelum melakukan perhitungan struktur pada pelat Lantai pertama-tama kita harus menganalisa terlebih dahulu beban apa saja yang ada di atas pelat. Beban hidup dan beban mati untuk pelat telah diatur dalam SNI 1727:2013. Sedangkan beban mati dapat dihitung melalui jumlah beban sendiri plat, beban plafon dan lain-lain. Berat sendiri bangunan PPIUG 1983. Rencana pembebanan dapat dilihat dalam Tabel 2.14

Tabel 2. 14 Rencana pembebanan pelat Lantai

Fungsi Pelat	Macam Pembebanan	Tebal	Beban Volume	Beban Mati(D)	Beban Mati	Beban Hidup	Wu=1,2 D+1,6L
		mm	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³	
Lantai	Beban Sendiri	130	24	3,12			
	Beban Pasir			0,8			
	Beban ubin+spesi			0,2421			
	Beban plafon			0,11			
	Lain-lain			0,0042			
Total				4,28		1,92	8,2

c) Rencana Pembebanan Balok

Berdasarkan perencanaan pembebanan balok pada Pusat Fisioterapi di Jambi, digunakan aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0. Kombinasi pembebanan balok yang digunakan tertera pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Pembebanan Balok dan Kolom pada ETABS Ultimate 20.2.0

d) Rencana Pembebanan Kolom

Berdasarkan perencanaan pembebanan kolom pada Pusat Fisioterapi di Jambi, digunakan aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0. Kombinasi pembebanan kolom yang digunakan tertera pada Gambar 2.3.

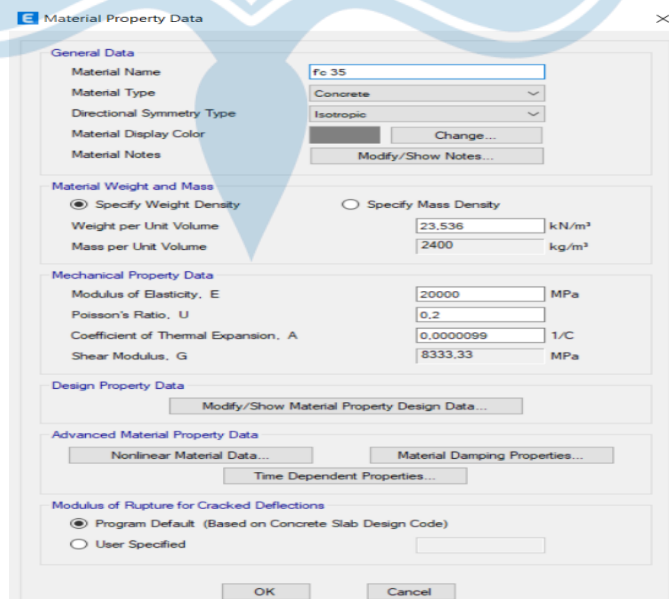
2.2.5 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi menggunakan aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0 dengan detail pengerjaan sebagai berikut:

a) Menentukan Material yang digunakan

Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi merupakan bangunan dengan struktur beton bertulang. Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi direncanakan menggunakan beton dengan mutu $f_c' 35$ Mpa untuk elemen balok, elemen kolom, elemen plat dan elemen tangga. Untuk besi baja dengan profile IWF yang digunakan dalam perancangan kuda-kuda, digunakan baja polos dengan mutu baja $f_y 240$ Mpa dan $f_u 370$ Mpa.

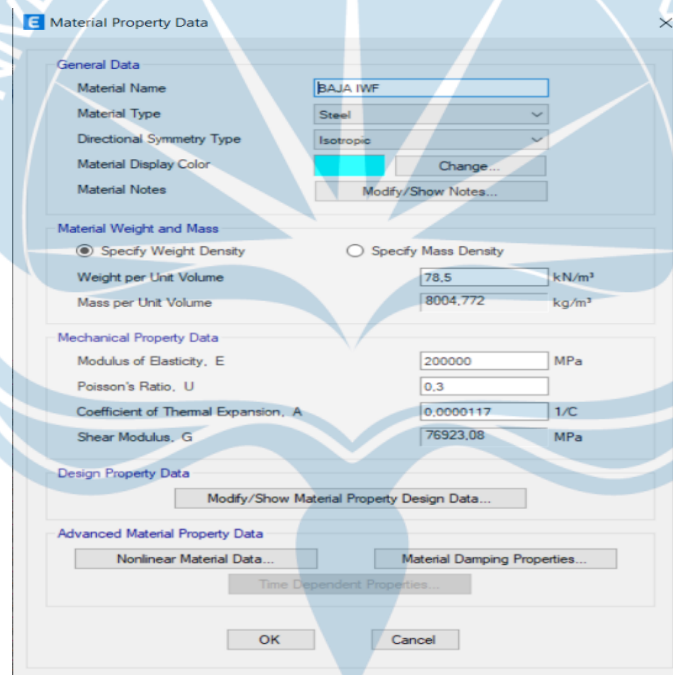
Setelah penentuan jenis material dilakukan, input material pada aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0 sesuai dengan parameter dan data yang sesuai dengan mutu material tersebut. Untuk material beton dengan mutu $f_c' 35$ Mpa dapat dilihat pada Gambar 2.4 . Untuk material besi baja dengan profil IWF dapat dilihat pada Gambar 2.5.



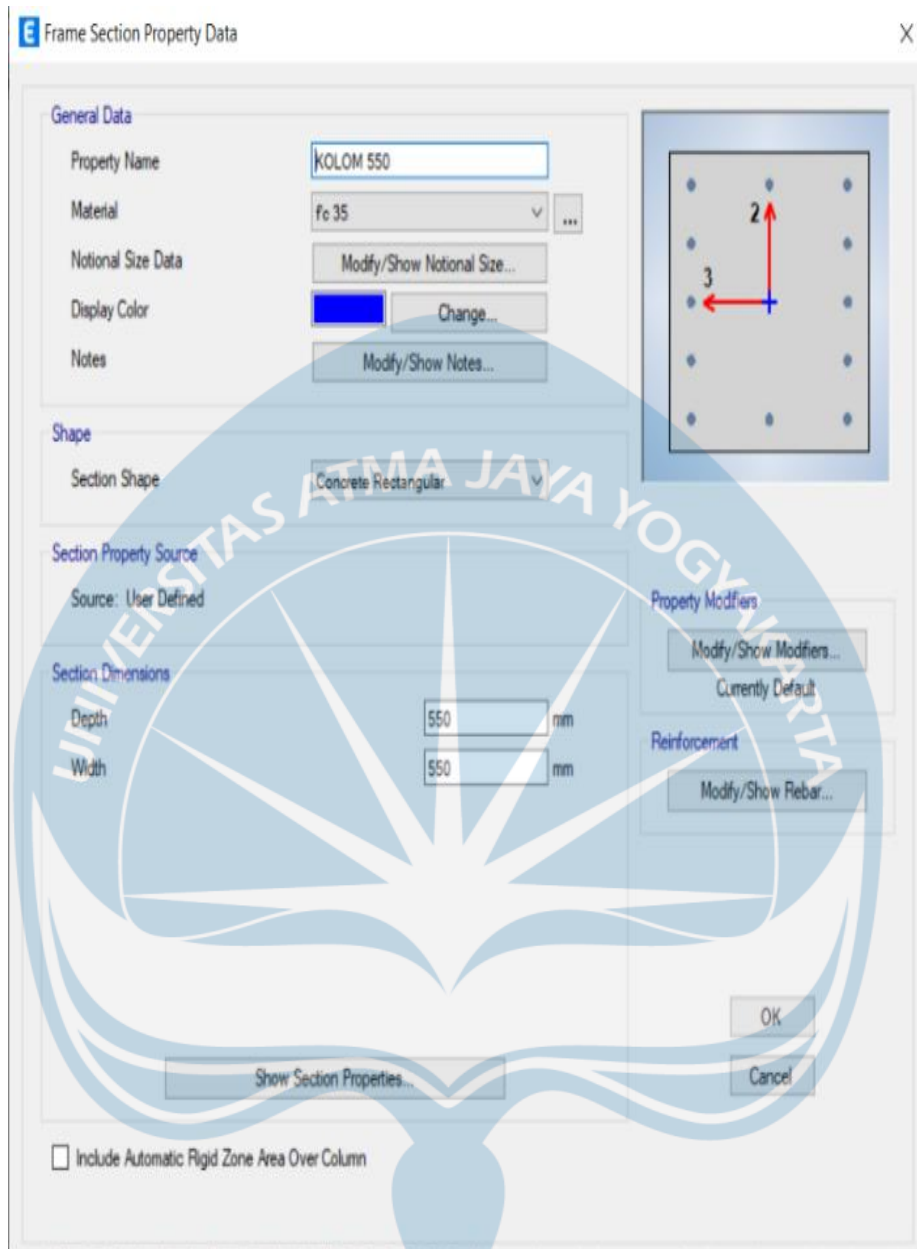
Gambar 2. 4 Material beton bertulang dengan mutu $f_c' 35$ Mpa

b) Menentukan Dimensi Elemen Struktur

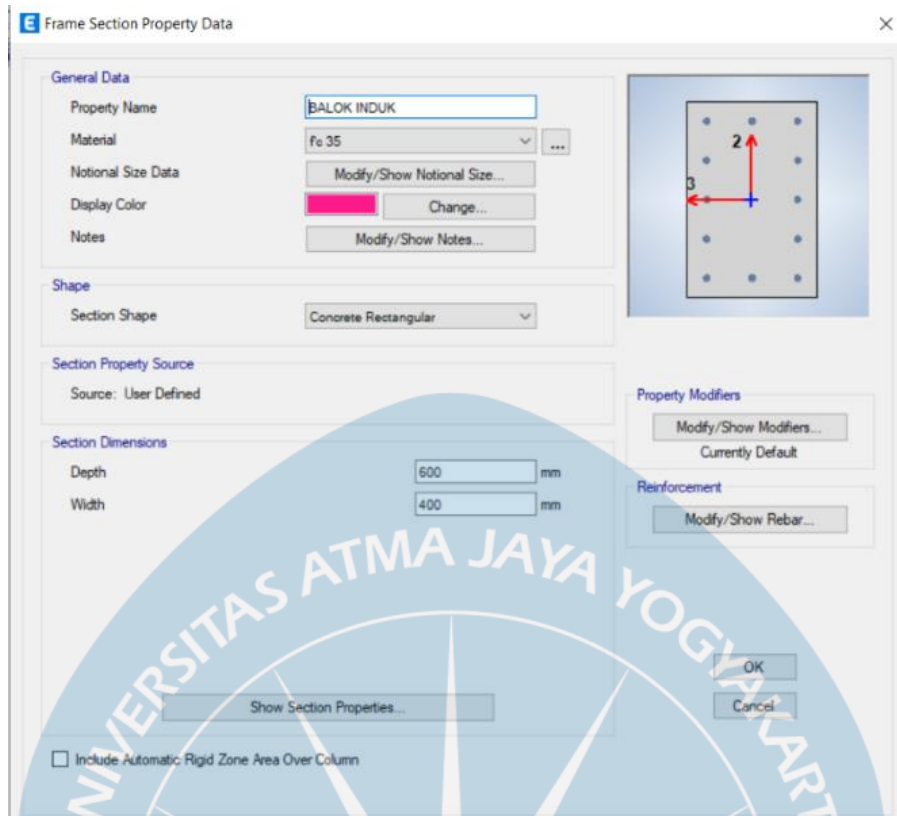
Penentuan dimensi elemen struktur dilakukan setelah menentukan material yang akan digunakan. Setelah penentuan jenis material dilakukan, input dimensi pada aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0. Dimensi elemen kolom utama dapat dilihat pada Gambar 2.6, untuk dimensi elemen balok induk dapat dilihat pada Gambar 2.7, untuk dimensi elemen balok anak dapat dilihat pada Gambar 2.8, untuk dimensi elemen pelat atap dapat dilihat pada Gambar 2.9, untuk dimensi elemen pelat lantai dapat dilihat pada Gambar 2.10, sedangkan untuk dimensi elemen pelat tangga dapat dilihat pada Gambar 2.11. Untuk dimensi elemen besi baja dengan profil IWF dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 5 Material besi baja dengan profile IWF



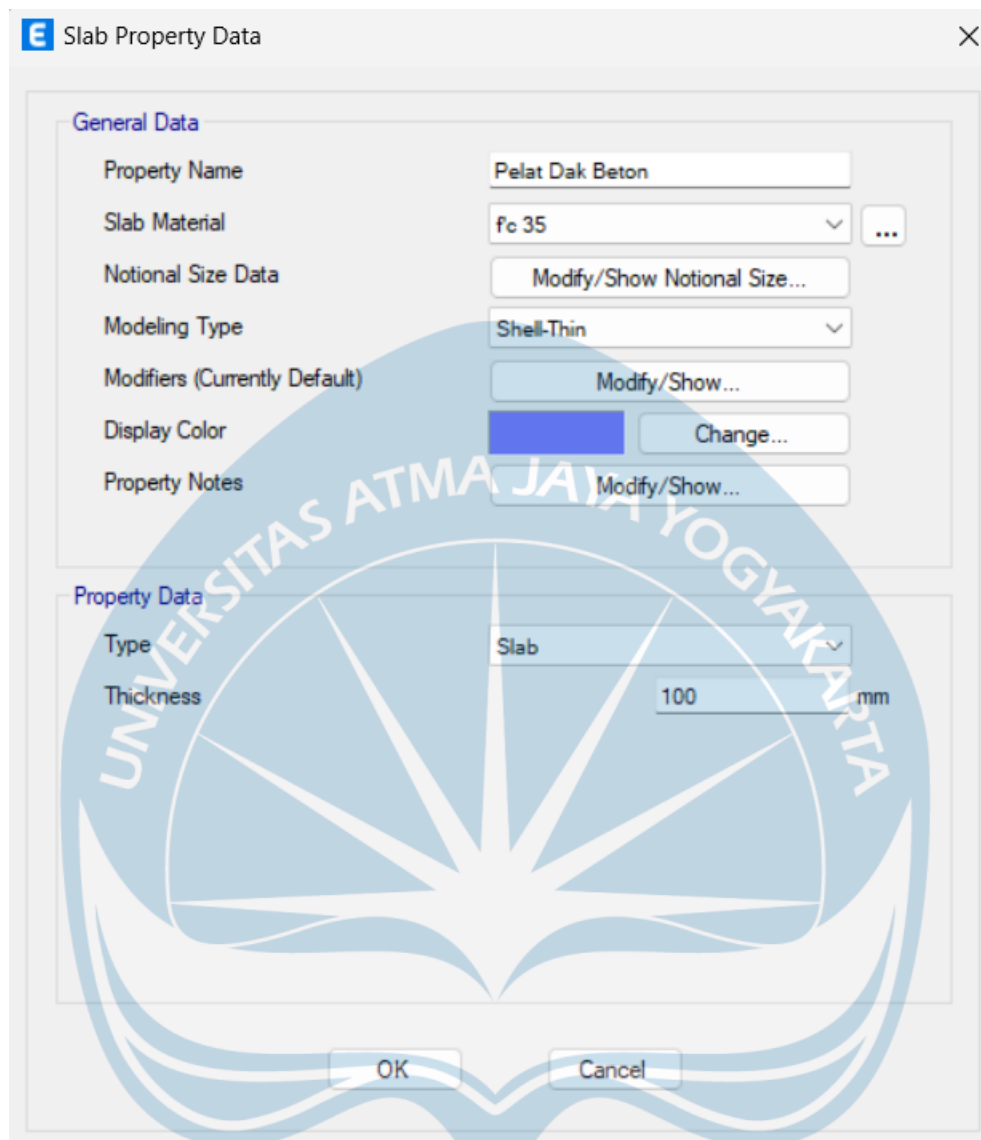
Gambar 2. 6 Dimensi Kolom Utama



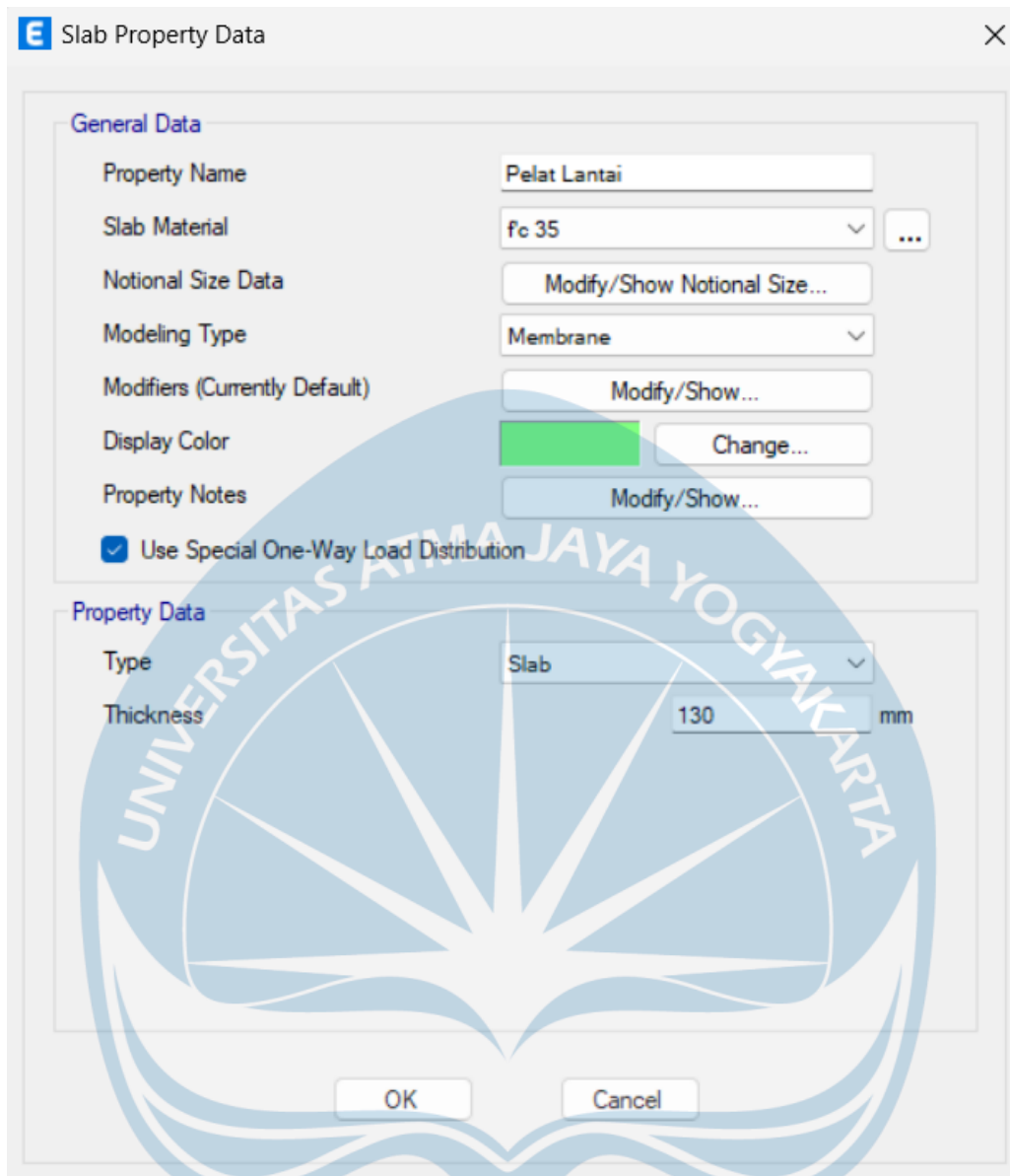
Gambar 2. 7 Dimensi Balok Induk



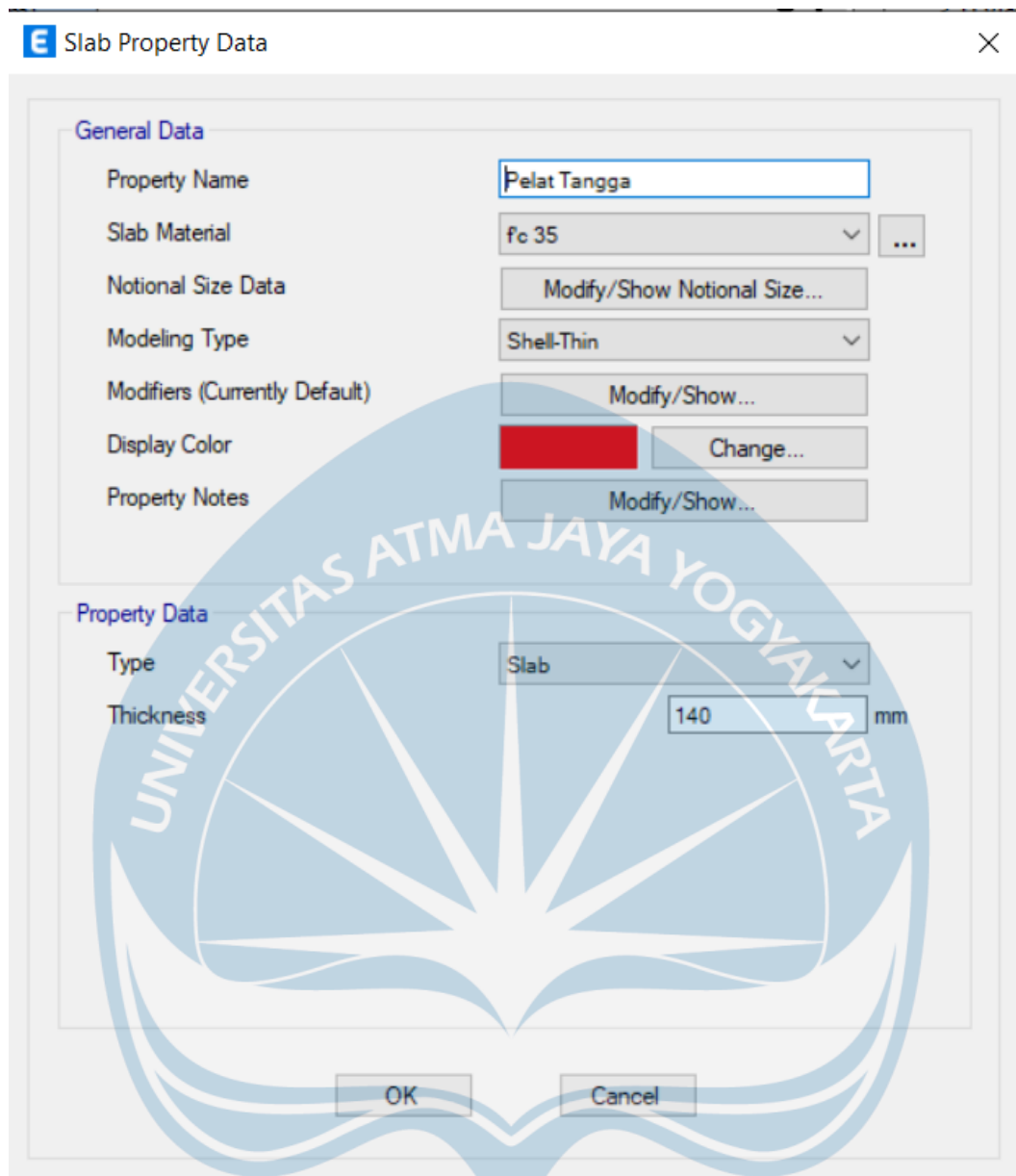
Gambar 2. 8 Dimensi Balok Anak



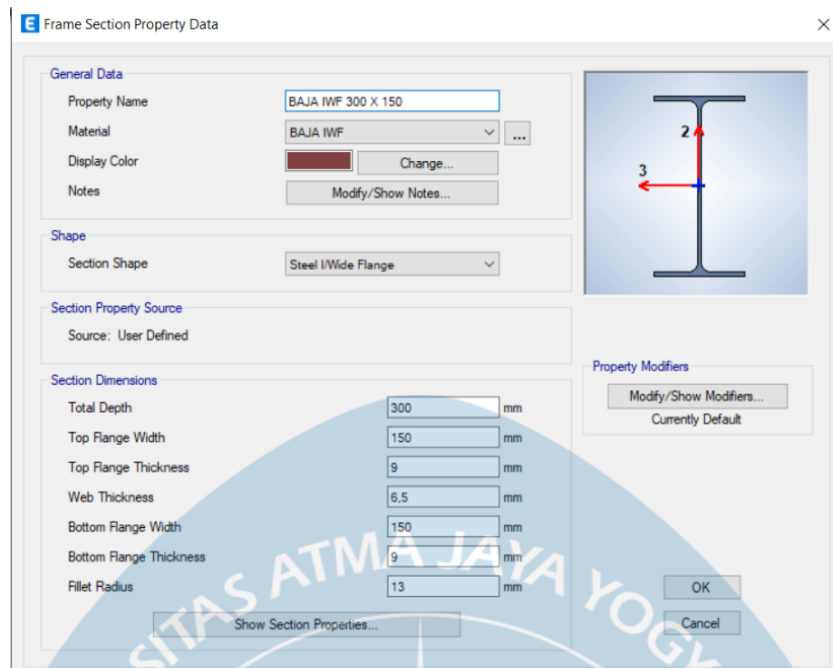
Gambar 2. 9 Dimensi Pelat Atap



Gambar 2. 10 Dimensi Pelat Lantai



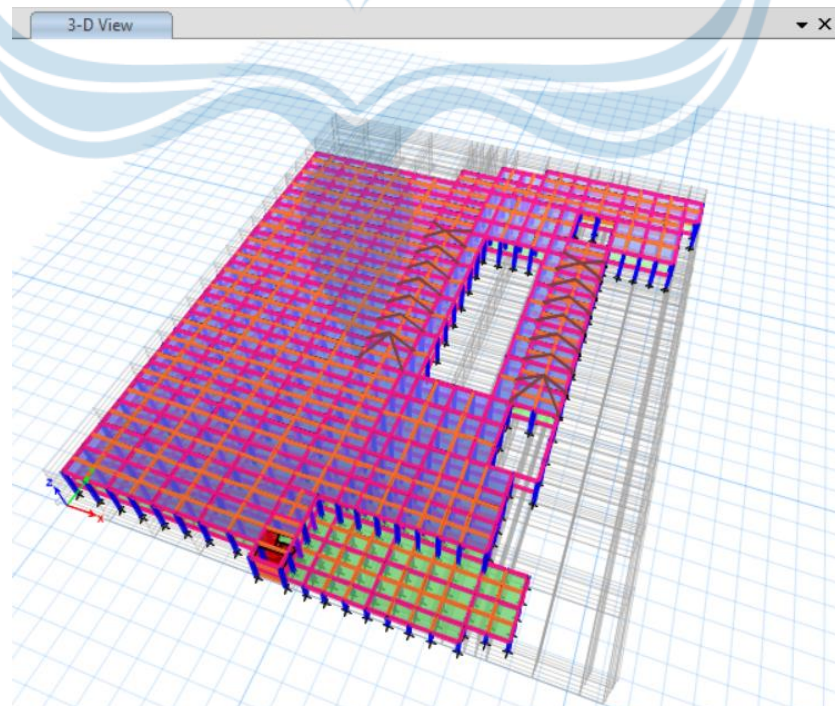
Gambar 2. 11 Dimensi Pelat Tangga



Gambar 2. 12 Dimensi Besi Baja dengan profil IWF

c) Pemodelan Struktur dengan 3 Dimensi

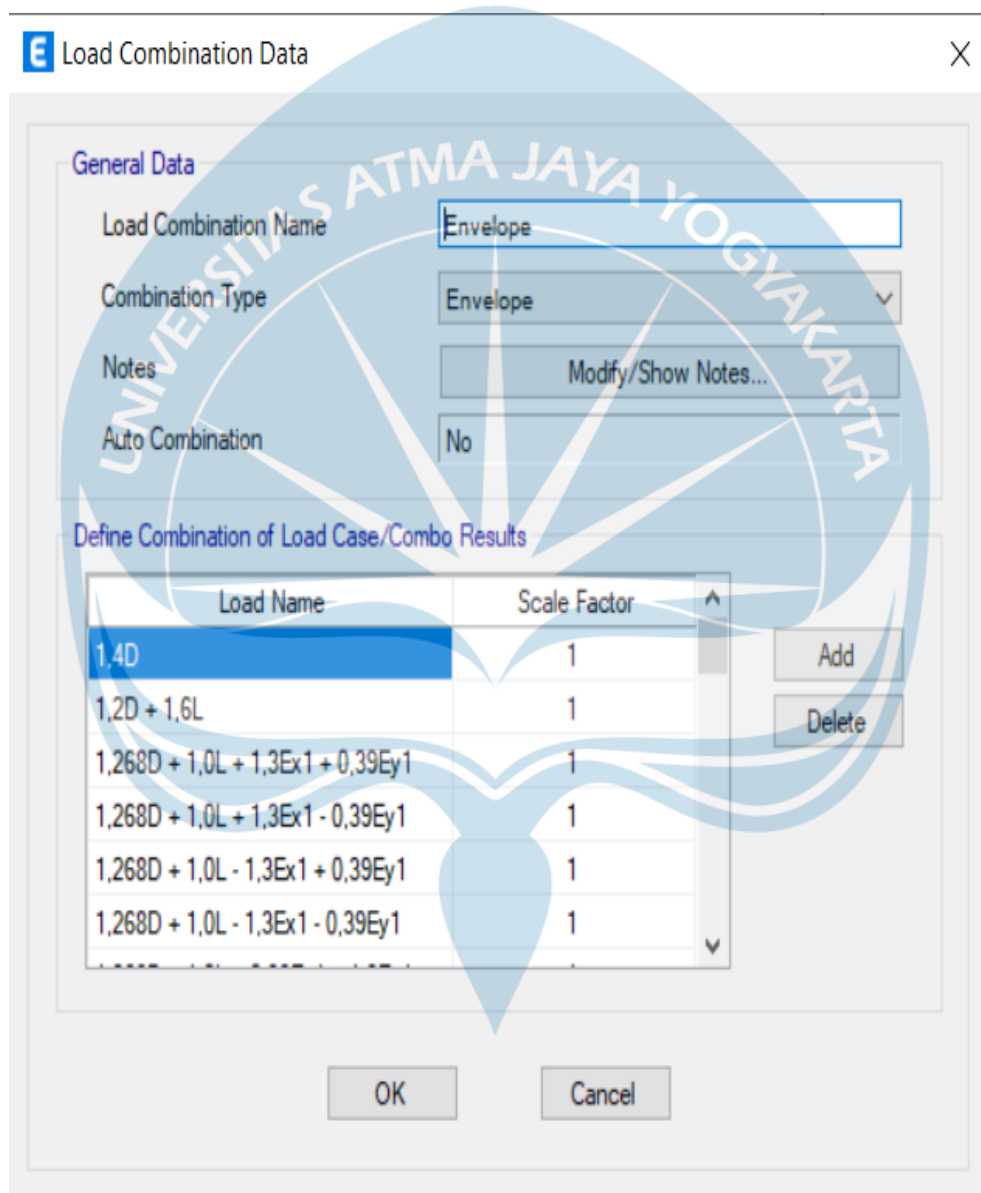
Pemodelan struktur secara 3 dimensi direncanakan sesuai dengan denah arsitektur yang telah disesuaikan. Pemodelan struktur Proyek Pusat Fisioterapi di Jambi secara 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.13.



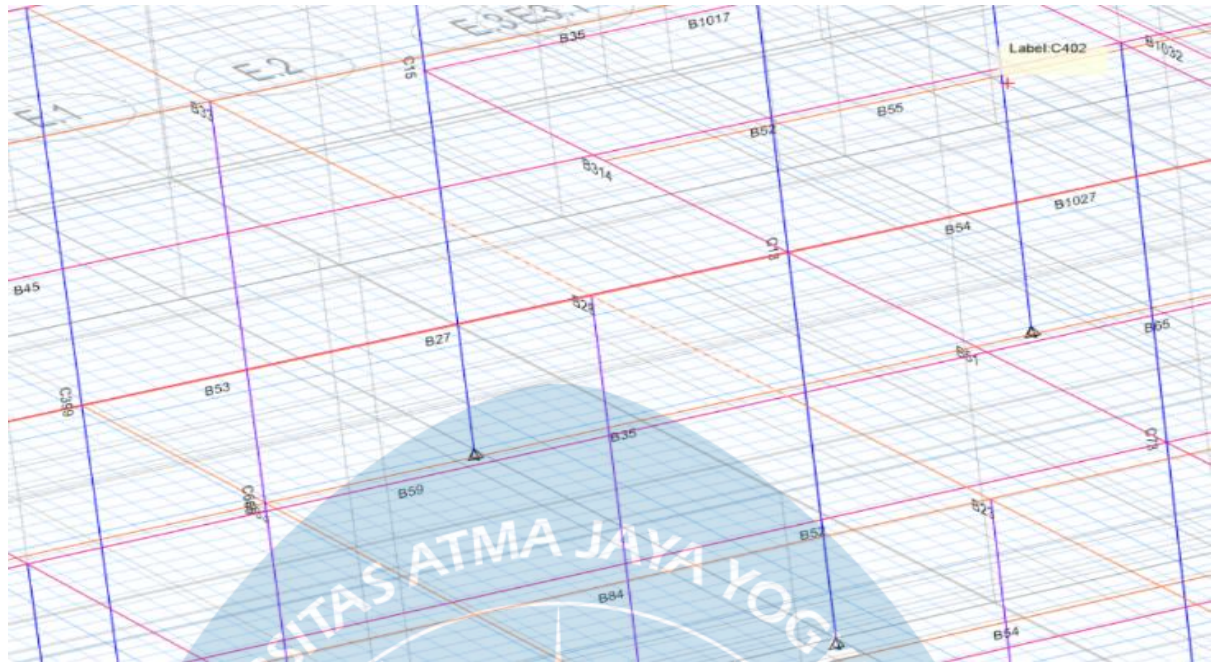
Gambar 2. 13 Pemodelan 3 Dimensi Struktur Bangunan

d) Input Kombinasi Beban dan Gaya

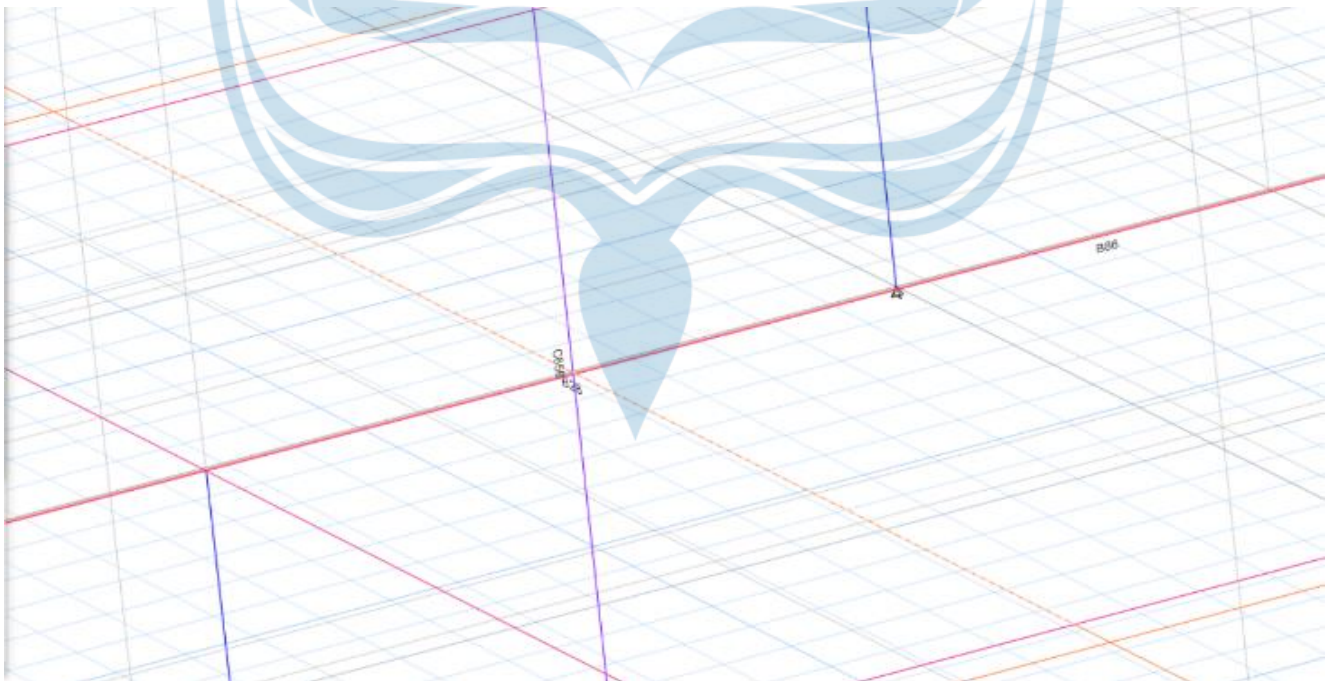
Kombinasi beban dan gaya pada aplikasi ETABS Ultimate 20.2.0. Kombinasi pembebanan yang digunakan merupakan kombinasi pembebanan ultimit yang kemudian dijadikan satu kombinasi *envelope* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14



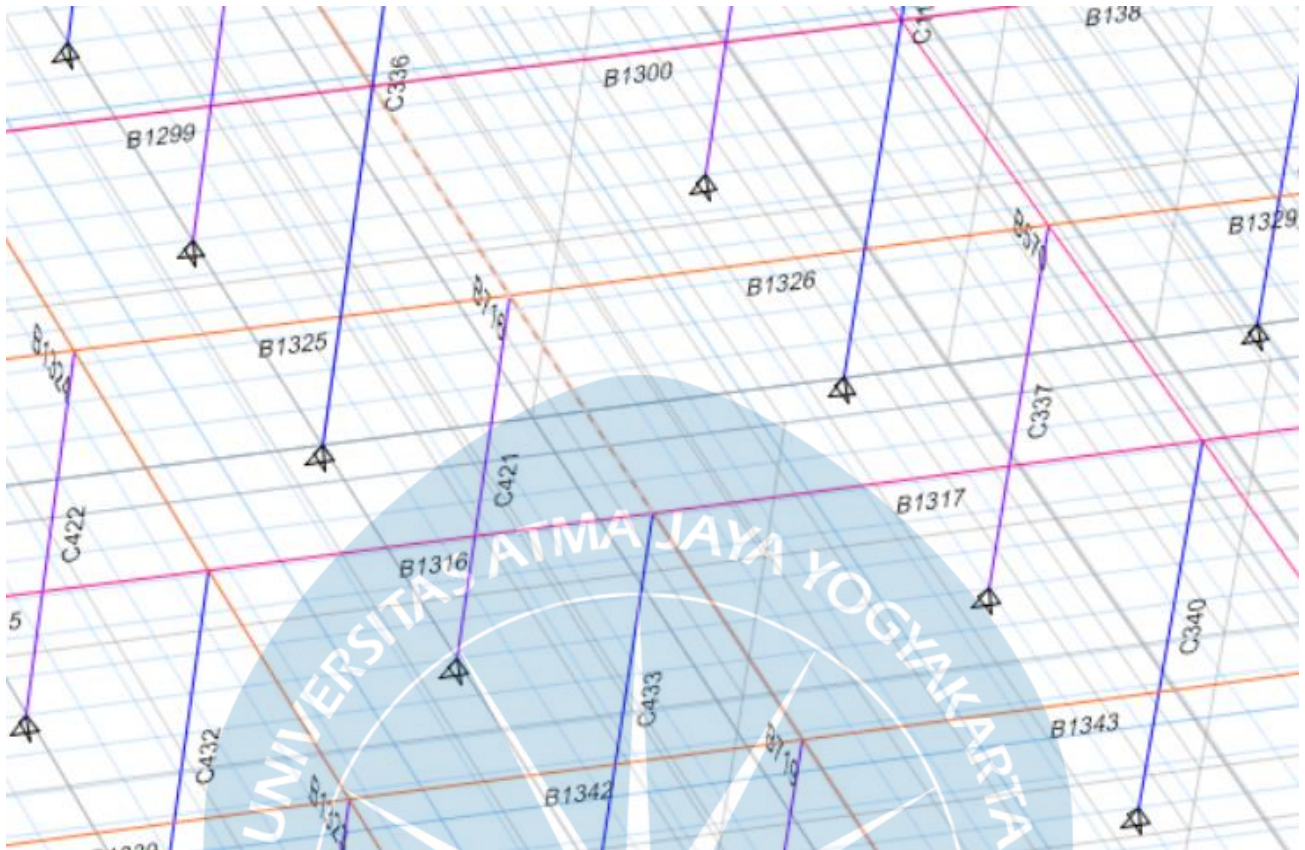
Gambar 2. 14 Kombinasi pembebanan envelope



Gambar 2. 20 Balok Anak B1 berdasarkan VU dan MU Terbesar (B28)



Gambar 2. 21 Balok Anak B2 berdasarkan VU dan MU Terbesar (B28)



Gambar 2. 22 Balok Anak B3 berdasarkan VU dan MU Terbesar (B716)

Tabel 2. 15 Output Pemodelan Balok Induk B1

Bentang balok 6 M				
BALOK B307 ROOFTOP BERDASARKAN VU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
105,6359	140,6445	124,3016	117,9546	87,7758
kN	kNm	kN	kNm	kN

Tabel 2. 16 Output Pemodelan Balok Induk B1

Bentang balok 6 M				
BALOK B307 ROOFTOP BERDASARKAN MU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
46,6873	148,5687	105,754	58,2572	54,9725
kN	kNm	kN	kNm	kN

Tabel 2. 17 Output Pemodelan Balok Induk B2

Bentang balok 6 M				
BALOK B1113 ROOFTOP BERDASARKAN VU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
200,5139	226,752	220,8835	123,143	185,6882
kN	kNm	kN	kNm	Kn

Tabel 2. 18 Output Pemodelan Balok Induk B2

Bentang balok 6 M				
BALOK B1113 ROOFTOP BERDASARKAN MU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
206,9129	227,8001	218,2548	115,9052	183,7487
kN	kNm	kN	kNm	Kn

Tabel 2. 19 Output Pemodelan Balok Induk B3

Bentang balok 6 M				
BALOK B11 LANTAI 1 BERDASARKAN VU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
93,6433	54,4336	157,6487	27,2588	108,3827
kN	kNm	kN	kNm	Kn

Tabel 2. 20 Output Pemodelan Balok Induk B3

Bentang balok 6 M				
BALOK B11 LANTAI 1 BERDASARKAN MU TERBESAR				
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan	VG Balok
93,6433	54,4336	157,6487	27,2588	108,3827
kN	kNm	kN	kNm	Kn

Tabel 2. 21 Output Pemodelan Balok Anak B1

Bentang balok 6 M			
BALOK B28 ROOFTOP BERDASARKAN VU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
108,6097	146,3344	111,7133	112,907
kN	kNm	kN	kNm

Tabel 2. 22 Output Pemodelan Balok Anak B1

Bentang balok 6 M			
BALOK B28 ROOFTOP BERDASARKAN MU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
108,6097	146,3344	111,7133	112,907
kN	kNm	kN	kNm

Tabel 2. 23 Output Pemodelan Balok Anak B2

Bentang balok 6 M			
BALOK B28 LANTAI 1 BERDASARKAN VU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
212,9655	104,5319	216,4088	216,3916
kN	kNm	kN	kNm

Tabel 2. 24 Output Pemodelan Balok Anak B2

Bentang balok 6 M			
BALOK B28 LANTAI 1 BERDASARKAN MU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
212,9655	104,5319	216,4088	216,3916
kN	kNm	kN	kNm

Tabel 2. 26 Output Pemodelan Balok Anak B3

Bentang balok 6 M			
BALOK B716 LANTAI 1 BERDASARKAN VU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
84,6552	42,2307	83,2032	21,8053
kN	kNm	kN	KNm

Tabel 2. 25 Output Pemodelan Balok Anak B3

Bentang balok 6 M			
BALOK B716LANTAI 1 BERDASARKAN MU TERBESAR			
V Tumpuan	M Tumpuan	V Lapangan	M Lapangan
84,6552	42,2307	83,2032	21,8053
kN	kNm	kN	KNm

b) Interpretasi *Output* Pemodelan Kolom Utama dan Kolom Praktis

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18, bangunan dengan Kategori Desain Seismik D merupakan bangunan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Bagian bangunan yang harus dipenuhi dalam penerapan adalah 18.6 hingga 18.9. Pasal 18.7 merupakan pasal mengenai kolom sistem rangka pemikul momen khusus. Oleh karena itu, dalam perancangan kolom digunakan SNI 2847:2019 pasal 18.7.

Nilai faktor modifikasi (λ) didapat dengan melalui acuan pada dalam SNI 2847:2019 pada tabel 19.2.4.2. Dalam perancangan Gedung Fisioterapi di Jambi digunakan beton normal, sehingga nilai faktor modifikasi yang digunakan adalah 1.

Nilai faktor reduksi kekuatan (ϕ) ditentukan melalui acuan pada tabel 21.2.1 SNI 2847:2019. Dalam perancangan balok Gedung Fisioterapi di Jambi, kolom direncanakan dapat menahan gaya geser, maka digunakan nilai faktor reduksi kekuatan sebesar 0,9.

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter sengkang} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi kolom} = 550 \times 550 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

$$\phi = 0,9$$

$$d = h - (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan longitudinal}/2)$$

$$= 550 - 40 + 22/2$$

$$= 523 \text{ mm}$$

Perencanaan struktur portal perencanaan struktur balok dan kolom yang dapat dilihat pada Gambar 2.15.

a. Syarat Dimensi Penampang

Kolom pada sistem rangka pemikul momen khusus memiliki batasan dimensi yang diatur dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1, kolom-kolom harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a) Dimensi penampang terkecil, diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri, tidak kurang dari 300 mm.

$$550 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

- b) Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0,4

$$550/550 \geq 0,4$$

$$1 \geq 0,4$$

b. Desain Tulangan Pokok Kolom

Tulangan Lentur Kolom

Kolom K1 Utama

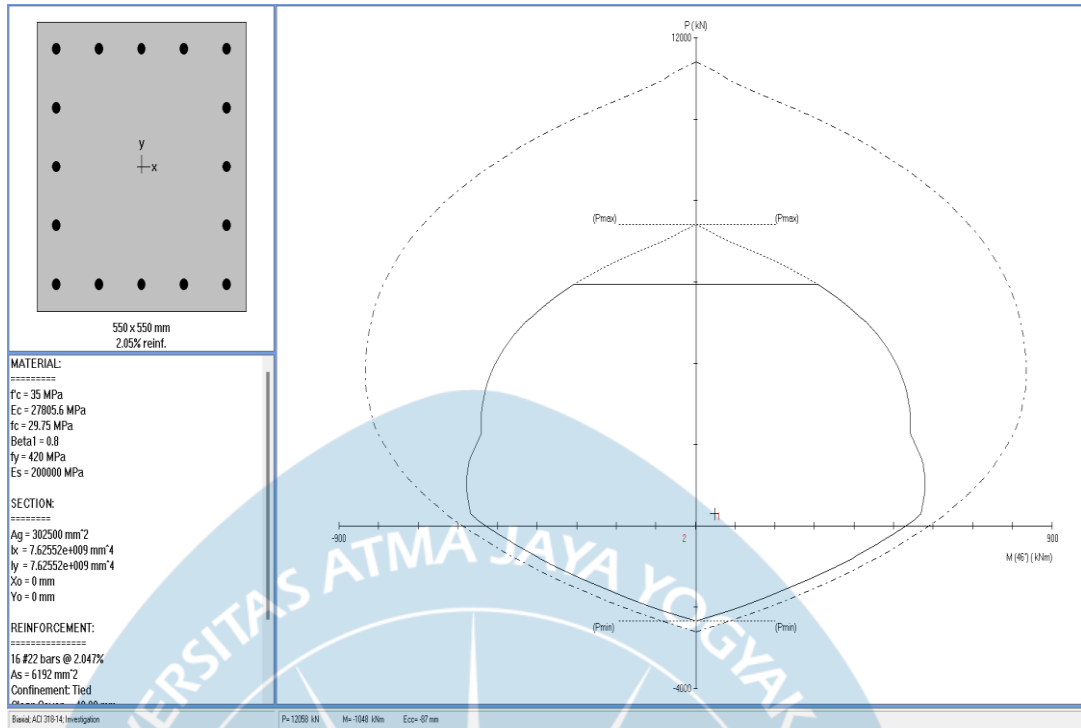
Nilai P_u dan M_u kolom ditentukan berdasarkan nilai terbesar dari perhitungan dan hasil analisis dengan ETABS Ultimate 20.2.0. Sedangkan nilai V_u pada kolom didapatkan dari hasil analisis gaya geser yang bekerja pada balok. Berikut merupakan nilai P_u , M_u , dan V_u yang digunakan dalam analisis perhitungan tulangan lentur kolom:

$$P_u = 298,55 \text{ kN}$$

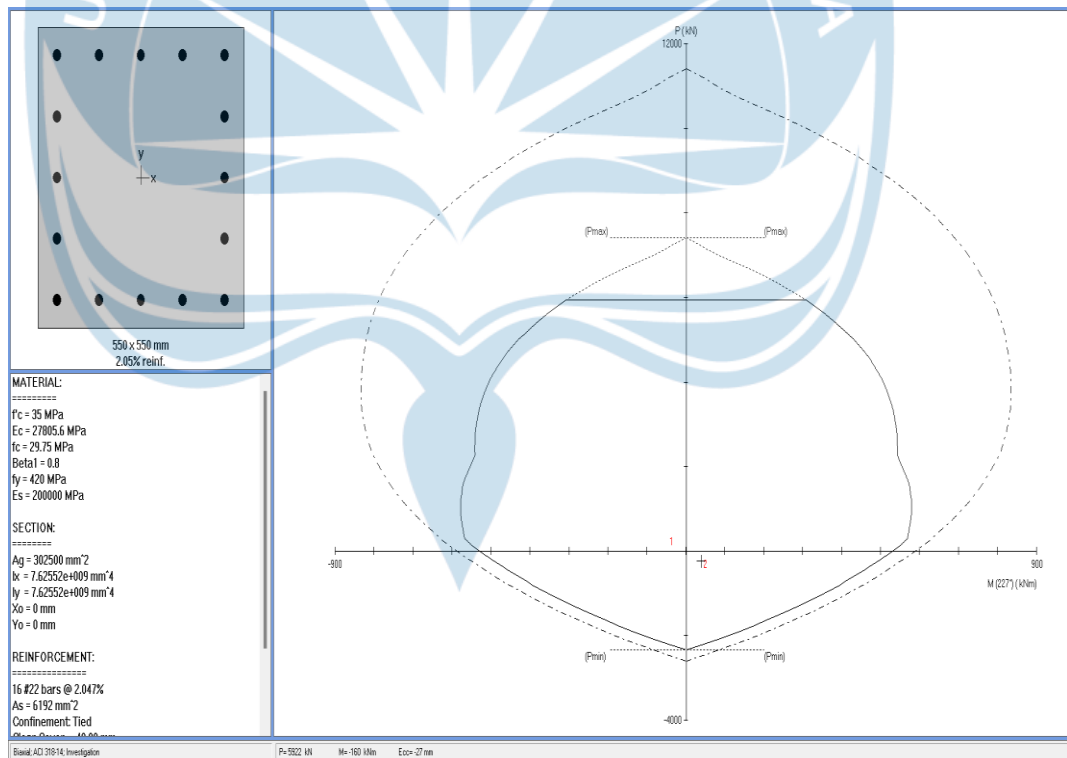
$$M_u = 732,56 \text{ kNm}$$

$$V_u = 105,6359 \text{ kNm}$$

Nilai ϕM_{nc} didapatkan berdasarkan perhitungan dengan aplikasi SP COLOUMN yang ditunjukkan pada kedua Gambar 2.23 dan Gambar 2.24



Gambar 2. 24 Kolom Utama K1



Gambar 2. 23 Kolom Utama K1

Menggunakan aplikasi SP COLOUMN didapat nilai M_{nc} sebagai berikut :

$$M_{nc\ a} = 396,07 \quad \text{kNm}$$

$$M_{nc\ b} = 336,49 \quad \text{kNm}$$

$$M_{pr\ ki} = 275,4122 \quad \text{kNm}$$

$$M_{pr\ ka} = 222,2025 \quad \text{kNm}$$

Dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, dijelaskan bahwa kekuatan lentur kolom harus memenuhi konsep Strong Column Weak Beam yang dapat ditentukan melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Syarat:} \quad & \sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb} \\ (M_{nc\ a} + M_{nc\ b}) & \geq 1,2 \times (M_{pr\ ki} + M_{pr\ ka}) \\ (396,07 + 336,49) & \geq 1,2 \times (275,4122 + 222,2025) \\ 732,56 \text{ kNm} & \geq 597,138 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka syarat Strong Column Weak Beam pada desain kolom lantai 3 sesuai dengan ketentuan dan terpenuhi.

Tulangan Transversal Kolom

Kolom K1 utama

Perencanaan penulangan transversal kolom pada bangunan Gedung Pusat Fisioterapi di Jambi dilakukan dengan menganalisis nilai A_{sh}/S_{bc} dengan nilai P_u sebesar 298,55 kN maka A_{sh}/S_{bc} pada tulangan transversal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_u & < 0,3 \times A_g \times f'_c \\ 298,55 & < 0,3 \times 550 \times 550 \times 35 \\ 298,55 & < 3176250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$B_c = b - \text{selimut beton} = 550 - 40 = 510 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (b - 2 \times \text{selimut beton}) \times (h - 2 \times \text{selimut beton}) = (550 - 2 \times 40) \times (550 - 2 \times 40) = 220900 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b \times h = 550 \times 550 = 302500 \text{ mm}^2$$

Nilai A_{sh}/S_{bc}

$$\text{a) } 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,3 \times \left(\frac{302500}{220900} - 1 \right) \frac{35}{280} = 0,013852422$$

$$\text{b) } 0,9 \times \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0,9 \times \frac{35}{280} = 0,01125$$

Nilai A_{sh}/S

$$a) (A_{sh}/S_{bc}) \times B_c = 0,013852422 \times 510 = 7,064735174 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$b) (A_{sh}/S_{bc}) \times B_c = 0,01125 \times 510 = 5,7375 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Maka dipakai nilai A_{sh}/S terbesar diantara persamaan a) dan b), yaitu $7,064735174 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Dalam melakukan perencanaan jarak tulangan transversal, ditentukan jarak h_x sebagai berikut:

$$s = \frac{550 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (2 \times 0,5 \times 40)}{4} = 82,2 \text{ mm}$$

$$h_x = s \times 2 = 82,2 \times 2 = 164,4 \text{ mm}$$

Nilai h_x tidak boleh melebihi 350 mm. Oleh karena itu, nilai h_x telah memenuhi syarat pada SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2. Berikut merupakan jarak tulangan transversal berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3:

$$a) \frac{1}{4} \text{ dimensi kolom terkecil} = \frac{1}{4} \times h = \frac{1}{4} \times 550 = 137,5 \text{ mm}$$

$$b) 6 \text{ kali diameter tulangan longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$c) S_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right) = 100 + \left(\frac{350-164,4}{3}\right) = 161,8667 \text{ mm}$$

Jarak tulangan transversal kolom pada Gedung Pusat Fisioterapi diambil sebesar 100 mm. Berikut merupakan hasil perhitungan dari persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah tulangan transversal yang diperlukan:

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = S \times A_{sh}/S = 100 \times 7,064735174 = 706,4735 \text{ mm}$$

Jika digunakan tulangan transversal dengan diameter 16 mm

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201,062 \text{ mm}^2$$

$$n = A_v/A_{sh} = 201,062/706,4735 = 3,513711 \text{ dibulatkan menjadi } 4 \text{ buah}$$

maka tulangan tranversal 4D16-100