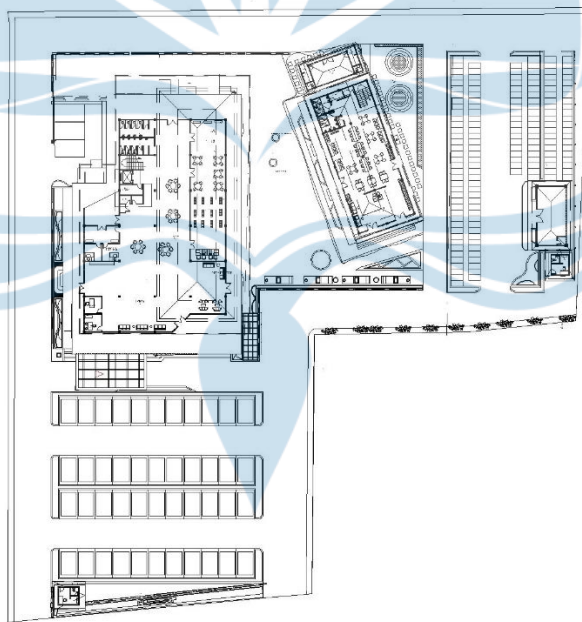


BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1. Denah Perpustakaan Umum Yogyakarta

Bangunan Perpustakaan Umum Yogyakarta merupakan bangunan yang memiliki dua gedung utama, yaitu gedung perpustakaan yang terdiri dari tiga lantai, dan gedung *co-working space* yang terdiri dari dua lantai. Masing-masing gedung memiliki ukuran 42 x 27 meter untuk gedung perpustakaan dan 24 x 10 meter untuk gedung *co-working space*. Bangunan ini memiliki tinggi tiap lantai 4,5 meter. Bangunan gedung perpustakaan ini memiliki kolom identik dari lantai 1-3 dengan ukuran 500 x 500 mm sedangkan gedung *co-working* memiliki kolom ukuran 350 x 350 mm. Dengan balok induk 500 x 250 mm dan 30 x 25 mm, sedangkan balok anaknya memiliki ukuran 400 x 200 mm dan 200 x 100 mm. Denah Perpustakaan Umum Yogyakarta dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Denah Perpustakaan Umum Yogyakarta

2.2. Deskripsi Umum Struktur

Bab ini menyajikan keseluruhan proses desain struktur Perpustakaan Umum Yogyakarta. Struktur terdiri dari 3 dan 2 lantai yang dilengkapi dengan sistem

rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Elemen struktur berupa pelat lantai, balok, kolom pada struktur bangunan terbuat dari material beton, dan atapnya terbuat dari material baja WF.

2.3. Spesifikasi Material Struktur

Spesifikasi material yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Baja Profil
 - c. Baja profil yang digunakan adalah BJ 37 dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ Mpa dan tegangan ultimit, $f_u = 370$ Mpa
 - d. Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ Mpa
2. Beton
 - c. Kuat tekan beton pada umur 28 hari, $f_c' = 25$ Mpa (struktur bawah)
 - d. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700$, $f_c' = 23500$ Mpa
3. Baja Tulangan
 - a. Baja tulangan dengan D19 mm, digunakan baja tulangan ulir (deform) dengan tegangan leleh, $f_y = 420$ Mpa
 - b. Baja tulangan dengan D10 mm, digunakan baja tulangan polos dengan tegangan leleh, $f_y = 240$ Mpa
 - c. Modulus elastisitas baja, $E_s = 200.000$ Mpa

2.4. Beban Rencana

2.4.1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi yang digunakan berdasarkan SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Beban gravitasi pada struktur perpustakaan meliputi berat sendiri struktur/*dead load* (DL), beban mati tambahan/*additional dead load* (ADL), dan beban hidup/*live load* (LL).

a. Berat Sendiri Struktur/*Dead Load* (DL)

Berat sendiri struktur/*dead load* adalah berat masing-masing bagian struktur berupa pelat lantai, balok, kolom, dan lain-lain, yang merupakan bagian dari struktur utama. Dengan pemodelan struktural berbasis perangkat lunak, perangkat lunak secara otomatis menghitung berat sendiri

struktur berdasarkan berat spesifik material dan dimensi bagian struktural yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak.

b. Beban Mati Tambahan/*Additional Dead Load* (ADL)

Beban mati tambahan/*additional dead load* adalah beban tambahan akibat penggunaan komponen nonstruktural (arsitektur dan MEP) yang melekat dan membebani struktur utama bangunan. Berikut adalah beban tambahan yang terdapat pada gedung perpustakaan dan *co-working*:

Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai

Berat pelat sendiri	= 0,12 x 24	= 3,12 Kn/m ²
Berat pasir (tebal 4 cm)	= 0,04 x 17	= 0,68 Kn/m ²
Berat spesi (tebal 2 cm)	= 0,02 x 20	= 0,4 Kn/m ²
Berat keramik (tebal 1,5 cm)		= 0,15 Kn/m ²
Berat plafond, MEP, dll.		= 0,18 Kn/m ²
Total Beban Mati (DL)		= 4,53 Kn/m²

c. Beban Hidup/*Live load* (LL)

Beban Hidup/*Live load* merupakan beban yang diakibatkan oleh penggunaan struktur bangunan. Beban hidup dapat berasal dari orang/barang yang dapat pindah dari satu tempat ke tempat lain. Beban hidup perpustakaan menurut SNI 1727: 2013, muatannya ditentukan sebagai berikut:

1. Ruang baca: 2,87 kN/m²
2. Ruang penyimpanan: 7,18 kN/m²
3. Koridor di atas lantai pertama: 3,83 kN/m²

2.4.2. Beban Gempa

a. Menentukan kategori risiko bangunan

Kategori risiko bangunan ditentukan berdasarkan fungsi operasional/jenis pemanfaatan dari suatu bangunan. Dalam SNI 1726:2012, kategori risiko bangunan dibedakan menjadi 4 jenis yaitu kategori risiko I, II, III, dan IV (lihat Tabel 2.1). Dalam pekerjaan ini, struktur perpustakaan termasuk dalam kategori fasilitas pendidikan sehingga memiliki kategori risiko bangunan IV.

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung 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 <p>Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</p>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <p>Perumahan</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rumah toko dan rumah kantor <p>Pasar</p> <p>Gedung perkantoran</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gedung apartemen/ rumah susun <p>Pusat perbelanjaan/ mall</p> <p>Bangunan industri</p>	II

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa
(lanjutan)

<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <p>Bioskop Gedung pertemuan Stadion Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat Fasilitas penitipan anak Penjara</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, 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 <p>Fasilitas penanganan air Fasilitas penanganan limbah Pusat telekomunikasi</p> <p>Gedung dan non gedung 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>III</p>
--	------------

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa (lanjutan)

<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan 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 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, 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 ▪ 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. 	<p>IV</p>
---	-----------

Sumber: SNI 1726:2012

b. Menentukan faktor keutamaan gempa (Ie)

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Dalam Tabel 2.2 disajikan faktor keutamaan gempa (Ie) sesuai dengan SNI 1726:2012. Dalam hal ini, struktur perpustakaan termasuk kategori risiko bangunan IV sehingga faktor keutamaan gempa (Ie) ditetapkan sebesar 1,50.

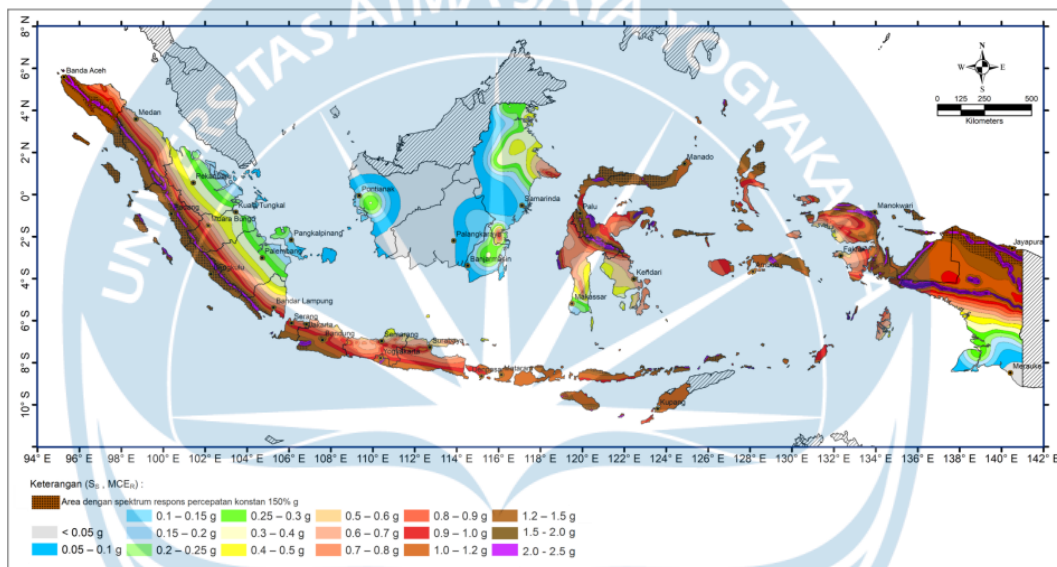
Tabel 2.2 Faktor keutamaan (Ie)

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (Ie)
I atau II	1,00
III	1,25
IV	1,50

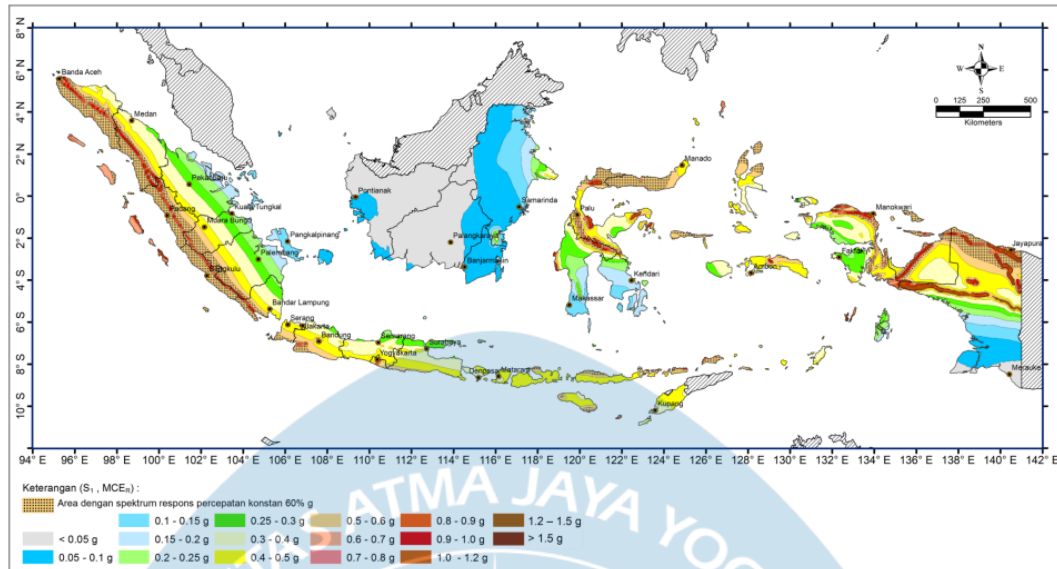
Sumber: SNI 1726:2012

c. Menentukan parameter percepatan tanah (Ss dan S1)

Parameter percepatan tanah (Ss dan S1) dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah di daerah proyek. Nilai Ss dan S1 digunakan untuk menentukan respon spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, dimana Ss dan S1 merupakan parameter respon spektral percepatan gempa MCER yang ditetapkan untuk periode pendek dan periode 1,0 detik. Gambar 2.1 dan 2.2 menunjukkan nilai Ss dan S1 dari risiko gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCER) dari batuan dasar. Pada pekerjaan ini lokasi bangunan berada di kota Yogyakarta, sehingga digunakan nilai $S_s = 1,1070 \text{ g}$ dan $S_1 = 0,5070 \text{ g}$.



Gambar 2.2 Ss, risiko gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCER) pada batuan dasar untuk periode pendek (0,2 detik) (Sumber: SNI 1726:2019)



Gambar 2.3 Ss, risiko gempa maksimum yang dipertimbangkan (MCER) pada batuan dasar untuk periode 1 detik (Sumber: SNI 1726:2019)

d. Interpretasi Data Tanah dan Menentukan Klasifikasi Situs

Klasifikasi tanah adalah suatu cara pengumpulan dan pengklasifikasian tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat maupun karakteristiknya. Interpretasi tanah memainkan peran penting dalam perancangan struktur bangunan. Uji daya dukung tanah terdiri dari uji SPT (*Standard Penetration Test*) dan sondir atau CPT (*Cone Penetrometer Test*). Dari pengujian SPT akan didapatkan hasil berupa *Bore Log* yang akan diolah lagi untuk mendapatkan klasifikasi kelas situs.

1. Menentukan Klasifikasi Situs Tanah

Dari Perhitungan pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 serta melihat Tabel 2.5 diperoleh:

Nilai Tahanan Penetrasi Standar Rerata (N) = 55 pukulan (BH-1) dan 51 pukulan (BH-2). Maka dari nilai yang diperoleh kita ambil nilai yang terkecil dan disesuaikan dengan SNI 8640:2017 sehingga dapat disimpulkan bahwa site proyek masuk dalam klasifikasi situs SD (tanah sedang).

Tabel 2.3 Tabel klasifikasi tanah

BH-1			
Kedalaman	T(m)	N(SPT)	N= T/N
	2	34	0,0588
	2	49	0,0408
	2	51	0,0392
	2	52	0,0385
	2	52	0,0385
	2	54	0,0370
	2	55	0,0364
	2	55	0,0364
	2	57	0,0351
	2	59	0,0339
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
	2	60	0,0333
Jumlah	40		0,7279
	Rata-rata		54,9555

Tabel 2.4 Tabel klasifikasi tanah

BH-2			
Kedalaman	T(m)	N(SPT)	N= T/N
	2	24	0,08333
	2	42	0,04762
	2	45	0,04444
	2	45	0,04444
	2	47	0,04255
	2	53	0,03774
	2	54	0,03704
	2	55	0,03636
	2	56	0,03571
	2	57	0,03509
	2	57	0,03509
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
	2	60	0,03333
Jumlah	40		0,77942
	Rata-rata		51,3202

Tabel 2.5 Klasifikasi situs

Kelas situs	(m/detik)	atau	(kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 s/d 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 s/d 750	>50	≥100
SD (tanah sedang)	175 s/d 350	15 s/d 50	50 s/d 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 mtanahdengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir, $su < 25$ kPa 		

Tabel 2.5 Klasifikasi situs (lanjutan)

<p>SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti Pasal 6.10.1)</p>	<p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat bebangan seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ kPa
<p>Catatan: N/A = tidak dapat dipakai</p>	

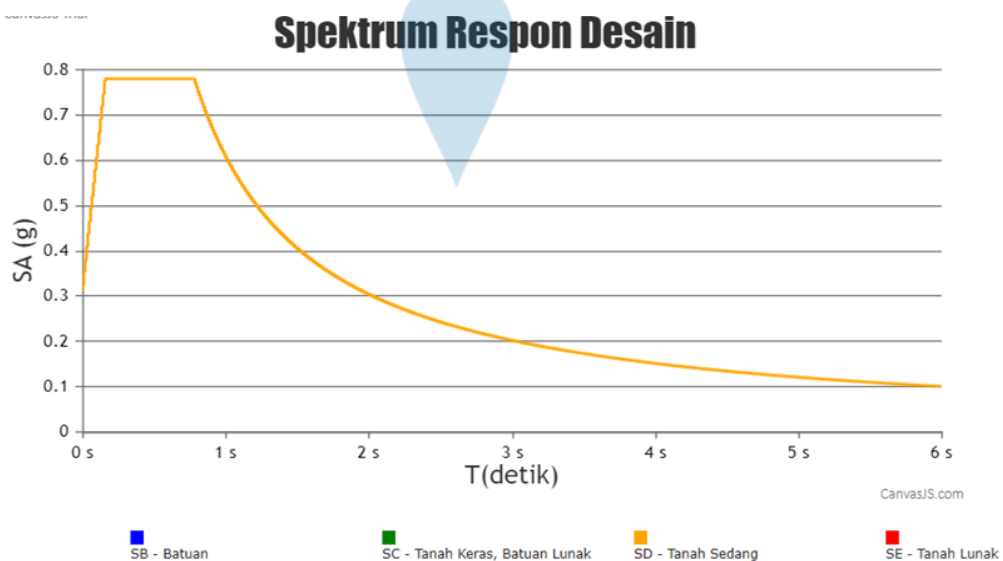
Sumber: SNI 1726:2012

2. Deskripsi Tanah Menurut SPT

Pada uji SPT yang telah dilakukan, didapatkan jenis tanah berupa tanah sedang (SD) berdasarkan SNI 8460-2017.

3. Grafik Respon Spektra

Dari grafik kategori desain seismik seperti pada Gambar 2.4, berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek seperti pada Tabel 2.6, dan berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik, bangunan Gedung Perpustakaan Umum Yogyakarta termasuk dalam kelas D.



Gambar 2.4 Grafik Spektrum Respon Desain

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

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

Sumber: Tabel 8 (SNI 1726:2019)

Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

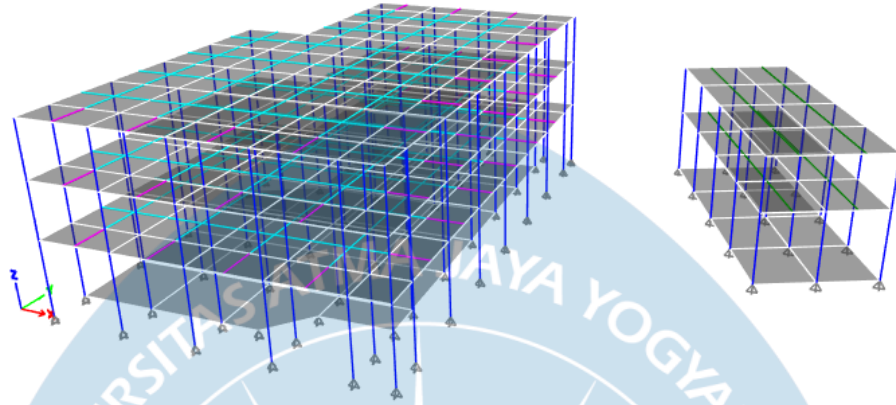
Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: Tabel 9 (SNI 1726:2019)

2.5. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur digunakan untuk mengetahui gaya dalam yang terjadi pada komponen dan perilaku struktural yang disebabkan oleh pembebanan. Hasil pemodelan struktur menjadi dasar perencanaan dimensi penampang bagian struktur yang dibutuhkan. Model struktur dibuat dengan idealisasi tertentu. Misalnya, lantai diidealkan sebagai elemen *shell*, sedangkan balok dan kolom diidealkan sebagai elemen *frame*. Pemodelan struktur yang dilakukan mampu memperhitungkan pengaruh kerusakan baja pada saat terjadi gempa, yaitu mereduksi momen inersia penampang bagian struktur. Momen inersia pelat berkurang menjadi 25% dibandingkan dengan momen inersia semula. Mengenai komponen struktur balok, momen inersia berkurang menjadi 35% dibandingkan dengan momen inersia asli. Selain itu, torsi juga diturunkan menjadi 25% untuk menyeimbangkan nilai reduksi terhadap inersia bagian struktur. Sebaliknya, pada kolom, momen inersia direduksi menjadi 70% dari momen inersia semula.

Struktur perpustakaan dibuat dengan sistem statis khusus berupa struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur dimodelkan dengan model 3 dimensi (*3D model*) menggunakan *software* (lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Model struktur Perpustakaan Umum Yogyakarta

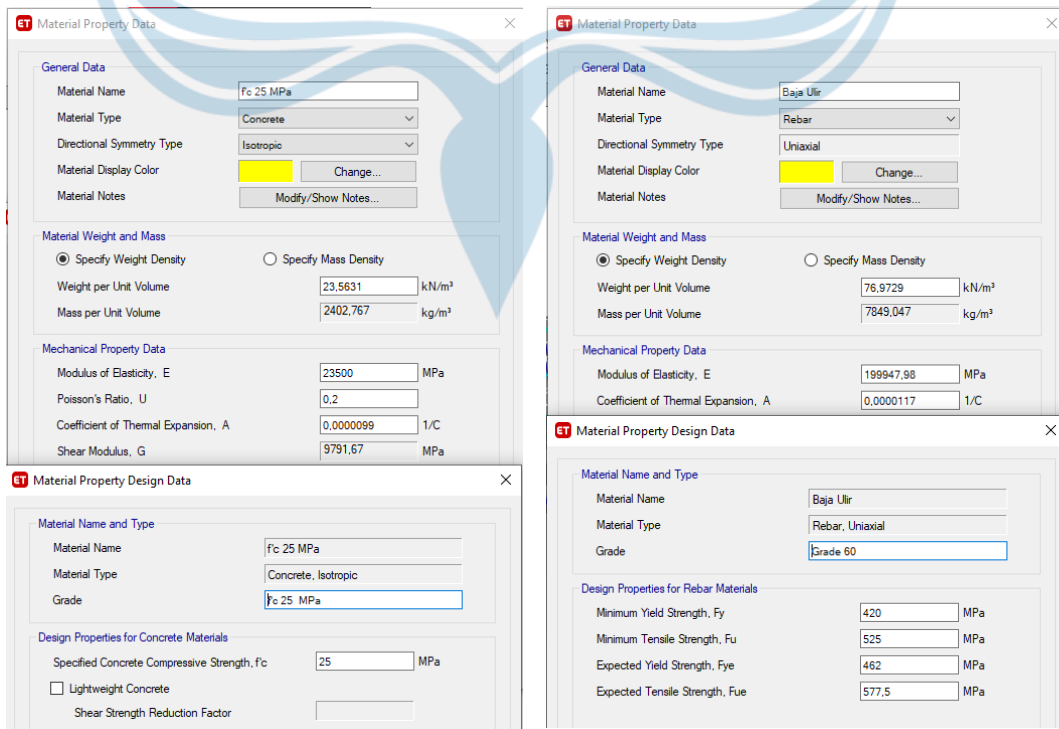
Material yang digunakan dalam analisis struktur adalah sebagai berikut:

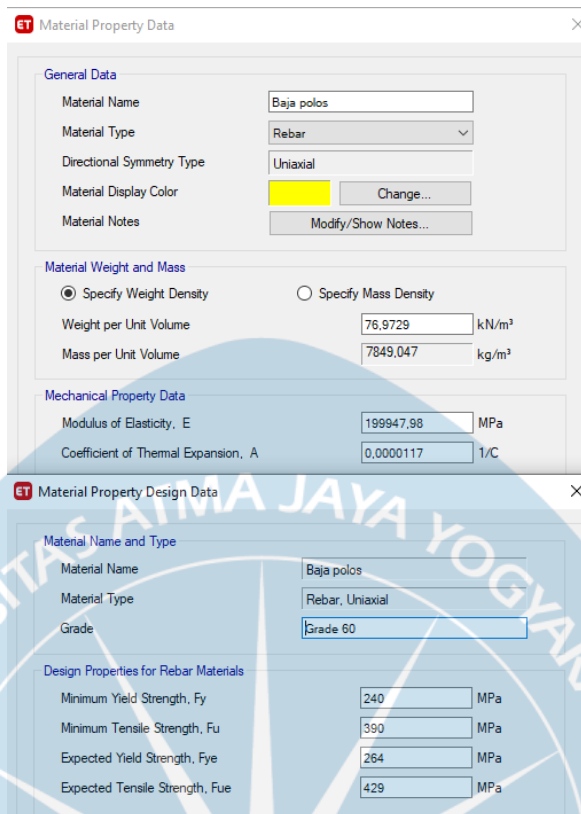
Beton : $f_c' 25 \text{ Mpa} / \text{K300}$

Baja Tulangan Ulir : $f_y 420 \text{ Mpa}$

Baja Tulangan Polos : $f_y 240 \text{ Mpa}$

Baja Tulangan Polos : $f_y 240 \text{ Mpa}$

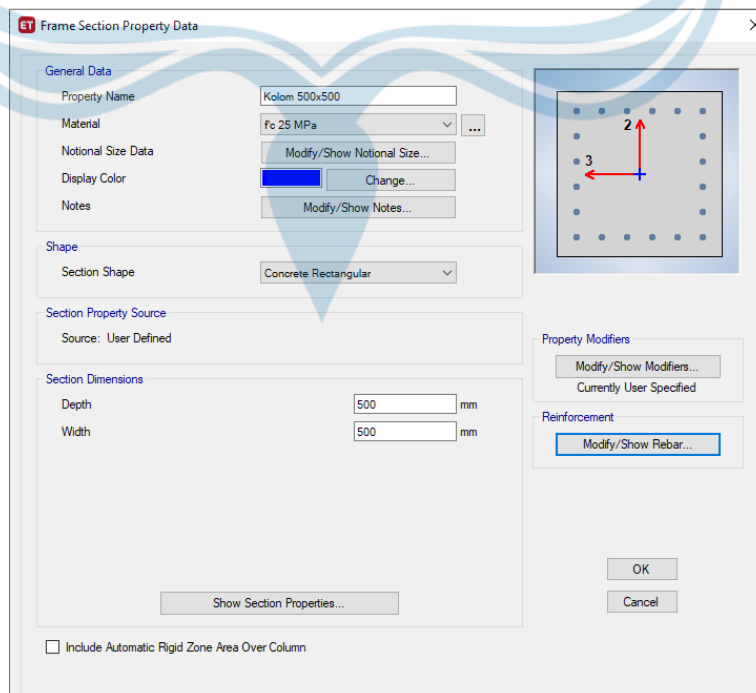




Gambar 2.6 Material properties

2.5.1. Profil Balok dan Kolom

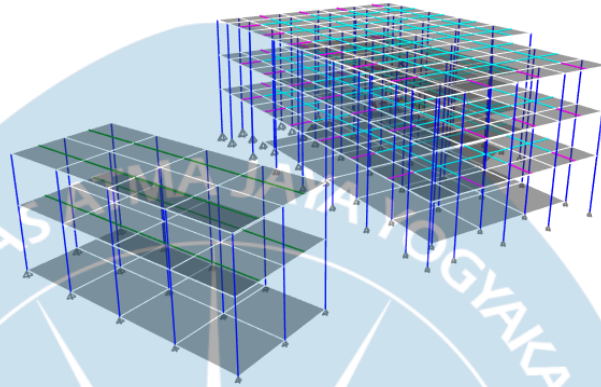
Penampang balok dan kolom di definisikan sebagai berikut:



Gambar 2.7 Contoh section properties kolom

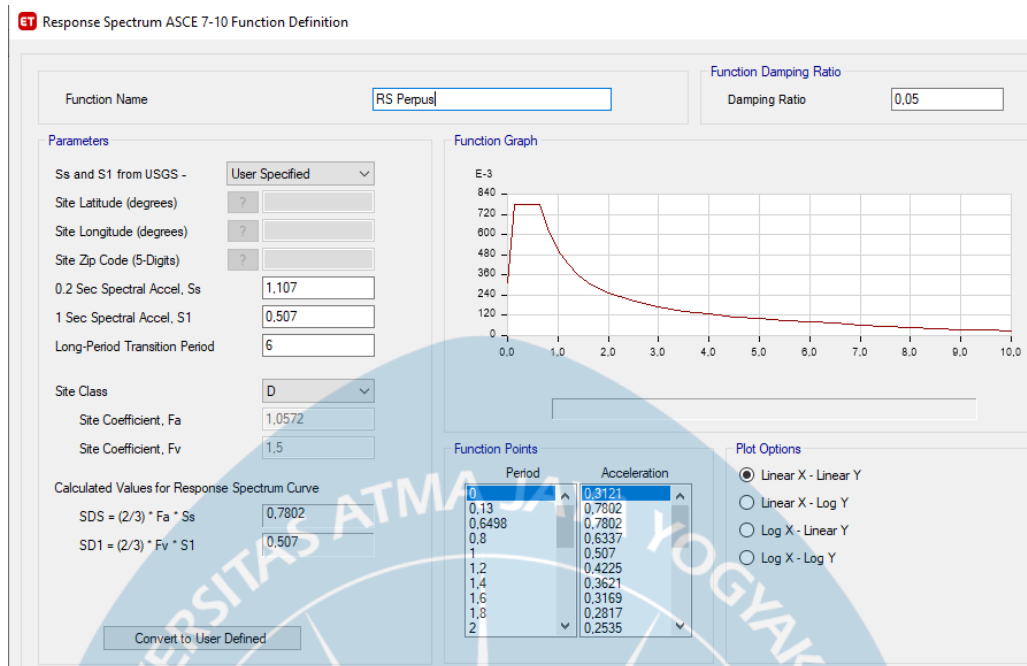
2.5.2. Pemodelan 3D struktur

Setelah material dan *section properties* siap, langkah selanjutnya adalah membuat model 3D. Model mengakomodasi balok dan kolom dari semua ukuran dan tulangan yang dirancang untuk pemasangan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Model 3D gedung perpustakaan dan *co-working*

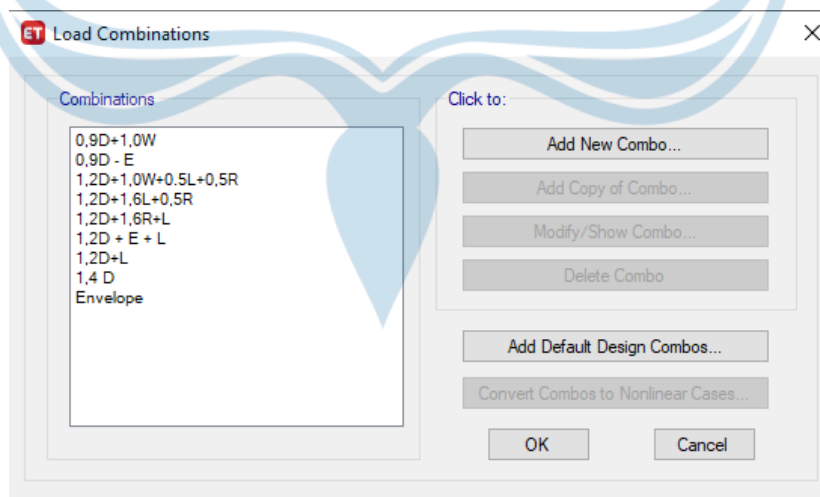
1. Memberikan beban yang bekerja
Secara garis besar, beban yang bekerja pada struktur ini dibedakan menjadi:
 - beban mati (berat sendiri baja, beban dinding)
 - beban mati tambahan (beban keramik, pipa, plafond dll)
 - beban hidup (beban yang bekerja)
 - beban gempa (respons spektrum)
2. Memberikan beban gempa
Beban gempa dimodelkan dalam program dengan fungsi respons spektrum. Perhitungan dan besaran ditampilkan di bagian Input Data – respon spektrum. Setelah kurva respon spektrum diperoleh, grafik dimasukkan ke dalam program.



Gambar 2.9 Input beban gempa

3. Memberikan Kombinasi dan Faktor Pembebanan

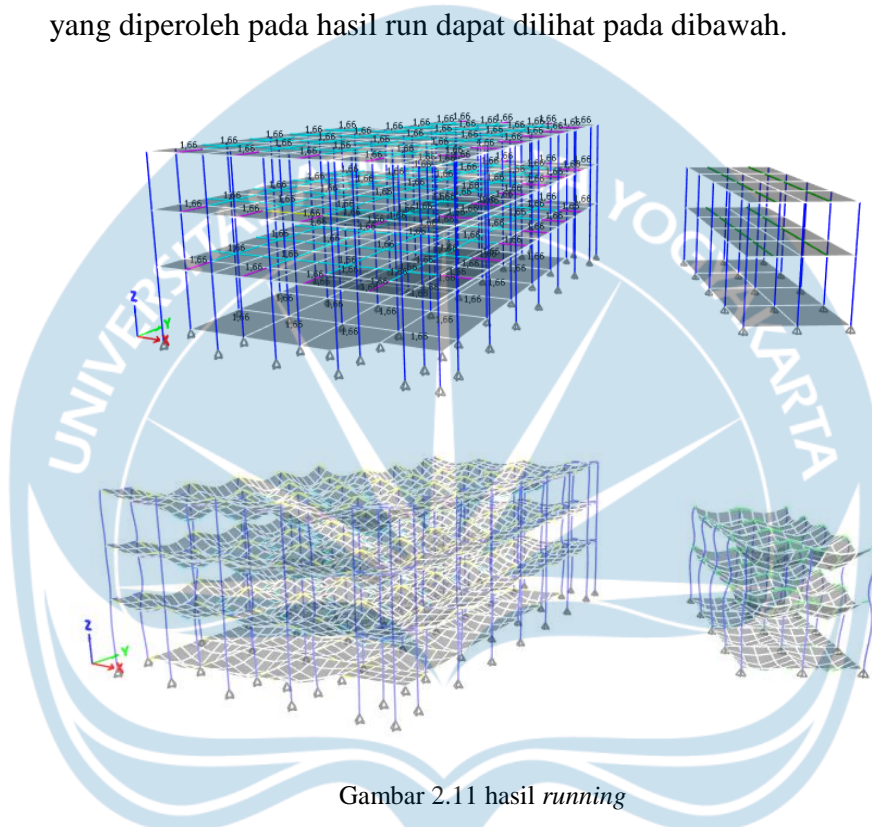
Kombinasi beban yang digunakan mengacu pada SNI Gempa 2012, pada laporan ini perlakuan kombinasi beban dilakukan pada bagian Data Entry – Kombinasi Beban.



Gambar 2.10 Input kombinasi beban

4. *Running* program

Setelah semua gaya dipasang, beberapa manipulasi struktural dilakukan, seperti menentukan *mass source* dan diafragma, setelah itu program dijalankan. Hasil program saat ini tersedia dalam bentuk gaya internal yang bekerja pada balok dan kolom struktur. Kekuatan ini merupakan kunci untuk menganalisa kekuatan dari struktur itu sendiri. Gaya yang diperoleh pada hasil run dapat dilihat pada dibawah.



Gambar 2.11 hasil *running*

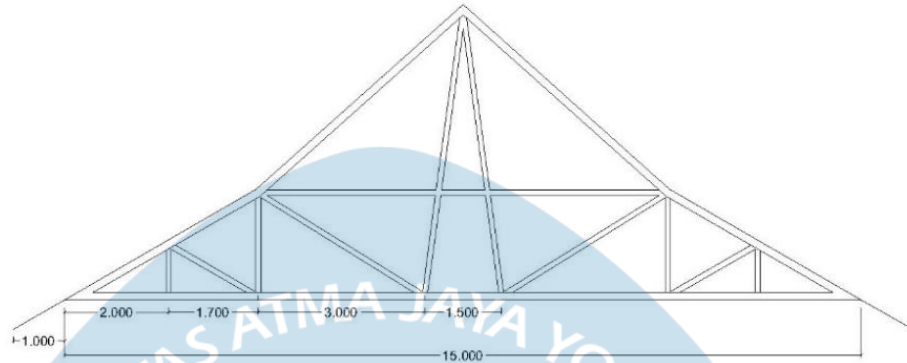
5. Hasil gaya dalam

Gaya yang dihasilkan kemudian diekspor ke excel dan dianalisis. Nilai keamanan setiap komponen diperiksa. Hasil pemeriksaan juga dapat dilihat di excel.

2.6. Perencanaan Atap

2.6.1. Perencanaan Gording, Sagrod, dan Pembebanan Kuda-Kuda

1. Perencanaan pada Gedung Perpustakaan



Gambar 2.12 Potongan kuda-kuda atap

Data teknis:

Bahan rangka kuda kuda	: baja profil WF 150 x 75 x 5 x 7 mm
Jarak antar kuda kuda	: 6 m
Bahan gording	: kanal C 150 x 50 x 20 x 2,3 mm
Jarak antar gording	: 1,2 m
Berat gording	: 4,96 kg/m
Bahan penutup atap	: genteng metal pasir
Berat penutup atap	: 5 kg/m
Alat sambung	: mur-baut
Kemiringan atap	: 30°
Berat plafond	: 10 kg/m
Bentang	: 15 m

a. Berat Gording dan profil yang digunakan

Dead load

Berat sendiri	: 4,96 kg/m	= 0,050 kN/m
Berat atap	: $1,2 / \cos 30 \times 0,05$	= 0,069 kN/m
Berat plafon	: $1,2 \times 0,01$	= 0,012 kN/m
Total	:	= 0,239 kN/m

Live load : 1 kN

Total dead load + Live Load = 1,239 kN/m

b. Diameter sagrod yang diperlukan

Rencana sagrod

$$F_t, D : 7 \times (6/2 \times 0,239 \times \sin 30) = 2,5083 \text{ kN}$$

$$F_t, L : 7/2 \times 1 \times \sin 30 = 1,7500 \text{ kN}$$

Kombinasi pembebanan

$$F_t, U : 1,4 \times 2,5083 = 3,7188 \text{ kN}$$

$$F_t, U : 1,2 \times 2,5083 + 1,6 \times 1,7500 = 5,8099 \text{ kN}$$

Luas sagrod yang dibutuhkan

$$A_{sr} : (5,8099 \times 10^3) / 240 = 24,2 \text{ kN}$$

$$\text{Diameter sagrod} = 10 \text{ mm}$$

c. Beban Kuda-Kuda (beban mati, beban hidup dan beban angin)

Beban kuda-kuda:

1. Beban P1:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 2/2 \times 0,14 = 0,140 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = 6 \times 0,05 = 0,298 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = (2/2+1)/\cos 30 \times 6 \times 0,05 = 0,693 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafon} = (2/2+1) \times 6 \times 0,10 = 1,2 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P1} = 2,330 \text{ kN}$$

2. Beban P2:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 1,70 \times 0,14 = 0,238 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = 6 \times 0,05 = 0,298 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = (1,70/\cos 30) \times 6 \times 0,05 = 0,589 \text{ kN}$$

$$\text{Berat plafond} = 1,70 \times 6 \times 0,10 = 1,02 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P2} = 2,144 \text{ kN}$$

3. Beban P3:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 3 \times 0,14 = 0,420 \text{ kN}$$

Berat gording = $2 \times 6 \times 0,05$	= 0,595 kN
Berat atap = $3+1/\cos 30 \times 6 \times 0,05$	= 1,386 kN
Berat Plafon = $3+1 \times 6 \times 0,10$	= 2,4 kN
Beban P3	= 4,801 kN

4. Beban Angin

Beban W1 = $(2/2 + 1)/\cos 30 \times 0,06 \times 6 \times 0,37$	= 0,329 kN
Beban W2 = $1,7/\cos 30 \times 0,06 \times 6 \times 0,37$	= 0,279 kN
Beban W3 = $\frac{1}{2} (3/\cos 30) \times 0,06 \times 6 \times 0,37$	= 0,247 kN
Beban W4 = $\frac{1}{2} (3/\cos 30) \times -0,6 \times 6 \times 0,37$	= -2,293 kN
Beban W5 = $1,7/\cos 30 \times -0,6 \times 6 \times 0,37$	= -2,599 kN
Beban W6 = $(2/2 + 1)/\cos 30 \times -0,6 \times 6 \times 0,37$	= -3,057 kN

d. Kombinasi beban

Kombinasi beban berdasarkan beban-beban yang ada diatas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan.

1,4D

$$1,4 \times 3,092 = 4,3287$$

1.2D + 1.6R + 0.5W

$$1,2 \times 3,029 + 1,6 \times 0,2 + 0,5 \times -0,8991 = 4,4799$$

0.9D + 1W

$$0,9 \times 3,029 + 1 \times -0,8991 = 1,8836$$

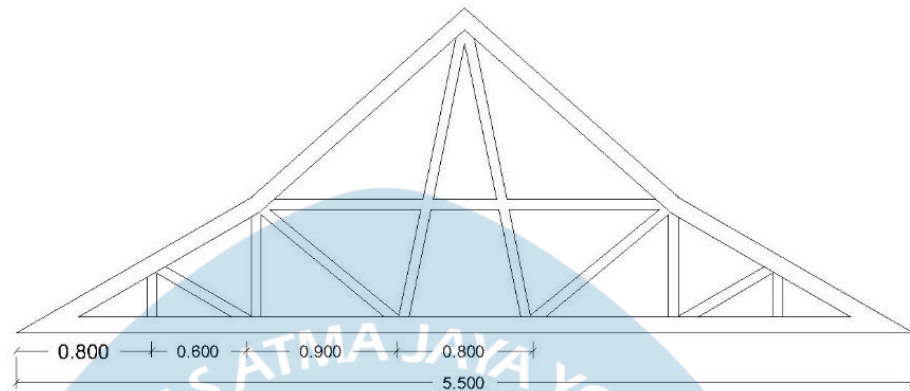
1.2D + 1.6L + 0.5R

$$1,2 \times 3,029 + 1,6 \times 1 + 0,5 \times 0,2 = 5,4103$$

1.2D + 1W + 0.5L + 0.5R

$$1,2 \times 3,029 + 1 \times -0,8991 + 0,5 \times 1 + 0,5 \times 0,2 = 5,2094$$

2. Perencanaan pada Gedung *Co-working*



Gambar 2.13 Potongan kuda-kuda atap

Data teknis:

Bahan rangka kuda kuda	: baja profil WF 150 x 75 x 5 x 7 mm
Jarak antar kuda kuda	: 6 m
Bahan gording	: kanal C 150 x 50 x 20 x 2,3 mm
Jarak antar gording	: 1 m
Berat gording	: 4,96 kg/m
Bahan penutup atap	: genteng metal pasir
Berat penutup atap	: 5 kg/m
Alat sambung	: mur-baut
Kemiringan atap	: 30°
Berat plafond	: 10 kg/m
Bentang	: 5,5 m

a. Berat Gording dan profil yang digunakan

Dead load

Berat sendiri	: 4,96 kg/m	= 0,050 kN/m
Berat atap	: $1 / \cos 30 \times 0.05$	= 0,058 kN/m
Berat plafon	: 1×0.01	= 0,010 kN/m
Total	:	= 0,207 kN/m

Live load : 1 kN

Total dead load + Live Load = 1,207 kN/m

b. Diameter sagrod yang diperlukan

Rencana sagrod

$$F_t, D : 4 \times (6/2 \times 0,207 \times \sin 30) = 1,2440 \text{ kN}$$

$$F_t, L : 4/2 \times 1 \times \sin 30 = 1,0000 \text{ kN}$$

Kombinasi pembebanan

$$F_t, U : 1,4 \times 1,2440 = 1,8601 \text{ kN}$$

$$F_t, U : 1,2 \times 1,2440 + 1,6 \times 1,000 = 3,0928 \text{ kN}$$

Luas sagrod yang dibutuhkan

$$A_{sr} : (3,0928 \times 10^3) / 240 = 12,9 \text{ kN}$$

$$\text{Diameter sagrod} = 10 \text{ mm}$$

c. Beban Kuda-Kuda (beban mati, beban hidup dan beban angin)

Beban kuda-kuda:

1. Beban P1:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 0,8/2 \times 0,14 = 0,056 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = 6 \times 0,05 = 0,298 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = (0,8/2)/\cos 30 \times 6 \times 0,05 = 0,139 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafon} = (0,8/2) \times 6 \times 0,10 = 0,24 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P1} = 0,732 \text{ kN}$$

2. Beban P2:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 0,6 \times 0,14 = 0,084 \text{ kN}$$

$$\text{Berat gording} = 6 \times 0,05 = 0,382 \text{ kN}$$

$$\text{Berat atap} = (0,6/\cos 30) \times 6 \times 0,05 = 0,208 \text{ kN}$$

$$\text{Berat plafond} = 0,6 \times 6 \times 0,10 = 0,36 \text{ kN}$$

$$\text{Beban P2} = 0,949 \text{ kN}$$

3. Beban P3:

$$\text{Berat sendiri kuda-kuda} = 0,9 \times 0,14 = 0,126 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat gording} &= 2 \times 6 \times 0,05 && = 0,595 \text{ kN} \\ \text{Berat atap} &= (0,9/\cos 30) \times 6 \times 0,05 && = 0,312 \text{ kN} \\ \text{Berat Plafon} &= 0,9 \times 6 \times 0,10 && = 0,54 \text{ kN} \\ \text{Beban P3} &&& = 1,573 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Beban Angin

$$\begin{aligned} \text{Beban W1} &= (0,8/2)/\cos 30 \times 0,11 \times 6 \times 0,40 && = 0,090 \text{ kN} \\ \text{Beban W2} &= 0,6/\cos 30 \times 0,11 \times 6 \times 0,40 && = 0,180 \text{ kN} \\ \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} (0,9/\cos 30) \times 0,11 \times 6 \times 0,40 && = 0,135 \text{ kN} \\ \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} (0,9/\cos 30) \times -0,6 \times 6 \times 0,40 && = -0,748 \text{ kN} \\ \text{Beban W5} &= 0,6/\cos 30 \times -0,6 \times 6 \times 0,40 && = -0,208 \text{ kN} \\ \text{Beban W6} &= (0,8/2)/\cos 30 \times -0,6 \times 6 \times 0,40 && = -0,831 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Kombinasi beban

Kombinasi beban berdasarkan beban-beban yang ada diatas maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan.

1,4D

$$1,4 \times 1,805 = 1,5188$$

1.2D + 1.6R + 0.5W

$$1,2 \times 1,805 + 1,6 \times 0,2 + 0,5 \times -0,2351 = 1,7394$$

0.9D + 1W

$$0,9 \times 1,805 + 1 \times -0,2351 = 0,7413$$

1.2D + 1.6L + 0.5R

$$1,2 \times 1,805 + 1,6 \times 1 + 0,5 \times 0,2 = 3,0018$$

1.2D + 1W + 0.5L + 0.5R

$$1,2 \times 1,805 + 1 \times -0,2351 + 0,5 \times 1 + 0,5 \times 0,2 = 2,1369$$

2.7. Perencanaan Tangga

Tabel 2.8 Data tangga

Tinggi antar lantai (H) (mm)	4500
Lebar Tangga (mm)	2500
Panjang Ruang Tangga (mm)	4500
Antrede (An)(mm)	300

Optrede (Op) (mm)	200
Tebal Pelat tangga (tt) (mm)	150
Tebal pelat bordes (tb) (mm)	150
Jumlah anak tangga	22
Lebar Bordes (bo) (mm)	1200
Kemiringan Tangga	33,7°

1. Tebal ekuivalen pelat tangga

$$t' = \left(\frac{1}{2} \times 200 \times 300\right) / \sqrt{200^2 + 300^2} = 83,205 \text{ mm}$$

$$h = 83,205 \times 150 = 233,205 \text{ mm}$$

$$h' = (83,205 \times 150) / \cos 33,7 = 280,309 \text{ mm}$$



Gambar 2.14 Letak simbol pada tangga

2. Pembebanan pelat tangga

a. Beban mati

$$\text{Beban pelat + anak tangga} = 280,309 / 1000 \times 24 = 6,727 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Railing} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{QDL} = 8,387 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban hidup

$$\text{Beban hidup untuk tangga} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{QLL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

3. Perencanaan penulangan tangga

a. Gaya geser dan momen tangga dari SAP2000

$$M_u = 12,947 \text{ kNm} = 12947400 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 36,72 \text{ kN}$$

data:

$$\text{Tulangan pokok} = \text{D13}$$

Tulangan Susut = D10
 h = 150 mm
 ts = 20 mm
 ϕ = 0,9 (asumsi terkendali tarik)
 fy = 420 Mpa (tulangan sirip)
 fc' = 25 Mpa
 b = 1 m
 β_1 (fc < 28 mpa) = 0,85
 π = 3,14

b. Cek nominal pelat

$As_{\text{aktual}} = (1000 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2) / 300 = 442,217 \text{ mm}^2$
 $a = (442,217 \times 420) / (0,85 \times 25 \times 1000) = 8,740 \text{ mm}$
 $c = 8,740 / 0,85 = 10,283 \text{ mm}$
 $d = 150 - 20 - (1/2 \times 13) = 123,5 \text{ mm}$
 $e_t = ((123,5 - 10,283) / 10,283) \times 0,003 = 0,033$
 $M_n = 442,217 \times 420 \times (123,5 - 8,740 / 2) = 22126107,81 \text{ Nmm}$
 $\phi M_n = 22126107,81 \times 0,9 = 19913497,03 \text{ Nmm}$
 Cek = $\phi M_n > M_u = \text{Ok}$
 $= 19913497,03 > 12947400 = \text{Ok}$

Maka digunakan tulangan D13 – 300

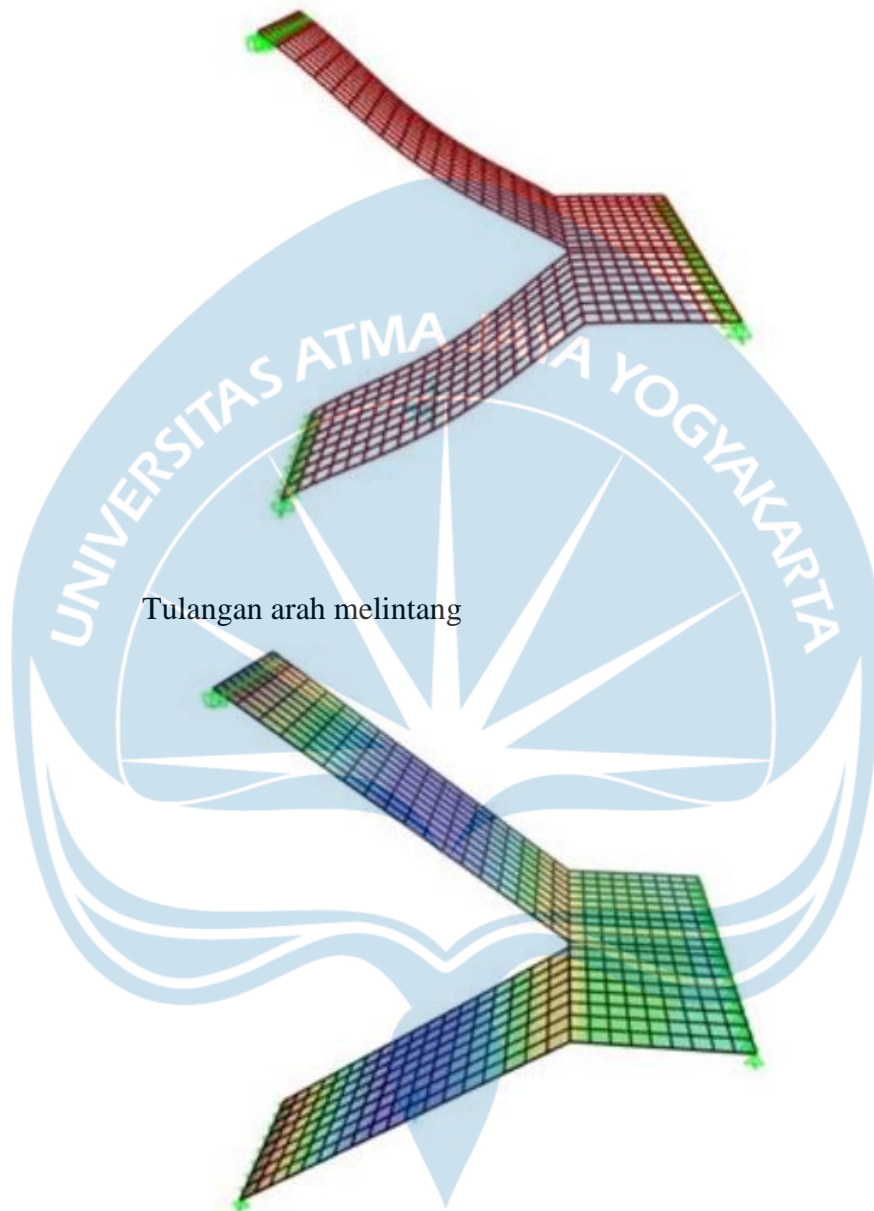
c. Perhitungan tulangan susut

$As_{\text{min}} = 0,002 \times 1000 \times 150 = 330 \text{ mm}^2$
 $s = (1000 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2) / 330 = 237,879 \text{ mm}$
 $s < 5h$ atau $450 \text{ mm} = 5 \times 150 = 750$
 Maka diambil s = 200 mm

$As_{\text{aktual}} = (1000 / 200) \times (1/4 \times 3,14 \times 10^2) = 392,5$
 Cek = $As_{\text{aktual}} > As_{\text{min}} = \text{Ok}$
 $= 392,5 > 330 = \text{Ok}$

Maka digunakan tulangan D10-200

Deformasi



Tulangan arah melintang

Gambar 2.15 Pemodelan struktur tangga

2.8. Perencanaan Plat Lantai

Perencanaan pelat lantai Gedung Perpustakaan Umum Yogyakarta terbagi kedalam dua jenis pelat yakni pelat satu arah dan juga pelat dua arah. Terdapat dua bentang (bentang D dan J) yang akan dihitung dengan cara perhitungan pelat satu arah. Lalu terdapat lima bentang yang akan dihitung

dengan cara perhitungan pelat dua arah (bentang A, B, C, E, F). Pada setiap contoh perhitungan diberikan untuk setiap jenis pelat. Hasil perhitungan untuk setiap pelat akan disertakan dalam lampiran.

1. Pembebanan Pelat

Perhitungan beban pelat lantai dapat dilakukan dengan memeriksa berat sendiri, finishing, plafond, dan MEP sesuai Tabel 2.6 di bawah ini:

Tabel 2.9 Beban pelat lantai

Beban Mati	Berat Satuan (kg/m ²)	(kN/m ²)
Penggantung	7	0,068
Plafon	11	0,107
Pelat	264	2,588
Mekanikal elektrik	20	0,196
Spesi (3cm)	63	0,617
Keramik (1cm)	24	0,235
Pasir	16	0,156
total	405	3,967

$$LL = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$DL = 405 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} qu &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 \times 405 + 1,6 \times 400 \\ &= 1126 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

2. Menghitung Momen Pelat

Momen ultimate

Contoh perhitungan menggunakan pelat A (pelat 2 arah)

$$\text{Bentang pendek pelat (Lx)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Bentang panjang pelat (Ly)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{rasio bentang pelat (ly/lx)} = 1,000$$

$$\text{Koef.momen lapangan arah bentang pendek (Xlx)} = 23$$

$$\text{Koef.momen tumpuan arah bentang pendek (Xtx)} = 55,5$$

$$\begin{aligned} \text{Koef.momen lapangan arah bentang panjang (Xly)} &= 21 \\ \text{Koef.momen tumpuan arah bentang panjang (Xty)} &= 53 \\ \text{Beban terfaktor (qu)} &= 1126 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$ML_x = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$ML_x = 0,001 \times 1126 \times 3^2 \times 23 = 233,082 \text{ kg/m}$$

$$ML_y = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$ML_y = 0,001 \times 1126 \times 3^2 \times 21 = 212,814 \text{ kg/m}$$

$$Mtx = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mtx = 0,001 \times 1126 \times 3^2 \times 55,5 = 562,437 \text{ kg/m}$$

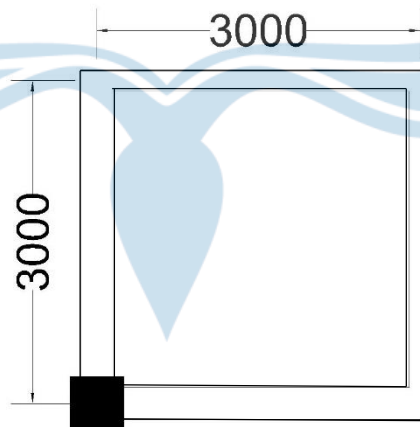
$$Mty = 0,001 \times qu \times Lx^2 \times X$$

$$Mty = 0,001 \times 1126 \times 3^2 \times 53 = 537,102 \text{ kg/m}$$

$$Mux = 562,437 \text{ kg/m} \approx 5515622,806 \text{ Nmm, Tulangan Arah Y}$$

$$Muy = 537,102 \text{ kg/m} \approx 5267171,328 \text{ Nmm, Tulangan Arah X}$$

2.8.1. Perencanaan Pelat Dua Arah



Gambar 2.17 Desain pelat 2 arah

Perhitungan menggunakan pelat A sebagai contoh perhitungan pelat dua arah.

Data:

Tulangan Lentur : D 10

Tulangan Susut	: D 10
h	: 120 mm
ts	: 20 mm
∅	: 0,9
fy (tulangan sirip)	: 420 Mpa
fc'	: 25 Mpa
b	: 1 m ≈ 1000 mm

1. Perencanaan Tulangan Susut dan Lentur

a. Tumpuan

$$\begin{aligned}
 Dx \text{ susut} &= h - ts - (\emptyset \text{ susut})/2 \\
 &= 120 - 20 - 10/2 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 (Hal 145)

$$\begin{aligned}
 P_{min} &= 0,0018 \times 420 / 420 \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= P_{min} \times Dx \times b \\
 &= 0,0018 \times 95 \times 1000 \\
 &= 171 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= (b / s) \times (\pi \times (\emptyset \text{ tulangan susut})^2 / 4) \\
 &= (1000 / 450) \times (3,14 \times 10^2 / 4) \\
 &= 174,444 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = A_{s \text{ perlu}} > A_{sh} = \text{Ok}$$

Jadi, menggunakan tulangan susut D10-450

Tulangan lentur arah X

$$\begin{aligned}
 dx &= h - ts - (\emptyset \text{ tulangan lentur})/2 \\
 &= 120 - 20 - 10/2 \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= M_{ux} / \phi \\ &= 5515622,806 / 0,9 \\ &= 6128469,785 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= M_{nx} / (b \times d^2) \\ &= 6128469,785 / (1000 \times 95^2) \\ &= 0,67905 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= f_y / (0,85 \times (f_c')) \\ &= 420 / (0,85 \times 25) \\ &= 19,76471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\rho) &= 1/m \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n) / f_y}) \\ &= 1/19,765 \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times 19,765 \times 0,67905) / 420}) \\ &= 0,00164 \end{aligned}$$

Karena, $f_y \geq 420$

$$\begin{aligned} P(\rho)_{\min} &= (0,0018 \times 420) / f_y \\ &= (0,0018 \times 420) / (420) \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= p(\rho)_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 95 \\ &= 171,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$S < 3h$ atau 450 mm

Diambil $S = 250$ mm

$$\begin{aligned} A_{sp} &= b/S \times (\pi \times D^2) / 4 \\ &= 1000/250 \times (3,14 \times 10^2) / 4 \\ &= 314,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok} \\ &= 314,000 > 171,000 = \text{Ok} \end{aligned}$$

Jadi, tulangan lentur arah X menggunakan D10-250

Tulangan lentur arah Y

$$\begin{aligned} d_y &= h - t_s - (\phi \text{ tulangan lentur}) - (\phi \text{ tulangan lentur} / 2) \\ &= 120 - 20 - 10 - (10/2) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= M_{uy}/\phi \\ &= 5267171,328 / 0,9 \\ &= 5852412,587 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= M_{ny} / (b \times d^2) \\ &= 5852412,587 / (1000 \times 85^2) \\ &= 0,81002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= f_y / (0,85 \times (f_c')) \\ &= 420 / (0,85 \times 25) \\ &= 19,76471 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(\rho) &= 1/m \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n)/f_y}) \\ &= 1/19,76471 \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times 19,76471 \times 0,81002)/420}) \\ &= 0,00197 \end{aligned}$$

Karena, $f_y \geq 420$

$$\begin{aligned} P(\rho)_{\min} &= (0,0018 \times 420)/f_y \\ &= (0,0018 \times 420)/(420) \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= p(\rho) \times b \times d \\ &= 0,00197 \times 1000 \times 85 \\ &= 167,183 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$S < 3h$ atau 450 mm

Diambil $S = 250$ mm

$$\begin{aligned} A_{sp} &= b/S \times (\pi \times D^2)/4 \\ &= 1000/250 \times (3,14 \times 10^2)/4 \\ &= 314,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok} \\ &= 314,000 > 167,183 = \text{Ok} \end{aligned}$$

Jadi, tulangan lentur arah Y menggunakan D10-250

b. Lapangan

$$\begin{aligned} D_x \text{ susut} &= h - t_s - (\phi \text{ susut})/2 \\ &= 120 - 20 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 (Hal 145)

$$\begin{aligned}P_{min} &= 0,0018 \times 420 / 420 \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sh} &= P_{min} \times D_x \times b \\ &= 0,0018 \times 95 \times 1000 \\ &= 171 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= (b / s) \times (\pi \times (\varnothing \text{ tulangan susut})^2 / 4) \\ &= (1000 / 450) \times (3,14 \times 10^2 / 4) \\ &= 174,444 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Cek} = A_{s \text{ perlu}} > A_{sh} = \text{Ok}$$

Jadi, menggunakan tulangan susut D10-450

Tulangan lentur arah X

$$\begin{aligned}d_x &= h - t_s - (\varnothing \text{ tulangan lentur})/2 \\ &= 120 - 20 - 10/2 \\ &= 95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{nx} &= M_{ux} / \varnothing \\ &= 2285753,595 / 0,9 \\ &= 2539726,217 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= M_{nx} / (b \times d_x^2) \\ &= 2539726,217 / (1000 \times 95^2) \\ &= 0,28141\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= f_y / (0,85 \times (f_c')) \\ &= 420 / (0,85 \times 25) \\ &= 19,76471\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P(\rho) &= 1/m \times (1 - \sqrt{(1 - (2 \times m \times R_n) / f_y)}) \\ &= 1/19,76471 \times (1 - \sqrt{(1 - (2 \times 19,76471 \times 0,28141) / 420)}) \\ &= 0,00067\end{aligned}$$

Karena, $f_y \geq 420$

$$P(\rho)_{min} = (0,0018 \times 420) / f_y$$

$$= (0,0018 \times 420)/(420)$$

$$= 0,0018$$

$$\text{Ash} = \rho_{\min} \times b \times d_x$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 95$$

$$= 171,000 \text{ mm}^2$$

$$S < 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil } S = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Asp} = b/S \times (\pi \times D^2)/4$$

$$= 1000/250 \times (3,14 \times 10^2)/4$$

$$= 314,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek} = \text{Asp} > \text{Ash} = \text{Ok}$$

$$= 314,000 > 171,000 = \text{Ok}$$

Jadi, tulangan lentur arah X menggunakan D10-250

Tulangan lentur arah Y

$$d_y = h - t_s - (\emptyset \text{ tulangan lentur}) - (\emptyset \text{ tulangan lentur}/2)$$

$$= 120 - 20 - 10 - (10/2)$$

$$= 85 \text{ mm}$$

$$M_{ny} = M_{uy}/\emptyset$$

$$= 2086992,413 / 0,9$$

$$= 2318880,459 \text{ Nmm}$$

$$R_n = M_{ny} / (b \times d_y^2)$$

$$= 2318880,459 / (1000 \times 85^2)$$

$$= 0,32095$$

$$m = f_y / (0,85 \times (f_c'))$$

$$= 420 / (0,85 \times 25)$$

$$= 19,76471$$

$$P(\rho) = 1/m \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n)/f_y})$$

$$= 1/19,76471 \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times 19,76471 \times 0,32095)/420})$$

$$= 0,00077$$

Karena, $f_y \geq 420$

$$P(\rho)_{\min} = (0,0018 \times 420)/f_y$$

$$= (0,0018 \times 420)/(420)$$

$$= 0,0018$$

$$\text{Ash} = \rho_{\min} \times b \times d_y$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 85$$

$$= 153,000 \text{ mm}^2$$

$$S < 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil } S = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Asp} = b/S \times (\pi \times D^2)/4$$

$$= 1000/250 \times (3,14 \times 10^2)/4$$

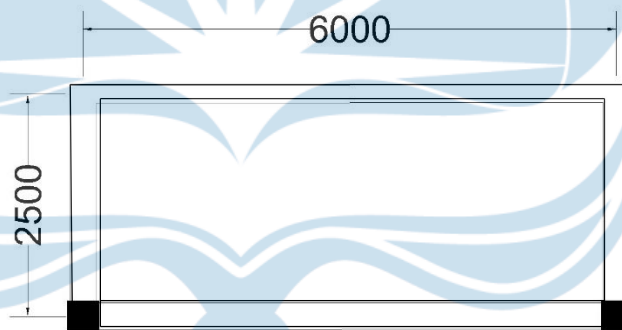
$$= 314,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek} = \text{Asp} > \text{Ash} = \text{Ok}$$

$$= 314,000 > 153,000 = \text{Ok}$$

Jadi, tulangan lentur arah Y menggunakan D10-250

2.8.2 Pelat Satu arah



Gambar 2.16 Desain pelat 1 arah

Perhitungan menggunakan pelat J sebagai contoh perhitungan pelat satu arah.

Data:

Tulangan Lentur	= D8
Tulangan Susut	= D10
h	= 120 mm
ts	= 20 mm
ø	= 0,9

$$\begin{aligned}
 f_y \text{ (tulangan sirip)} &= 420 \text{ Mpa} \\
 f_c' &= 25 \text{ Mpa} \\
 b &= 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm} \\
 W_u &= 1126 \text{ kg/m}^2 = 11,04229 \text{ kNm}^2
 \end{aligned}$$

1. Tumpuan

Clear Spacing

$$\begin{aligned}
 L_n1 &= 1000 - (250/2) - (150/2) \\
 &= 800 \text{ mm} = 0,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Momen Ultimate

$$\begin{aligned}
 M1 &= W_u \times L_n1^2 / 24 \\
 &= 11,04229 \times 0,8^2 / 24 \\
 &= 0,29446 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= W_u \times L_n1^2 / 14 \\
 &= 11,04229 \times 0,8^2 / 14 \\
 &= 0,50479 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M3 &= W_u \times L_n1^2 / 11 \\
 &= 11,04229 \times 0,8^2 / 11 \\
 &= 0,64246 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Diambil Mu tumpuan terbesar = 0,64246 kNm = 642460,5091 Nmm

a. Perencanaan Tulangan Lentur dan Susut

Tulangan lentur

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_s - (\text{tulangan lentur}/2) \\
 &= 120 - 20 - (8/2) \\
 &= 96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 642460,5091 / 0,9 \\
 &= 713845,0101 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= M_n / (b \times d^2) \\
 &= 713845,0101 / (1000 \times 96^2) \\
 &= 0,0774
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= f_y / (0,85 \times f_c) \\
 &= 420 / (0,85 \times 25) \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\rho) &= 1 / m \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times m \times R_n) / f_y}) \\
 &= 1 / 19,765 \times (1 - \sqrt{1 - (2 \times 19,765 \times 0,0774) / 420}) \\
 &= 0,000184759
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\min) &= 0,0018 \times 420 / 420 \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s h &= 1000 \times 96 \times 0,0018 \\
 &= 172,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$s < 3h$ atau 450 mm

Diambil $s = 250$ mm

$$\begin{aligned}
 A_{sp} &= (1000 / 250) \times (1/4 \times 3,14 \times 8^2) \\
 &= 200,96 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok}$$

Jadi, digunakan tulangan D8-250

Tulangan susut

$$\begin{aligned}
 d &= h - t_s - (\text{tul. Lemtur}) - (\text{tulangan susut} / 2) \\
 &= 120 - 20 - 8 - (10 / 2) \\
 &= 87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\min) &= 0,0018 \times 420 / 420 \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= 0,0018 \times 87 \times 1000 \\
 &= 156,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= (1000 / 156,6) \times (1/4 \times 3,14 \times 10^2) \\
 &= 501,277 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$s < 5h$ atau 450 mm

Diambil $s = 450$ mm

$$\begin{aligned}
 A_{sp} &= (1000 / 450) \times (1/4 \times 3,14 \times 10^2) \\
 &= 174,444 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok}$$

Jadi, digunakan tulangan D10-450

2. Lapangan

Clear spacing

$$\begin{aligned} L_n1 &= 2500 - (250/2) - (150/2) \\ &= 2300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen ultimate

$$M1 = 2,43390 \text{ kNm}$$

$$M2 = 4,17241 \text{ kNm}$$

$$M3 = 5,31034 \text{ kNm}$$

$$\text{Diambil } M_u \text{ lapangan} = 4,17241 \text{ kNm} = 4172408,15 \text{ Nmm}$$

a. Perencanaan Tulangan Lentur dan Susut

Tulangan Lentur

$$d \text{ (tinggi efektif)} = 96 \text{ mm}$$

$$M_n = 4636009,056 \text{ Nmm}$$

$$R_n = 0,503$$

$$m = 19,765$$

$$P(\rho) = 0,00121$$

$$p_{\min} = 0,0018$$

$$A_s \text{ harus} = 172,8 \text{ mm}^2$$

$$s < 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$

$$\text{diambil } s = 250 \text{ mm}$$

$$A_{sp} = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok}$$

Jadi, digunakan tulangan lentur D8-250

Tulangan susut

$$d = 87 \text{ mm}$$

$$P_{\min} = 0,0018$$

$$A_{sh} = 156,6 \text{ mm}^2$$

$$s = 501,2771392 \text{ mm}$$

$s < 5h$ atau 450 mm

Diambil $s = 450$ mm

$A_{sp} = 174,444 \text{ mm}^2$

$A_{sp} > A_{sh} = \text{Ok}$

Jadi, digunakan tulangan susut D10-450

2.9. Perencanaan Balok

Data-data

Diketahui:

Gedung	: Perpustakaan Umum Yogyakarta
Kelas situs	: SD
Tebal plat lantai	: 120 mm
Balok	: - Balok induk : 600 x 300 mm : 300 x 250 mm - Balok anak : 400 x 200 mm : 200 x 150 mm
Kolom	: 500 x 500 mm 350 x 350 mm
Tinggi tingkat	: 3 lantai (Gedung perpustakaan) 2 lantai (Gedung <i>co-working</i>)
Mutu beton f'_c	: 25 Mpa
Mutu baja f_y	: 420 Mpa
Kategori resiko gedung	: IV (Perpustakaan)
Tinggi setiap lantai	: 4500 mm

Balok 600 x 300

Material dan Penampang:

Panjang Balok, L	$= 6000$	mm
Lebar Balok, b	$= 300$	mm
Tinggi Balok, h	$= 600$	mm
Panjang Tumpuan	$= 1200$	mm
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b	$= 19$	mm
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}	$= 10$	mm

Diameter Tulangan Sengkang, d_s	= 10	mm
Selimit Bersih, c_c	= 40	mm
Tinggi Efektif Balok, d	= 540,5	mm
Kuat Tekan Beton, f_c'	= 25	MPa
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y	= 420	MPa
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y	= 240	MPa
β_1	= 0,8500	
Panjang Kolom, c_1	= 500	mm
Lebar Kolom, c_2	= 500	mm
L_n	= 5500	mm
λ	= 1	

Berdasarkan analisis struktur dari program ETABS didapatkan gaya dalam balok seperti pada tabel berikut:

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
M_u^+ (kNm)	197,8748	114,8477
M_u^- (kNm)	-242,3491	-135,3308
V_u (kN)	34,3443	34,3443

Penulangan Lentur

a. Tumpuan negatif

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= 5 \\ \text{Jarak bersih antar tulangan} &= (b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b) / (n - 1) \\ &= (300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 19) / (5 - 1) \\ &= 26,250 \text{ mm} \\ \text{Asp} &= n \times \pi/4 \times d_b^2 \\ &= 3,14 / 4 \times 19^2 \times 5 \\ &= 1417,644 \text{ mm}^2 \\ \text{As min} &= 1,4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\ &= 1,4 / (4 \times 420) \times 300 \times 540,5 \\ &= 540,500 \text{ mm}^2 \\ \text{P} &= \text{As} / (b \times d) \\ &= 1417,644 / (300 \times 540,5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,87\% \\
 a &= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\
 &= 1417,644 \times 420 / (0,85 \times 25 \times 300) \\
 &= 93,398 \text{ mm} \\
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 1417,644 \times 420 (540,5 - 93,398/2) \\
 &= 294,014 \text{ kNm} \\
 c &= a / \beta_1 \\
 &= 93,398 / 0,8500 \\
 &= 109,880 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\
 &= (540,5 - 109,880) / 109,880 \times 0,003 \\
 &= 0,012 \\
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 294,014 \\
 &= 264,613 \text{ kNm} \\
 \text{Cek kapasitas} &= \phi M_n > M_u? = \text{Ok} \\
 &= 264,613 > 242,349 = \text{Ok}
 \end{aligned}$$

b. Tumpuan positif

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= 4 \\
 \text{Jarak bersih antar tulangan} &= 41,33 \text{ mm} \\
 A_{sp} &= 1134,115 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ min}} &= 540,500 \text{ mm}^2 \\
 P &= 0,70\% \\
 a &= 74,718 \text{ mm} \\
 M_n &= 239,660 \text{ kNm} \\
 c &= 87,904 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= 0,015 \\
 \phi M_n &= 215,694 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Cek kapasitas} &= \phi M_n > M_u = \text{Ok} \\ &= 215,694 > 197,875 = \text{Ok}\end{aligned}$$

c. Lapangan negatif

$$\text{Jumlah tulangan} = 3$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak bersih antar tulangan} &= (b - 2c_c - 2d_s - n \times d_b) / (n - 1) \\ &= (300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19) / (3 - 1) \\ &= 71,500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Asp} &= n \times \pi / 4 \times d_b^2 \\ &= 3,14 / 4 \times 19^2 \times 3 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As min} &= 1,4 / (4 \times f_y) \times b \times d \\ &= 1,4 / (4 \times 420) \times 300 \times 540,5 \\ &= 540,500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \text{As} / (b \times d) \\ &= 850,586 / (300 \times 540,5) \\ &= 0,52\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \text{As} \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b) \\ &= 850,586 \times 420 / (0,85 \times 25 \times 300) \\ &= 56,039 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \text{As} \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 850,586 \times 420 (540,5 - 56,039 / 2) \\ &= 183,082 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= a / \beta_1 \\ &= 56,039 / 0,8500 \\ &= 65,928 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= (d - c) / c \times 0,003 \\ &= (540,5 - 65,928) / 65,928 \times 0,003 \\ &= 0,022\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 183,082 \\ &= 164,774 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek kapasitas} &= \phi M_n > M_u = \text{Ok} \\ &= 164,774 > 135,331 = \text{Ok} \end{aligned}$$

d. Lapangan positif

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= 3 \\ \text{Jarak bersih antar tulangan} &= 71,500 \text{ mm} \\ \text{Asp} &= 850,586 \text{ mm}^2 \\ \text{As min} &= 540,500 \text{ mm}^2 \\ P &= 0,52\% \\ a &= 56,039 \text{ mm} \\ M_n &= 183,082 \text{ kNm} \\ c &= 65,928 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= 0,022 \\ \phi M_n &= 164,774 \text{ kNm} \\ \text{Cek kapasitas} &= \phi M_n > M_u = \text{Ok} \\ &= 164,774 > 114,848 = \text{Ok} \end{aligned}$$

Penulangan Geser

a. Gaya dalam

$$\begin{aligned} V_u \text{ tumpuan} &= 198,2326 \text{ kN} \\ V_u \text{ lapangan} &= 155,4213 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Tumpuan

Tahanan Geser Beton

$$\begin{aligned} V_{pr} &= 118699 \text{ N} \\ 1/2 V_e &= 242082/2 = 121041 \text{ N} \\ P_u &= 34,3443 \times 1000 = 34344,3 \text{ N} \\ A_g f_c' / 20 &= 600 \times 300 \times 25 / 20 = 225000 \\ V_c &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 300 \times 540,5 \\ &= 137828 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan Geser

$$\text{Jumlah Kaki} = 3$$

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \pi/4 \times d_s^2 \\
 &= 3 \times 3,14/4 \times 10^2 \\
 &= 235,619 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} &= 100\text{mm} \\
 \text{Spasi Max 1} &= d/4 \\
 &= 540,5/4 = 135,13 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 2} &= 6 \times d_b \\
 &= 6 \times 19 = 114 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max 3} &= 150\text{mm} \\
 V_s &= A_v \times f_y \times d / s \\
 &= 235,619 \times 240 \times 540,5 / 100 \\
 &= 305646 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times (f_c')^{0,5} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times (25 \times 0,5) \times 300 \times 540,4 \\
 &= 535095 \text{ N} \\
 \Phi &= 0,75 \\
 V_n &= V_c + V_s = 137828 + 305646 = 443473 \text{ N} \\
 V_u &= 242082 \\
 \phi V_n / V_u &= 0,75 (443473 / 242082) \\
 &= 1,374 \\
 \text{Cek kapasitas} &= \phi V_n / V_u \geq 1 = \text{Ok} \\
 &= 1,374 \geq 1 = \text{Ok}
 \end{aligned}$$

c. Lapangan
Penulangan Geser

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Kaki} &= 3 \\
 A_v &= 235,619 \text{ mm}^2 \\
 \text{Spasi} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{Spasi Max} &= 270,25 \text{ mm} \\
 V_s &= 203764 \text{ N} \\
 \text{Batas } V_s &= 535095 \text{ N} \\
 V_c &= 137828 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi &= 0,75 \\ V_n &= 341591 \\ V_u &= 155421,3 \text{ N} \\ \phi V_n / V_u &= 1,648 \\ \text{Cek kapasitas} &= \phi V_n / V_u \geq 1 = \text{Ok} \\ &= 1,648 \geq 1 = \text{Ok}\end{aligned}$$

Penulangan Longitudinal

Direncanakan tulangan D19 ($f_y = 420 \text{ MPa}$)

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 40 mm

$$\begin{aligned}d &= h - \text{sel. beton} - \text{dia. sengkang} - 0,5 \text{ dia. tulangan} \\ &= 600 - 40 - 10 - 0,5(19) \\ &= 540,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan Excel

Balok 600 x 300

Tabel 2.10 Desain Lentur

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Input	mm	6000
Lebar Balok, b			Input	mm	300
Tinggi Balok, h			Input	mm	600
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	$2 \times h$	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Input	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}			Input	mm	10
Diameter Tulangan Senggang, d_s			Input	mm	10
Selimut Bersih, c_c			Input	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d			$h - c_c - d_s - d_b/2$	mm	540,5
Kuat Tekan Beton, f_c'			Input	MPa	25
Kuat Leleh Tul. Longitudinal, f_y			Input	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y			Input	MPa	240
β_1	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	$0.65 \leq 0.85 - 0.05 \times (f_c' - 28) / 7 \leq 0.85$		0,8500
Panjang Kolom, c_1			Input (Sisi tegak lurus lebar balok)	mm	500
Lebar Kolom, c_2			Input (Sisi yang ditempel balok/sejajar lebar balok)	mm	500
L_n			$L - c_1$	mm	5500
λ			Asumsi tidak menggunakan beton ringan		1
Gaya Dalam					
$M_{u,tumpuan (-)}$			Input	kN-m	- 242,3491
$M_{u,tumpuan (+)}$			Input	kN-m	197,8748
$M_{u,lapangan (-)}$			Input	kN-m	- 135,3308
$M_{u,lapangan (+)}$			Input	kN-m	114,8477
P_u			Input	kN	34,3443

Tabel 2.10 Desain Lentur (lanjutan)

Syarat Gaya dan Geometri					
Syarat Gaya Aksial	21.5.1.1	Tidak dipersyaratkan. Baca R18.6.1 dan 18.6.4.7	$P_u \leq 0.1 A_g f'_c$?		OK
Syarat Tinggi Efektif	21.5.1.2	18.6.2.1	$L_n \geq 4d$?		OK
Syarat Lebar 1	21.5.1.3	18.6.2.1	$b \geq \min(0.3h, 250 \text{ mm})$?		OK
Syarat Lebar 2	21.5.1.4	18.6.2.1	$b \leq c_2 + 2 \times \min(c_2, 0.75 c_1)$?		OK
Penulangan Lentur					
Tumpuan Negatif					
Jumlah Tulangan Negatif Tumpuan, n			Input		5
d_b				mm	19
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b) / (n - 1)$	mm	26,250
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n \times \pi/4 \times d_b^2$	mm ²	1417,644
$A_{s \text{ min},1}$	10.5.1	9.6.1.2	$(f'_c)^{0.5} / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	482,589
$A_{s \text{ min},2}$	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	540,500
Cek As min			$A_s \text{ Pasang} \geq A_s \text{ min}$?		OK
ρ			$A_s / (b \times d)$		0,87%
$\rho_{\text{max},1}$	B.10.3	Tidak ada	$0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f'_c / f_y \times (600 / (600 + f_y))$		1,90%
$\rho_{\text{max},2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2,5%		2,50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{\text{max}}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s \times f_y / (0.85 \times f'_c \times b)$	mm	93,398
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s \times f_y \times (d - a/2)$	kN-m	294,014
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	109,880
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c \times 0.003$		0,012
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n			$\phi \times M_n$	kN-m	264,613
$M_{u,tumpuan (-)}$				kN-m	242,349

Tabel 2.10 Desain Lentur (lanjutan)

Cek Kapasitas			$\phi M_n > M_u ?$		OK
As Perlu			$M_u / [f_y \times (d - a/2)]$	mm ²	1168,530
Tumpuan Positif					
n			Input		4
d _b				mm	19
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b) / (n - 1)$	mm	41,333
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n \times \pi/4 \times d_b^2$	mm ²	1134,115
As _{min,1}	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	482,589
As _{min,2}	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	540,500
As _{min,4}	21.5.2.2	18.6.3.2	0.5 x As Tumpuan Negatif	mm ²	708,822
Cek As min			As Pasang \geq As min ?		OK
ρ			As / (b x d)		0,70%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c' / f_y \times (600 / (600 + f_y))$		1,90%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2,5%		2,50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max} ?$		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$	mm	74,718
M _n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As \times f_y \times (d - a/2)$	kN-m	239,660
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	87,904
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c \times 0.003$		0,015
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 * 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n			$\phi \times M_n$	kN-m	215,694
M _u				kN-m	197,875
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u ?$		OK
As Perlu			$M_u / [f_y \times (d - a/2)]$	mm ²	936,379
Lapangan Negatif					
n			Input		3
d _b				mm	19
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b) / (n - 1)$	mm	71,500

Tabel 2.10 Desain Lentur (lanjutan)

Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n \times \pi/4 \times d_b^2$	mm ²	850,586
As _{min,1}	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	482,589
As _{min,2}	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	540,500
As _{min,4}	21.5.2.2	18.6.3.2	0.25 x As Tumpuan Negatif	mm ²	354,411
Cek As min			As Pasang \geq As min ?		OK
ρ			As / (b x d)		0,52%
$\rho_{max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c' / f_y \times (600 / (600 + f_y))$		1,90%
$\rho_{max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2,5%		2,50%
Cek As max			$\rho \leq \rho_{max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$As \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$	mm	56,039
M _n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	As x f _y x (d - a/2)	kN-m	183,082
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	65,928
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c \times 0.003$		0,022
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n			$\phi \times M_n$	kN-m	164,774
M _u				kN-m	135,331
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y \times (d - a/2)]$	mm ²	628,738
Lapangan Positif					
n			Input		3
d _b				mm	19
Jarak Bersih Antar Tulangan			$(b - 2 c_c - 2 d_s - n \times d_b) / (n - 1)$	mm	71,500
Cek Jarak Bersih	7.6.1	25.2.1	Jarak Bersih $\geq d_b$ dan 25 mm?		IYA
Jumlah Lapis					1
As Pasang			$n \times \pi/4 \times d_b^2$	mm ²	850,586
As _{min,1}	10.5.1	9.6.1.2	$(f_c')^{0.5} / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	482,589
As _{min,2}	10.5.1, 21.5.2.1	9.6.1.2	$1.4 / (4 \times f_y) \times b \times d$	mm ²	540,500

Tabel 2.10 Desain Lentur (lanjutan)

$A_{s\ min,4}$	21.5.2.2	18.6.3.2	0.25 x A_s Tumpuan Negatif	mm ²	354,411
Cek $A_{s\ min}$			$A_s\ Pasang \geq A_{s\ min}$?		OK
ρ			$A_s / (b \times d)$		0,52%
$\rho_{\ max,1}$	B.10.3		$0.75 \rho_b = 0.75 \times 0.85 \times \beta_1 \times f_c' / f_y \times (600 / (600 + f_y))$		1,90%
$\rho_{\ max,2}$	21.5.2.1	18.6.3.1	2,5%		2,50%
Cek $A_{s\ max}$			$\rho \leq \rho_{\ max}$?		OK
a	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$	mm	56,039
M_n	10.2.7.1	22.2.2.4.1	$A_s \times f_y \times (d - a/2)$	kN-m	183,082
c	10.2.7.1	22.2.2.4.1	a / β_1	mm	65,928
ϵ_s	10.2.2, 10.2.3	22.2.1.2, 22.2.2.1	$(d - c) / c \times 0.003$		0,022
ϕ	S9.3.2	Tabel 21.2.2	$0.65 \leq 0.65 + (\epsilon_s - 0.002) / 0.003 \times 0.25 \leq 0.9$		0,900
ϕM_n			$\phi \times M_n$	kN-m	164,774
M_u				kN-m	114,848
Cek $\phi M_n > M_u$			$\phi M_n > M_u$?		OK
As Perlu			$M_u / [f_y \times (d - a/2)]$	mm ²	533,575

Tabel 2.11 Desain Geser

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	300
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	600
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10

Tabel 2.11 Desain Geser (lanjutan)

Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimit Bersih, c_c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	540,5
Kuat Tekan Beton, f_c'			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	25
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	240
β_1	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0,8500
Panjang Kolom, c_1			Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
Lebar Kolom, c_2			Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
L_n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5500
Gaya Dalam					
$V_{u,tumpuan}$			Input	kN	198,2326
$V_{u,lapangan}$			Input	kN	155,4213
Tumpuan					
Gaya Desain					
$V_{g,tumpuan}$	S21.5.4	R18.6.5	Input [Kombinasi 1.2 D + L]	kN	123,3832
A_s^+ Tumpuan			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	1134,115
A_s^- Tumpuan			Dari Sheet Desain Lentur	mm ²	1417,644
a_{pr}^+			1.25 a (tumpuan positif)	mm	93,398
a_{pr}^-			1.25 a (tumpuan negatif)	mm	116,747
M_{pr}^+	S21.5.4	R18.6.5	$A_s^+ \times (1.25 f_y) \times (d - a_{pr}^+/2)$	N mm	294014314
M_{pr}^-	S21.5.4	R18.6.5	$A_s^- \times (1.25 f_y) \times (d - a_{pr}^-/2)$	N mm	358828836
V_{sway} atau V_{pr}	21.5.4.1	18.6.5.1	$(M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n$	N	118699
V_e	21.5.4.1	18.6.5.1	$V_g + V_{pr}$	N	242082
Tahanan Geser Beton					

Tabel 2.11 Desain Geser (lanjutan)

V_{pr}				N	118699
$1/2 V_e$				N	121041
P_u				N	34344,3
$A_g f_c' / 20$				N	225000
V_c Diperhitungkan?	21.5.4.2	18.6.5.2	$V_c = 0$ jika $V_{pr} \geq 1/2 V_e$ dan $P_u < A_g f_c' / 20$		Iya
V_c				N	137828
Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		3
A_v			$n \times \pi/4 \times d_s^2$	mm ²	235,619
Spasi			Input	mm	100
Spasi Max 1	21.5.3.2	18.6.4.4	$d / 4$	mm	135,13
Spasi Max 2	21.5.3.2	18.6.4.4	$6 d_b$	mm	114,00
Spasi Max 3	21.5.3.2	18.6.4.4	150 mm	mm	150,00
Cek Spasi					OK
V_s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v \times f_y \times d / s$	N	305646
Batas V_s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d$	N	535095
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0,75
V_n			$V_c + V_s$	N	443473
V_u				N	242082
$\phi V_n / V_u$					1,374
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK
Lapangan					
Penulangan Geser					
Jumlah Kaki			Input		3
A_v			$n \times \pi/4 \times d_s^2$	mm ²	235,619
Spasi			Input	mm	150
Spasi Max	21.5.3.4	18.6.4.6	$d / 2$	mm	270,25
Cek Spasi					OK
V_s	11.4.7.2	22.5.10.5.3	$A_v \times f_y \times d / s$	N	203764
Batas V_s	11.4.7.9	22.5.1.2	$0.66 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d$	N	535095
V_c	11.2.1.1	22.5.5.1	$0.17 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d$	N	137828
ϕ	9.3.2.3	12.5.3.2, 21.2.4			0,75

Tabel 2.11 Desain Geser (lanjutan)

V_n			$V_c + V_s$		341591
V_u				N	155421,3
$\phi V_n / V_u$					1,648
Cek Kapasitas			$\phi V_n / V_u \geq 1 ?$		OK

Tabel 2.12 Desain Torsi

Parameter	Pasal Referensi		Persamaan	Satuan	Nilai
	SNI 2847:2013	SNI 2847:2019			
Properti Material dan Penampang					
Panjang Balok, L			Dari Sheet Desain Lentur	mm	6000
Lebar Balok, b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	300
Tinggi Balok, h			Dari Sheet Desain Lentur	mm	600
Panjang Tumpuan	21.5.3.1	18.6.4.1	Dari Sheet Desain Lentur	mm	1200
Diameter Tulangan Longitudinal, d_b			Dari Sheet Desain Lentur	mm	19
Diameter Tulangan Pinggang, d_{bt}			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Diameter Tulangan Sengkang, d_s			Dari Sheet Desain Lentur	mm	10
Selimit Bersih, c_c			Dari Sheet Desain Lentur	mm	40
Tinggi Efektif Balok, d			Dari Sheet Desain Lentur	mm	540,5
Kuat Tekan Beton, f_c'			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	25
Kuat Leleh Baja Tulangan, f_y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	420
Kuat Leleh Tul. Transversal, f_y			Dari Sheet Desain Lentur	MPa	240
β_1	10.2.7.3	Tabel 22.2.2.4.3	Dari Sheet Desain Lentur		0,8500
Panjang Kolom, c_1			Dari Sheet Desain Lentur	mm	500
Lebar Kolom, c_2			Dari Sheet Desain Lentur	mm	500

Tabel 2.12 Desain Torsi (lanjutan)

L_n			Dari Sheet Desain Lentur	mm	5500
Parameter Geometri Penampang untuk Perhitungan Torsi					
A_{cp}			$b \times h$	mm^2	180000
P_{cp}			$2 \times (b + h)$	mm	1800
x_o			$b - 2c_c - d_s$	mm	210
y_o			$h - 2c_c - d_s$	mm	510
A_{oh}		R22.7.6.1.1	$x_o \times y_o$	mm^2	107100
A_o	11.5.3.6	22.7.6.1.1	$0.85 A_{oh}$	mm^2	91035
P_h		22.7.6.1	$2 \times (x_o + y_o)$	mm	1440
Gaya Dalam					
T_u			Input	kN m	23,7253
Pengecekan Kebutuhan Tulangan Torsi					
T_{cr}			$0.33 \times (f_c')^{0.5} \times A_{cp}^2 / P_{cp}$	N mm	29700000
ϕ	9.3.2.3	Tabel 21.2.1			0,75
$\phi T_{cr} / 4$				N mm	5568750
Perlu Tulangan Torsi?	11.5.1	Tabel 22.7.4.1	$T_u > \phi T_{cr} / 4 ?$		Iya
Pengecekan Kecukupan Dimensi Penampang					
Jenis Torsi			Statis Tertentu = Keseimbangan, Statis Tak Tentu = Kompatibilitas		Kompatibilitas
T_u Pakai	11.5.2.2	22.7.3.2, 22.7.5	ϕT_{cr} atau T_u	N mm	22275000
V_u			Dari Sheet Desain Geser	N	242082
V_c	11.2.1.1	22.5.5.1	$0.17 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d$	N	137828
Tegangan Ultimate Geser+Torsi	11.5.3.1	22.7.7.1	$\{ [V_u / b \times d]^2 + [T_u P_h / (1.7 A_{oh}^2)]^2 \}^{0.5}$	MPa	2,221
Kapasitas Tegangan Beton	11.5.3.1	22.7.7.1	$\phi \times \{ [V_c / (b \times d)] + 0.66 \times (f_c')^{0.5} \}$	MPa	3,113
Cek Dimensi Penampang	11.5.3.1	22.7.7.1	Ruas Kiri \leq Ruas Kanan ?		OK
Parameter Umum Lainnya					

Tabel 2.12 Desain Torsi (lanjutan)

f_y / f_{yt}			Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan Geser		1
θ	11.5.3.6	22.7.6.1.2	θ diambil untuk balok komponen struktur non prategang	°	45
Penulangan Transversal Torsi					
n kaki Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser		3
n kaki Lapangan			Dari Sheet Desain Geser		3
s Tumpuan			Dari Sheet Desain Geser	mm	100
s Lapangan			Dari Sheet Desain Geser	mm	150
s max 1	11.5.6.1	9.7.6.3.3	$P_h / 8$	mm	180
s max 2	11.5.6.1	9.7.6.3.3	300 mm	mm	300
Cek Spasi Tumpuan			$s \text{ Tumpuan} \geq s \text{ max ?}$		OK
Cek Spasi Lapangan			$s \text{ Lapangan} \geq s \text{ max ?}$		OK
A_{v+t} / s Tumpuan Pasang			$n \times \pi/4 \times d_s^2 / s$	mm ² /mm	2,356
A_{v+t} / s Tumpuan Pasang			$n \times \pi/4 \times d_s^2 / s$	mm ² /mm	1,571
A_t / s	11.5.3.6	22.7.6.1	$T_u / (2 \times \phi \times A_o \times f_y)$	mm ² /mm	0,388
A_v / s Tumpuan Perlu			$(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_c) / (f_y * d)$	mm ² /mm	1,426
A_v / s Lapangan Perlu			$(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_c) / (f_y * d)$	mm ² /mm	0,535
A_{v+t} / s Tumpuan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 \times A_t / s + A_v / s$		2,203
A_{v+t} / s Lapangan Perlu	11.5.5.2	R9.5.4.3	$2 * A_t / s + A_v / s$		1,312

Tabel 2.12 Desain Torsi (lanjutan)

A_{v+t} / s min 1	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.062 \times (f_c')^{0.5} \times b / f_y$		0,221
A_{v+t} / s min 2	11.5.5.2	9.6.4.2	$0.35 \times b / f_y$		0,250
Cek Geser + Torsi Tumpuan			A_{v+t} / s Pasang $\geq A_{v+t} / s$ Perlu dan min ?		OK
Cek Geser + Torsi Lapangan			A_{v+t} / s Pasang $\geq A_{v+t} / s$ Perlu dan min ?		OK
Penulangan Longitudinal Torsi					
d_b atau d_{bt}				mm	10
d_b , min	11.5.6.2	9.7.5.2	$0.042 s$	mm	6,3
Cek d_b			$d_b \geq d_b$ min ?		OK
As Perlu Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	1168,530
As Perlu Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	936,379
As Perlu Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	628,738
As Perlu Lapangan Bawah			Dari Sheet Desain Geser	mm ²	533,575
A_l	11.5.3.7	22.7.6.1	$A_t / s \times P_h$	mm ²	559,283
A_l min	11.5.5.3	9.6.4.3	$0.42 \times (f_c')^{0.5} \times A_{cp} / f_y - (A_t/s) \times P_h$	mm ²	340,717
$A_s + A_l$ Perlu Tumpuan				mm ²	2664,192
$A_s + A_l$ Perlu Lapangan				mm ²	1721,596
n Tumpuan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		5
n Tumpuan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Tumpuan Bawah			Dari Sheet Desain Lentur		4
n Tumpuan Vertikal			$2 + n$ Tengah / 2		3
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		3

Tabel 2.12 Desain Torsi (lanjutan)

n Lapangan Tengah			Input (Disarankan Kelipatan 2)		2
n Lapangan Atas			Dari Sheet Desain Lentur		3
n Tumpuan Vertikal			$2 + n \text{ Tengah} / 2$		3
Spasi Horizontal Tumpuan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas, } n \text{ bawah}) - 1]$	mm	60
Spasi Vertikal Tumpuan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	241
Spasi Horizontal Lapangan			$(b - 2c_c - 2d_s - d_b) / [\min(n \text{ atas, } n \text{ bawah}) - 1]$	mm	91
Spasi Vertikal Lapangan			$(h - 2c_c - 2d_s - d_b) / (n \text{ Vertikal} - 1)$	mm	241
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Tumpuan	11.5.6.2		Spasi ≥ 300 mm ?		OK
Cek Spasi Tulangan Longitudinal Lapangan	11.5.6.2		Spasi ≥ 300 mm ?		OK
$A_s + A_l$ Pasang Tumpuan				mm ²	2708,838
$A_s + A_l$ Pasang Lapangan				mm ²	1858,252
Cek Lentur + Torsi Tumpuan			$A_s + A_l$ Pasang $\geq A_s + A_l$ Perlu ?		OK
Cek Lentur + Torsi Lapangan			$A_s + A_l$ Pasang $\geq A_s + A_l$ Perlu ?		OK

Tabel 2.13 Kesimpulan

Kesimpulan	
Syarat Gaya dan Geometri	OK
Kapasitas Lentur	OK
Kapasitas Geser	OK
Kapasitas Torsi	OK
Tulangan Longitudinal	
Longitudinal Tumpuan Atas	5 D19
Longitudinal Tumpuan Tengah	2 D10
Longitudinal Tumpuan Bawah	4 D19
Longitudinal Lapangan Atas	3 D19
Longitudinal Lapangan Tengah	2 D10
Longitudinal Lapangan Bawah	3 D19
Tulangan Transversal/Sengkang	
Sengkang Tumpuan	3D10-100
Sengkang Lapangan	3D10-150

2.10. Perencanaan Kolom

Data-data Perencanaan:

Mutu beton (f_c)	: 25 Mpa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	: 420 Mpa
Dimensi kolom	: 500 x 500 mm
Tebal selimut beton	: 40mm
Jumlah Tulangan (n)	: 20 buah
Diameter Tulangan Ulir	: 19
modulus elastisitas (E_s)	: 20000
Pengikat sengkang persegi ϕ	: 0,65 mm
Diameter Tulangan Sengkang	: 10 mm
Tebal brutto selimut beton (d_s)	: 59,5 mm
β_1	: 0,85

1. Perhitungan Tulangan Kolom

- a. Kontrol Dimensi Sesuai SNI 2847:2013 Ps.21.6.1 Persyaratan Batas dimensi untuk kolom harus terpenuhi:

Gaya aksial terfaktor P_u harus lebih besar dari $A_g f_c' / 10$

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 500 \cdot 500 \\ &= 250000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g f_c' / 10 &= (250000 \cdot 25) / 10 \\ &= 625000 \text{ N} \\ &= 625 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis nilai ETABS nilai $P_u = 1133,6177 \text{ kN}$,

Maka $P_u > A_g f_c' / 10$ $1133,6177$

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm
c. Sisi terpendek kolom = 500 mm > 300 mm (Memenuhi)
d. Rasio penampang tidak kurang dari 0,4
Rasio antara b dan h = 500 mm / 500 mm = 1 > 0,4 (Memenuhi)

2. Tulangan Longitudinal Kolom

Direncanakan menggunakan tulangan 20D19

Luas Tulangan Longitudinal, A_s

$$\begin{aligned} &= n \times \pi / 4 \times d_b^2 \\ &= 20 \times 3,14 / 4 \times 19^2 \\ &= 5670,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio Tulangan, ρ

$$\begin{aligned} &= A_s / (b \times h) \\ &= 5670,6 / (500 \times 500) \\ &= 2,27\% \end{aligned}$$

Cek ρ_{min} dan ρ_{max}

$$1\% \leq \rho \leq 6\% = 1\% \leq 2,27\% \leq 6\% = \text{Ok}$$

3. Pengecekan *Strong Column-Weak Beam*

a $= A_s \times f_y / (0,85 \times f_c' \times b)$

$$= 5670,6 \times 420 / (0,85 \times 25 \times 500)$$

$$= 224,154 \text{ mm}$$

$$M_{nc} = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 5670,6 \times 420 \times (440,5 - 224,154 / 2)$$

$$= 782,185 \text{ kNm}$$

Cek *Strong Column-Weak Beam*

$$\Sigma M_{nc} = (M_{nc1} + M_{nc2}) \geq \Sigma 1,2 \times M_{nb} = (1,2 \times M_{n-} + M_{n+})$$

$$\Sigma M_{nc} = (782,185 + 782,185) \geq 1,2 \times M_{nb} = (1,2 \times 294,014 + 239,660)$$

$$1564,370 \geq 640,409 = \text{Ok}$$

4. Desain Transversal

Tulangan transversal tumpuan

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Pendek, } n_1 = 3$$

$$\text{Jumlah Kaki Sisi Panjang, } n_2 = 3$$

$$\text{Spasi} = 75$$

$$X_{i \max} = 350$$

$$A_{sh1} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$= 3 \times 3,14/4 \times 10^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = n \times \pi/4 \times d_s^2$$

$$= 3 \times 3,14/4 \times 10^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

5. *Confinement*/Kekangan Zona Sendi Plastis

Lebar Penampang Inti Beton, b_c

$$b - 2c_c = 500 - 2 \times 40 = 420 \text{ mm}$$

Panjang Penampang Inti Beton, h_c

$$h - 2c_c = 500 - 2 \times 40 = 420 \text{ mm}$$

Luas Penampang Kolom, A_g

$$b \times h = 500 \times 500 = 25000 \text{ mm}^2$$

Luas Penampang Inti Beton, A_{ch}

$$bc \times hc = 420 \times 420 = 176400 \text{ mm}^2$$

a. Sisi Pendek

$$\begin{aligned} \text{Ash/s min, 1} &= 0.3 (bc \times fc' / fy) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 \times (420 \times 25 / 420) \times (25000 / 176400 - 1) \\ &= 3,129 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Sisi Panjang

$$\begin{aligned} &= 0.3 (bc \times fc' / fy) \times (Ag / Ach - 1) \\ &= 0,3 \times (420 \times 25 / 420) \times (25000 / 176400 - 1) \\ &= 3,129 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c. Cek spasi

$$S_{\max 1} = b/4 = 500/4 = 125 \text{ mm}$$

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

$$hx = X_{i \max} = 350$$

$$S_{\max 3} = 100 + (350 - hx) / 3$$

$$= 100 + (350 - 350) / 3$$

$$= 100 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = \text{paling kecil dari } S_{\max 1} \ S_{\max 2} \ S_{\max 3}$$

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

$$\text{Cek spasi} = \text{spasi} \leq S_{\max} = 75 \leq 100 = \text{Ok}$$

6. Kuat Geser Zona Sendi Plastis

a. Gaya Geser Hasil Analisis Struktur

$$Vu \ 3, \text{ Sumbu Lemah} = 198232,600 \text{ N}$$

$$Vu \ 3, \text{ Sumbu Kuat} = 11552,900 \text{ N}$$

$$Nu, \text{ Gaya Tekan Terkecil} = -0,0126 \text{ kN}$$

b. Tahanan Geser Beton Sumbu Lemah

$$Vu = 198232,600$$

$$\Phi = 0,75$$

$$Vc = 0.17 (1 + Nu / (14 Ag)) (fc')^{0.5} h d$$

$$= 0,17 (1 + 0,0126 \times 10^3 / (14 \times 500 \times 500)) \times \sqrt{25} \times 500 \times 440,5$$

$$= 187213 \text{ N}$$

$$V_{sp} = Vu / \phi - Vc$$

$$= 198232,600 / 0,75 - 187213$$

$$= 77097 \text{ N}$$

$$A_{sp} = V_s / (f_y \times d)$$

$$= 77097 / (420 \times 440,5)$$

$$= 0,4167 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 0,062 (f_c')^{0.5} h / f_y$$

$$= 0,062 \times \sqrt{25} \times 0,5 \times 500 / 420$$

$$= 0,3690 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 0,35 h / f_y$$

$$= 0,35 \times 500 \times 420$$

$$= 0,4167 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } A_s = A_{sh} 1 \geq \text{Max} (A_{sp}, A_{s \text{ Min}})$$

$$= 3,142 \geq 0,4167 = \text{Ok}$$

c. Tahanan Geser Beton Sumbu Kuat

$$V_u = 49880 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,75$$

$$V_c = 0,17 (1 + N_u / (14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d$$

$$= 0,17 (1 + 0,0126 \times 10^3 / (14 \times 500 \times 500)) \times \sqrt{25} \times 500 \times 440,5$$

$$= 187213 \text{ N}$$

$$V_{sp} = V_u / \phi - V_c$$

$$= 49880 / 0,75 - 187213$$

$$= -120707 \text{ N}$$

$$A_{sp} = V_s / (f_y \times d)$$

$$= -120707 / (3 \times 187213)$$

$$= -0,2149 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min } 1} = 0,062 (f_c')^{0.5} h / f_y$$

$$= 0,062 \times \sqrt{25} \times 0,5 \times 500 / 420$$

$$= 0,3690 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ min } 2} = 0,35 h / f_y$$

$$= 0,35 \times 500 \times 420$$

$$= 0,4167 \text{ mm}$$

$$\text{Cek } A_s = A_{sh} 2 \geq \text{Max} (A_{sp}, A_{s \text{ Min}})$$

$$= 3,142 \geq 0,4167 = \text{Ok}$$

7. Tulangan Luar Sendi Plastis/Lapangan

Spasi rencana 100 mm

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 (1 + Nu/(14 A_g)) (f_c')^{0.5} h d \\ &= 187213 \text{ N} \end{aligned}$$

V_u pakai dari etabs = 198232,600 N

$$\begin{aligned} V_{sp} &= V_u/\phi - V_c \\ &= 198232,600/0,75 - 187213 \\ &= 77097 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sp} &= V_s / (f_y \times d) \\ &= 77097 / (420 \times 440,5) \\ &= 0,4167 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= 0,062 (f_c')^{0.5} h / f_y \\ &= 0,062 \times \sqrt{25} \times 0,5 \times 500 / 420 \\ &= 0,3690 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= 0,35 h / f_y \\ &= 0,35 \times 500 / 420 \\ &= 0,4167 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek } A_s = A_v/s \geq A_v/s \text{ Perlu} = \text{Ok}$$

Kesimpulan

Syarat Gaya dan Geometri OK

Kapasitas Lentur OK

Kapasitas Geser OK

Tulangan Longitudinal 20D19

Tulangan Transversal/Senggang Tumpuan

Sumbu Lemah 3D10-75

Sumbu Kuat 3D10-75

Tulangan Transversal/Senggang Lapangan

Sumbu Lemah 2D10-100

Sumbu Kuat 2D10-100

2.11. Hubungan Balok Kolom

1. Hubungan Balok Kolom Kiri

Pada bagian atas balok, terpasang tulangan 5D19 ($A_s = 1417,644 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik yang terjadi pada tulangan balok bagian kiri sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T1 &= 1.25 \times f_y \times A_s \\ &= 1,25 \times 420 \times 1417,644 / 10^3 \\ &= 744,2631 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang terjadi kearah kiri:

$$C1 = 744,2631 \text{ kN}$$

2. Hubungan Balok Kolom Kanan

Pada bagian atas balok, terpasang tulangan 5D19 ($A_s = 1417,644 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik yang terjadi pada tulangan balok bagian kiri sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T1 &= 1.25 \times f_y \times A_s \\ &= 1,25 \times 420 \times 1417,644 / 10^3 \\ &= 744,2631 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang terjadi kearah kiri:

$$C1 = 744,2631 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_j &= T1 + C2 - V_u \\ &= 744,2631 + 744,2629346 - 49,88 \\ &= 1438,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Hubungan Balok Kolom Keempat Sisi

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{f_c} \times A_j \\ &= 1,7 \times \sqrt{25} \times 250.000 \\ &= 2125 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,85 \times 2125 \\ &= 1806,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Cek kuat geser} = \phi V_n \geq V_j = \text{Ok}$$