

LAPORAN PERHITUNGAN STRUKTUR

**KEGIATAN REHABILITASI
SEDANG/BERAT GEDUNG KANTOR**

**PEKERJAAN PERENCANAAN
REHABILITASI KANTOR WALIKOTA
KOTA SUNGAI PENUH**



DESEMBER 2020

PERHITUNGAN ANALISIS STRUKTUR GEDUNG AULA KANTOR WALIKOTA SUNGAI PENUH

1. DATA EKSISTING GEDUNG

Data-data eksisting pada Struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh ini diperoleh dari hasil survei, pemeriksaan dan pengujian di lapangan dengan metode sampling. Hal ini disebabkan karena tidak terdapat data berupa *asbuilt drawing* ataupun data struktur lainnya, seperti data material atau mutu bahan yang digunakan pada konstruksi, beban yang bekerja sesuai dengan fungsi bangunan dan dimensi eksisting elemen struktur berupa kolom, balok dan pelat.

Adapun data-data eksisting tersebut adalah sebagai berikut:

1. Lokasi Bangunan : Kota Sungai Penuh
2. Koordinat
 - Lintang : -02,0709 LS
 - Bujur : 01,3960 BT
3. Fungsi Bangunan : Ruang Pertemuan (Aula)
4. Jenis Struktur : Beton Bertulang
5. Bentuk Bangunan :
 - a. Jumlah Lantai : 2 Lantai
 - b. Tinggi Lantai : 4 m
 - c. Tinggi Total Gedung : 8 m
 - d. Panjang Gedung : 43 m (36 m gedung eksisting + 7 meter selasar)
 - e. Lebar Gedung : 28 m
6. Mutu Beton (f_c')

Mutu beton diperoleh dengan melakukan Uji Palu (*Hammer Test*) dan juga uji *Core Drill* pada beton dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Uji Palu (Hammer Test) Beton

No	Komponen/Elemen	Perkiraan Kuat Tekan (Kg/cm ²)	f_c' (MPa)
1	Kolom Lantai 1	142.0	13.9
2	Kolom Lantai 2	130.0	12.7

No	Komponen/Elemen	Perkiraan Kuat Tekan (Kg/cm ²)	fc' (MPa)
3	Kolom Lantai 2	200.0	19.6
4	Balok Lantai 2	167.5	16.4
5	Plat Lantai 2	216.0	21.2
6	Balok Lantai Atap	232.5	22.8
7	Plat Lantai Atap	105.0	10.3

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan Sampel Core Drill Beton

No	Komponen/Elemen	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	fc' (MPa)
1	Plat Lantai 2	108.9	10.7
2	Plat Lantai Atap	90.8	8.9

7. Mutu Tulangan (f_y)

Berdasarkan hasil uji tarik pada 3 sampel baja tulangan yang digunakan pada kolom, diperoleh rata-rata nilai kuat leleh $f_y = 326,7$ MPa dan rata-rata kuat tarik maksimum $f_u = 484$ MPa. Jenis tulangan yang digunakan adalah baja tulangan polos diameter 16 mm ($\text{Ø}16$).

8. Pondasi

Berdasarkan informasi dari pihak PU, jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi pelat setempat dengan kedalaman 2,5 m dan ukuran tapak 2 m x 2 m x 0,7 m. Untuk penulangan plat digunakan besi polos $\text{Ø}16$ -250 mm (Gambar 1)



Gambar 1. Pondasi plat setempat pada Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh

9. Dimensi Elemen Struktur

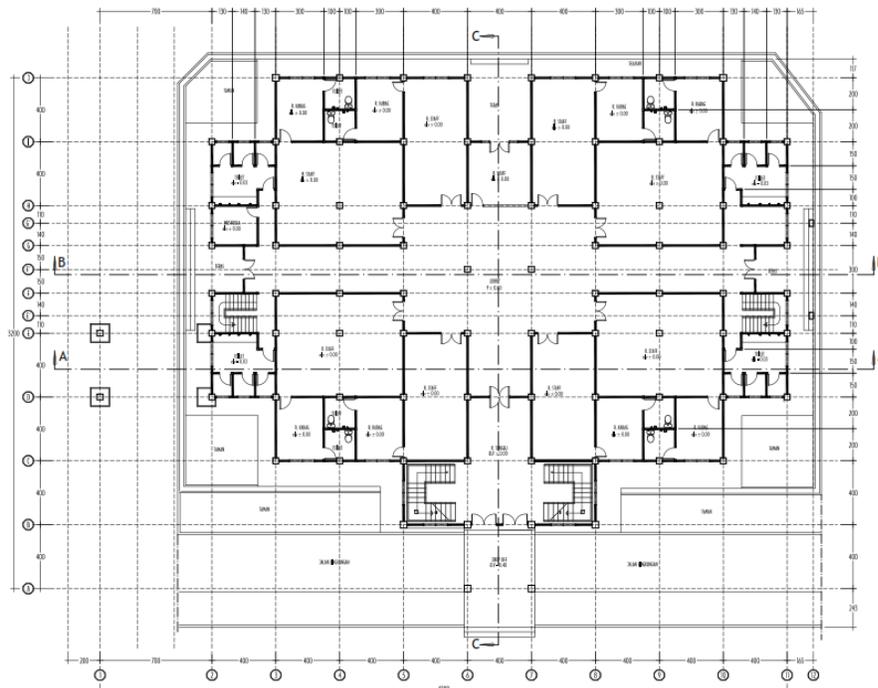
Data-data dimensi pelat lantai, balok dan kolom pada Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh diperoleh melalui hasil survei dan pemeriksaan dengan menggunakan alat *re-bar scanner* dengan rekapitulasi sebagai berikut:

Tabel 3. Dimensi Elemen Struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh

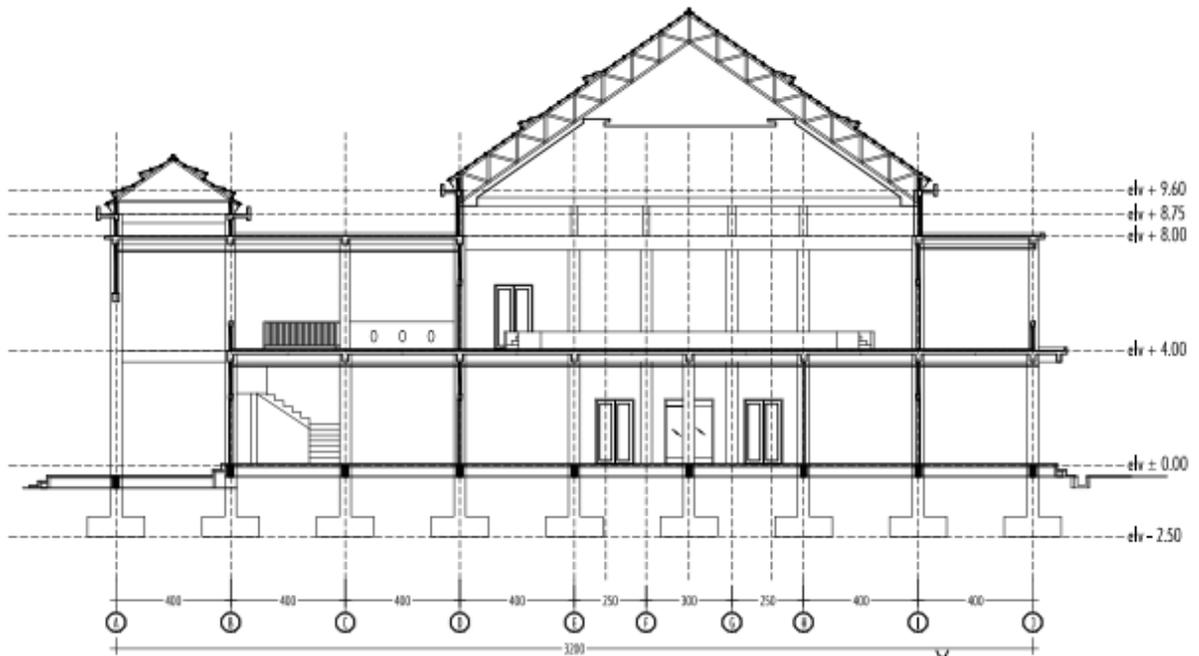
Komponen/Elemen	Dimensi (mm)
Kolom Lantai 1 (lt dasar: K1)	400 x 400
Kolom Lantai 2 (tengah: K5)	400 x 400
Kolom Lantai 2 (tengah: K2)	400 x 300
Balok Lantai 2 (B2)	200 x 400
Balok Lantai 2 (B3)	200 x 400
Balok Tangga Lantai 2	200 x 400
Balok Pelat Atap (B6)	150 x 300
Balok Pelat Atap (B7)	200 x 300
Tebal Pelat Lantai 2	100
Tebal Pelat Lantai Atap	80

2. GAMBAR EKSISTING GEDUNG

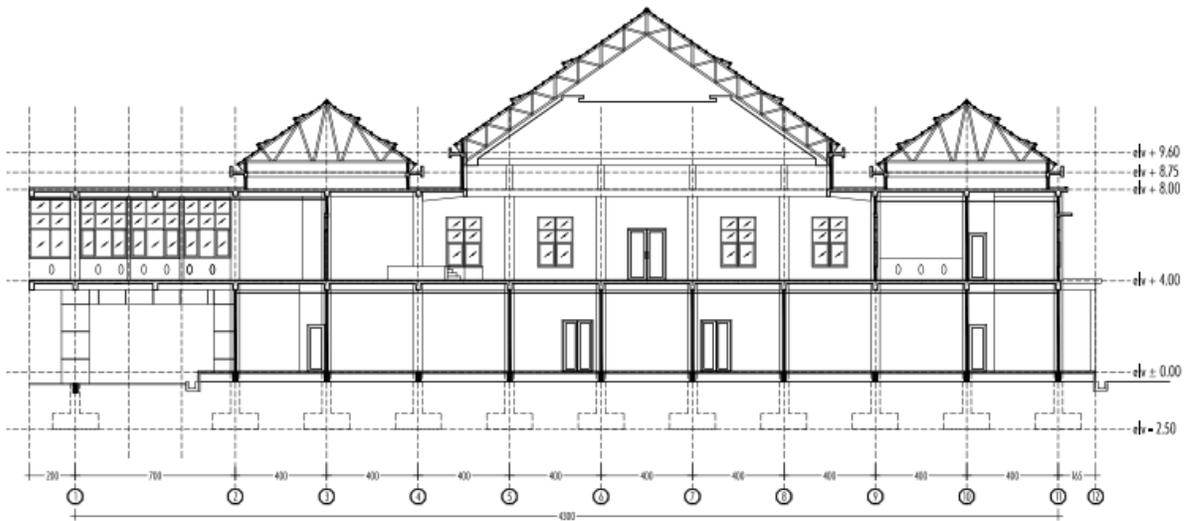
Berikut adalah gambar eksisting gedung dari hasil survei lapangan, berupa gambar denah, potongan, tampak, dan gambar pendukung lainnya.



Gambar 2. Geometris dan Denah Bangunan Existing : Denah Lantai Dasar



Gambar 3. Potongan Melintang (Potongan C-C)



Gambar 4. Potongan Memanjang (Potongan A-A)



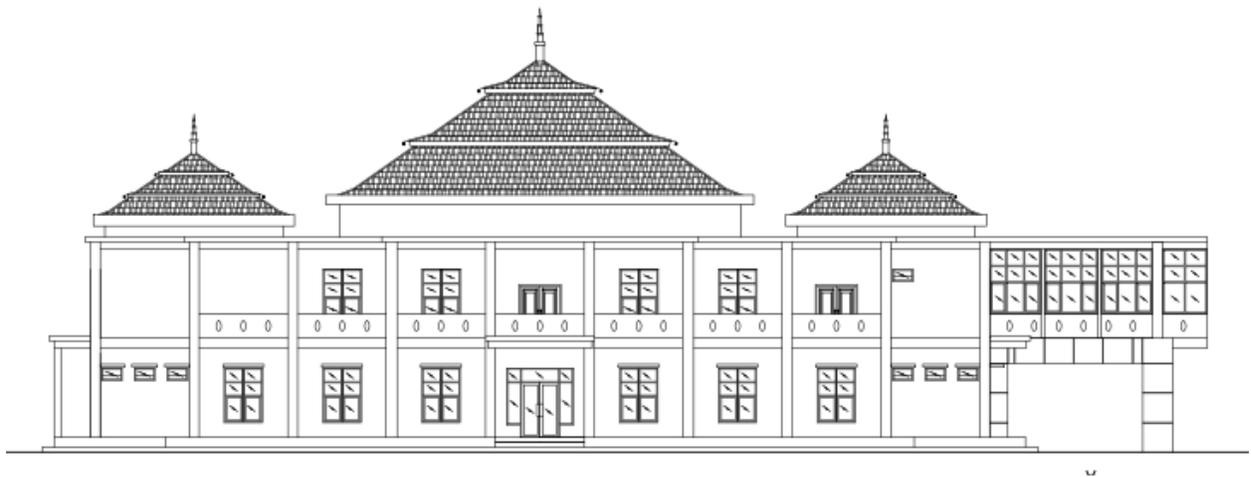
Gambar 5. Tampak Depan



Gambar 6. Tampak Samping Kiri



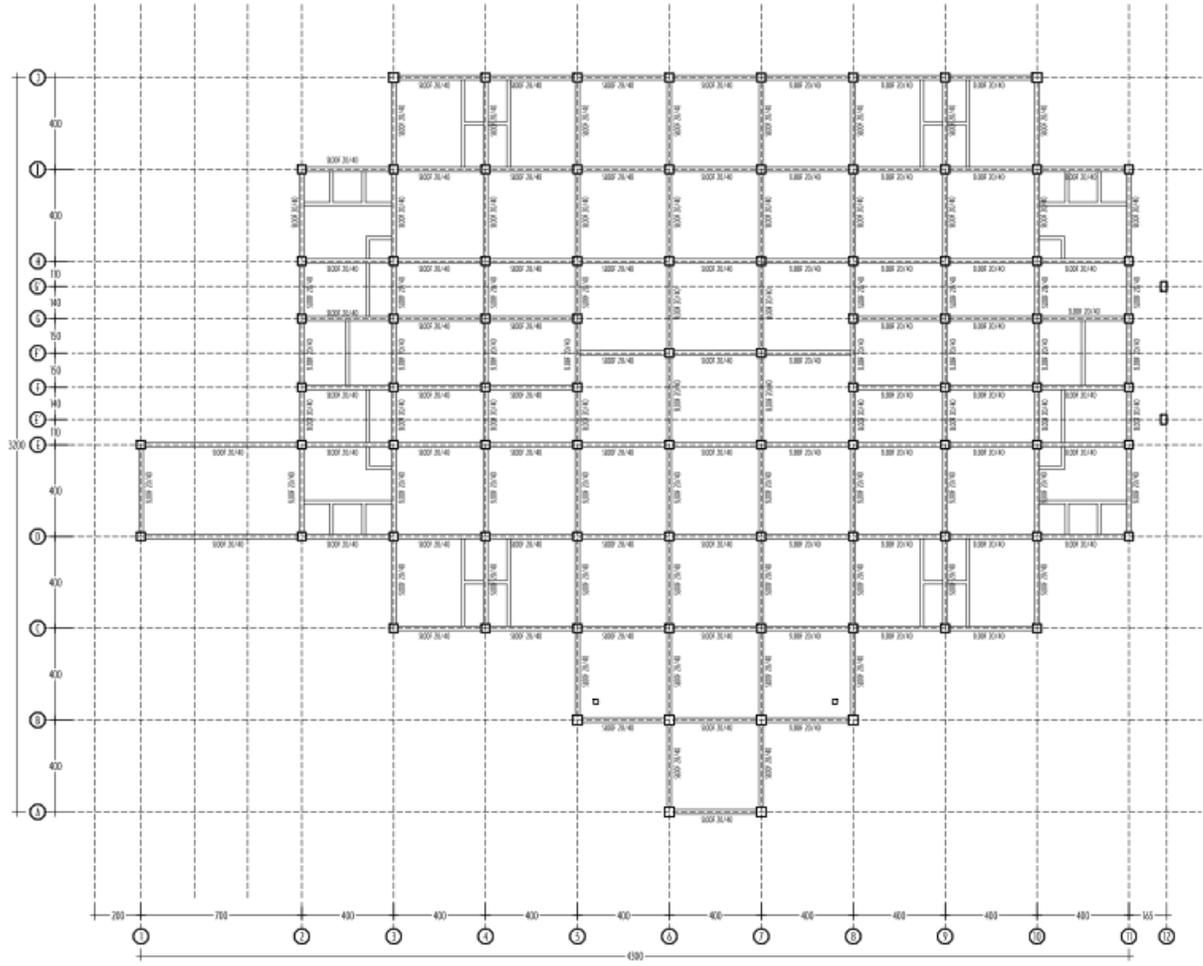
Gambar 7. Tampak Samping Kanan



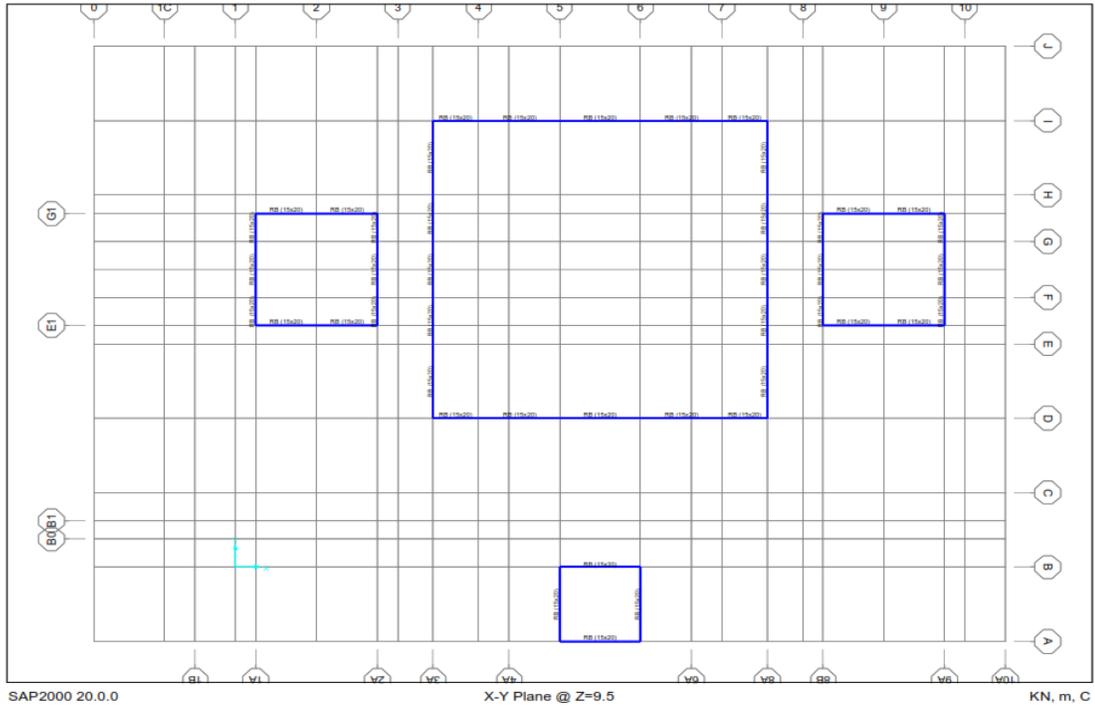
Gambar 8. Tampak Belakang

3. DIMENSI ELEMEN STRUKTUR

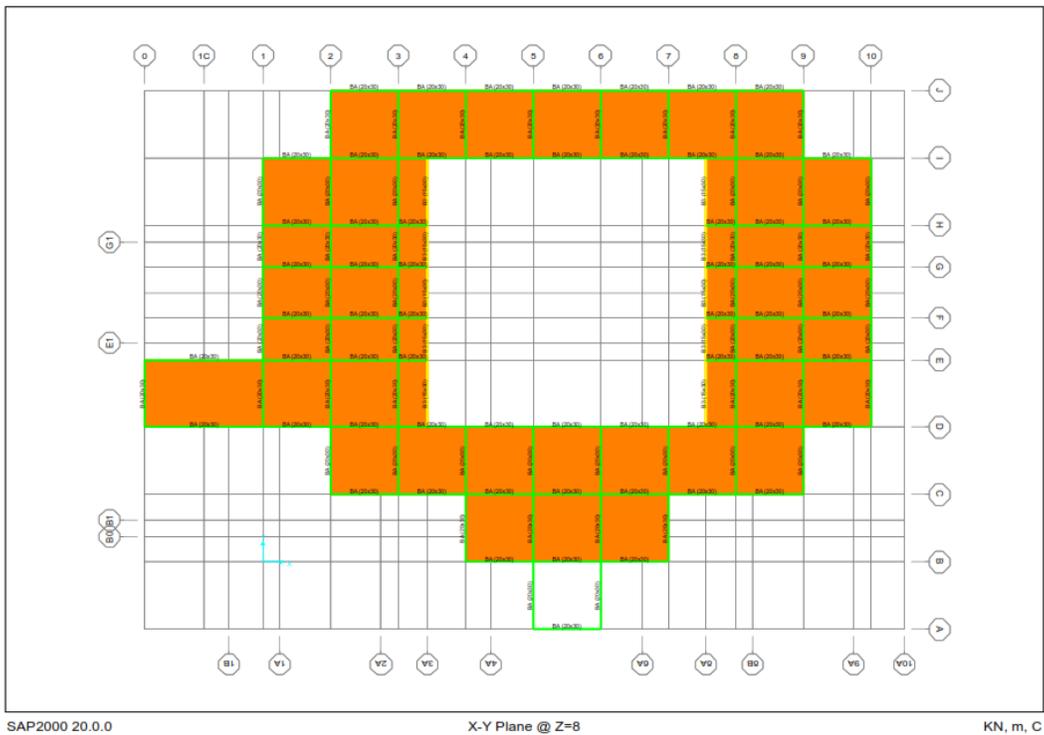
Adapun gambar struktur eksisting berupa denah kolom, pembalokan, portal dan penampang elemen struktur diantaranya sebagai berikut :



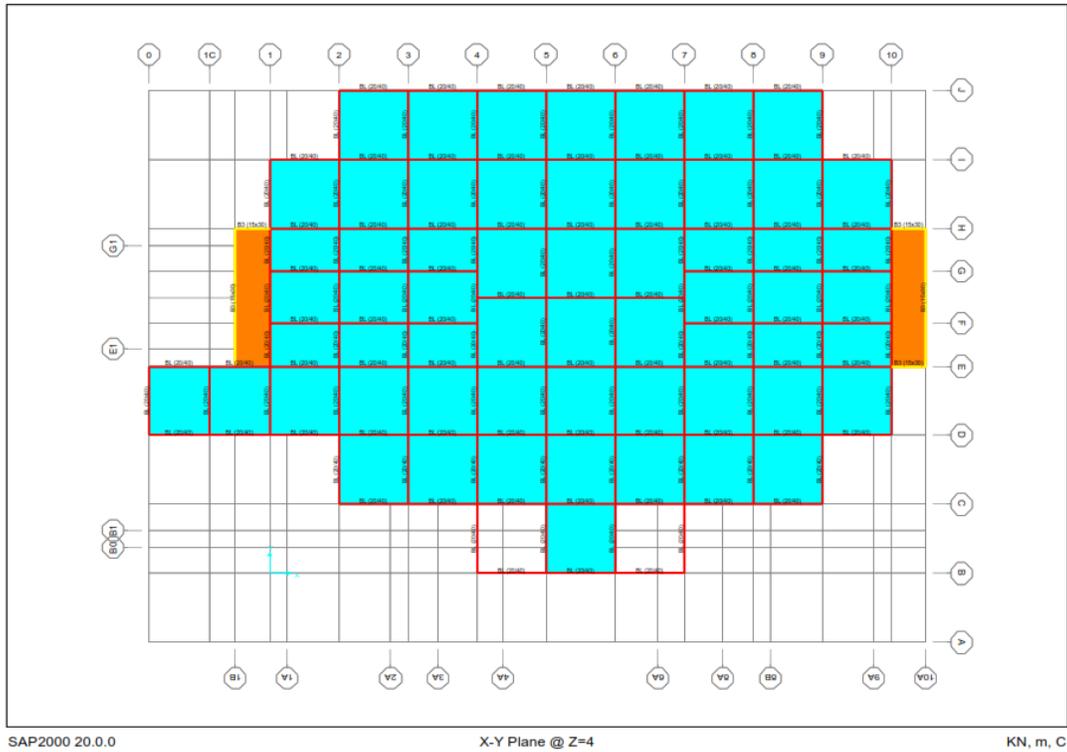
Gambar 9. Denah Sloof dan Perletakan Kolom



Gambar 10. Denah Pembalokan Atap (eksisting)



Gambar 11. Denah Pembalokan Dak Atap (eksisting)



Gambar 12. Denah Pembalokan Lantai 2 (eksisting)

4. HASIL SURVEY DAN PENGUJIAN STRUKTUR

Dari hasil pemeriksaan survey awal dan pengujian dilapangan diperoleh hasil sebagai berikut:

A. Elemen Struktur Balok

Bagian lantai 2 balok tangga



Gambar 13. Retak Lentur dan retak selimut beton pada bagian balok lantai 2 bagian kanan



Gambar 14. Retak lentur dan geser yang mengakibatkan terjadi lendutan pada balok

Lantai 2 Bagian Tangga Kiri



Gambar 15. Retak Lentur dan Geser pada Bagian Balok Tangga Kiri (berbahaya)



Gambar 16. Retak Lentur dan Geser pada Bagian Balok Lantai Tangga Kiri (berbahaya)



Gambar 17. Retak Lentur dan Geser pada Bagian Balok Lantai 2 bagian tengah

B. Elemen Struktur Pelat Lantai

Lantai Atap



Gambar 18. Beton Lantai bagian Atap Keropos

C. Elemen Struktur Kolom

Kolom Atap



Gambar 19. Pemisahan/retak bagian kolom atap (tidak adanya pengangkuran dan beban atap)



Gambar 20. Pemisahan/retak pada kolom pada bagian atap tidak adanya pengankuran dan beban atap)

D. Tangga



Gambar 21. Retak geser pada ujung balok (sambungan Balok)

Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada laporan hasil Survey Awal Struktur Gedung Aula Kantor Walikota dan Laporan Hasil Pemeriksaan Material Struktur.

5. PERHITUNGAN ANALISIS STRUKTUR

Perhitungan yang dilakukan pada saat ini hanya dilakukan pada struktur atas karna tidak terdapat data dimensi dan kedalaman pondasi eksisting.

A. PERATURAN YANG DIGUNAKAN DALAM ANALISIS

Ada beberapa peraturan yang digunakan dalam analisis Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh yaitu:

1. SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
2. SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung
3. SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur Lain.
4. Peta Gempa Tahun 2017

B. PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Berikut akan diuraikan beban-beban yang bekerja dan diperhitungkan pada komponen struktur. Adapun Beban yang dihitung secara manual yaitu beban hidup (LL) sesuai fungsi bangunan dan beban mati tambahan (SIDL), sedangkan beban mati elemen struktur secara otomatis dihitung dengan software SAP2000 dengan memberikan faktor pengali berat 1 pada penetapan beban yang akan bekerja pada struktur.

1. Perhitungan Beban Gravitasi pada Komponen Struktur

a. Lantai 2 (Atap)

- Beban Mati

- Instalasi ME + Plumbing	= 0,25 kN/m ²
- Plafond + penggantung	= 0,18 kN/m ²
- Plesteran (tebal 3 cm) = 3 x 0,21	= 0,63 kN/m ² +
DL	= <u>1,06 kN/m²</u>

- Beban Mati tambahan pada balok

$$\text{Beban Dinding} = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1.5 \text{ m} = 375 \text{ kg/m} = \mathbf{3,75 \text{ kN/m}}$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned} - \text{Beban air hujan (tebal 5 cm)} &= 0,50 \text{ kN/m}^2 \\ - \text{Beban hidup pelat atap} &= 0,96 \text{ kN/m}^2 + \\ \mathbf{LL} &= \mathbf{1,46 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

- Beban Atap Baja Ringan

Diasumsikan

$$\text{Beban atap Baja Ringan} = 1000 \text{ kg} = \mathbf{10 \text{ kN (6 kN DL + 4 kN LL)}}$$

b. Lantai 1

- Beban Mati

$$\begin{aligned} - \text{Berat keramik} &= 0,24 \text{ kN/m}^2 \\ - \text{Plafond + penggantung} &= 0,18 \text{ kN/m}^2 \\ - \text{Plesteran (tebal 3 cm) = (0,03 x 21)} &= 0,63 \text{ kN/m}^2 \\ - \text{Instalasi ME + plumbing} &= 0,25 \text{ kN/m}^2 + \\ \mathbf{DL} &= \mathbf{1,30 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

- Beban Mati tambahan pada balok

$$\text{Beban Dinding} = 250 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m} = 1000 \text{ kg/m} = \mathbf{10 \text{ kN/m}}$$

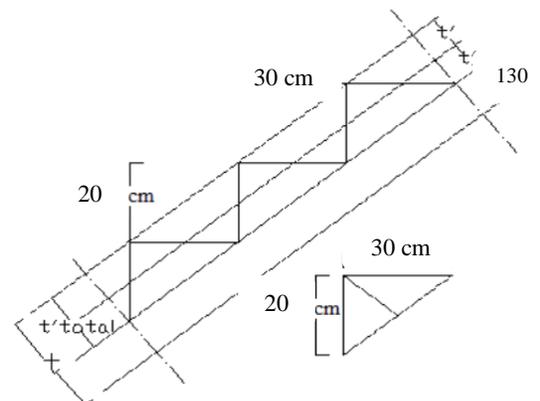
- Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai Aula Pertemuan} = \mathbf{4,79 \text{ kN/m}^2}$$

c. Pembebanan Tangga

Untuk beban tangga, data diasumsikan sebagai berikut:

1. Tinggi Lantai = 400 cm
2. Antrade = 30 cm
3. Optrade = 20 cm
4. Tebal Pelat Anak Tangga = 13 cm
5. Tebal Pelat Bordes = 13 cm
6. Lebar pelat anak tangga = 150 cm
7. Lebar bordes = 150 cm
8. Kemiringan Tangga ($\tan \alpha 200/320$) = $32,01^\circ$



$$T = 20 \times \cos(32,01) = 16,959 \text{ cm}$$

$$t = \frac{1}{2} \times 16,959 = 8,480 \text{ cm}$$

$$t = 13 + 8,480 = 21,480 \text{ cm}$$

- Tangga

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat Sendiri pelat} + \text{anak tangga} = 0,21480 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 5,1552 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Keramik} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Plesteran (tebal 2 cm)} = (0,02 \times 21) = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Railing/Sandaran} = \underline{0,20 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{DL} = \mathbf{6,0152 \text{ kN/m}^2}$$

Beban Hidup (LL)

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

- Bordes

Beban Mati (DL)

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,13 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Keramik} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Plesteran (tebal 2 cm)} = (0,02 \times 21) = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Railing/Sandaran} = \underline{0,20 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{DL} = \mathbf{3,98 \text{ kN/m}^2}$$

Beban Hidup (LL)

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

2. Perhitungan Beban Gempa

Selanjutnya yaitu menentukan gaya gempa yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012. Pada perhitungan beban gempa, analisis dilakukan dengan metode analisis dinamik *modal response spectrum* dengan tahapan sebagai berikut :

a. Menentukan Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

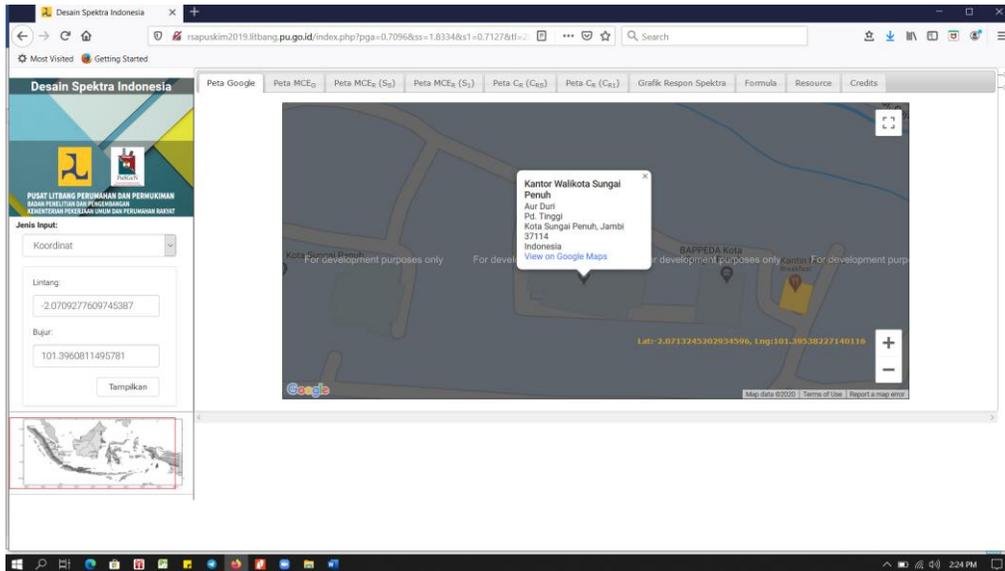
Berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4, sesuai dengan jenis pemanfaatan fungsi gedung yaitu Aula Pertemuan diperoleh kategori risiko III dimana faktor keutamaan gempa, I_e 1,25.

b. Menentukan Respon Spectral Percepatan

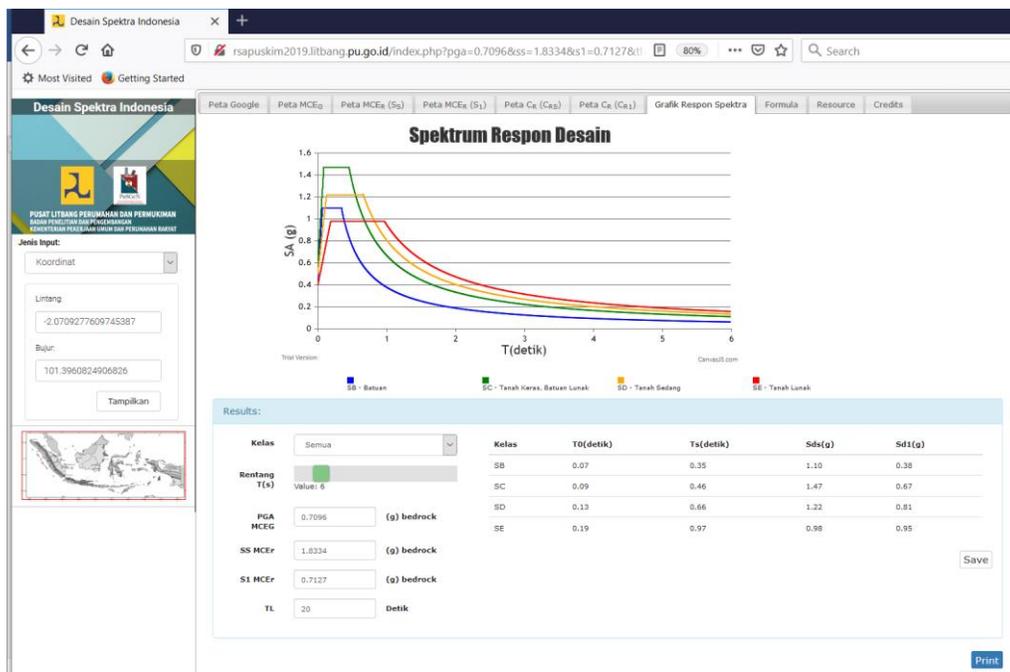
Berdasarkan peta zonasi gempa Indonesia seperti yang terlihat di bawah ini maka didapatkan nilai spektral percepatan periode pendek 0,20 detik (S_s) dan spektral percepatan

periode panjang 1,0 detik (S_1). Untuk mencari nilai S_s , S_1 , dan parameter percepatan spektral desain tsb diperoleh dengan menggunakan bantuan website resmi puskim yaitu :

<http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id>



Gambar 22. Menentukan nilai spectral percepatan pada lokasi Aula Kantor Walikota, Kota Sungai Penuh. (Sumber : rsapuskim2019)

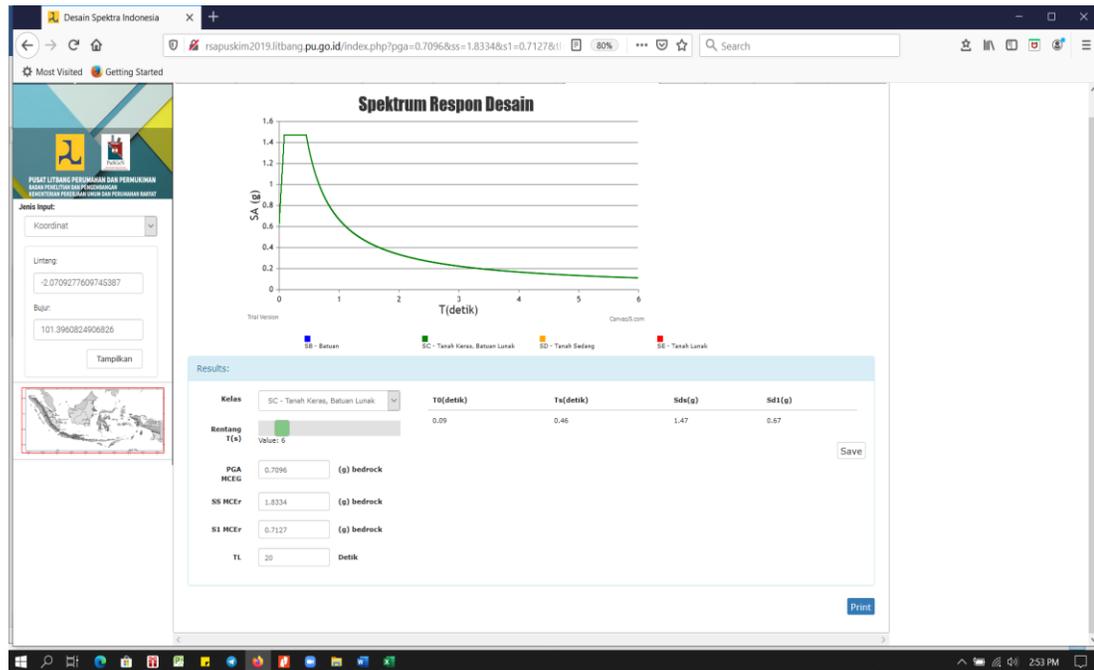


Gambar 23. Kurva Spectral Percepatan pada lokasi Aula Kantor Walikota, Kota Sungai Penuh.

Berdasarkan perhitungan Melalui situs Resmi Puskim PU diatas maka didapat: $S_{ds} = 1.47g$, $S_{d1} = 0.67g$, $T_0 = 0.09$ detik dan $T_s = 0.46$ detik

c. Menentukan Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan gempa yang didapat dari situs resmi puskim untuk mendapatkan kurva respon spektrum.



Gambar 24. Grafik Respon Spektrum Tanah Keras, Batuan Lunak, Aula Pertemuan Kota Sungai Penuh

d. Menentukan Kategori Desain Seismik (KDS)

Berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 dalam SNI 1726:2012 maka dapat ditentukan kategori desain seismik pada lokasi gedung tersebut.

Tabel 4. 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	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 03-1726 2012

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

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 03-1726 2012

Dengan nilai $S_{DS} = 1.47$ untuk perioda pendek, $S_{D1} = 0,67$ untuk perioda 1,0 detik dan dengan kategori risiko III maka didapatkan **Kategori Desain Seismik D KDS-D**).

e. Menentukan Sistem dan Parameter Struktur

Dengan didapatkan Kategori Desain Seismik- D dan tergolong kedalam tingkat risiko kegempaan tinggi maka dari tabel 9 SNI 1726:2012 dengan *sistem struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)* maka didapat parameter penahan gaya gempa pada struktur sebagai berikut :

Tabel 6. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^h	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber : SNI 03-1726 2012

Berdasarkan tabel diatas didapatkan :

- Parameter kuat lebih sistem (Ω_0) = 3
- Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5^{1/2}
- Batasan tinggi struktur (h_n) = Tidak dibatasi (TB)
- Koefisien modifikasi respon (R) = 8

Dalam prosedur SNI 1726-2012, struktur bangunan tahan gempa pada prinsipnya direncanakan terhadap beban gempa yang direduksi dengan suatu faktor modifikasi struktur (faktor R) yang merepresentasikan tingkat daktilitas yang dimiliki oleh struktur. Hal ini dimaklumi karena untuk merencanakan bangunan yang tahan terhadap beban gempa elastis merupakan suatu yang mahal. Detailing tulangan yang menjamin daktilitas struktur beton bertulang diatur dalam SNI 2847-2013.

Faktor modifikasi struktur atau bisa dikatakan juga sebagai faktor reduksi gempa (R) untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) maksimum adalah 8. Pada analisis ini digunakan **R = 8**.

f. Menentukan Fleksibilitas Diafragma

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7 3.1 dalam menentukan fleksibilitas diafragma, analisis struktur harus memperhitungkan kekakuan relatif diafragma dan elemen vertikal sistem penahan gaya gempa.

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.3.1.2, kondisi diafragma kaku yaitu dimana diafragma pelat beton atau dak metal yang diberi penutup (topping) beton dengan perbandingan S/De sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horizontal dapat diidealisasikan sebagai diafragma kaku.

$$S/De \leq 3$$

Ket : S = Panjang bangunan

De = Lebar bangunan

$$S/De = 36,00/28,00 < 3 \sim \sim \sim \sim \text{Diafragma Kaku.}$$

g. Menentukan Faktor Redudansi (ρ)

Berdasarkan SNI 1726:2012 pada Pasal 7.3.4.2, untuk struktur yang dirancang dengan kategori desain seismik D, maka ditetapkan nilai redundansi (ρ) dengan nilai 1,3.

h. Pemilihan Prosedur Analisis Gaya Lateral

Berdasarkan tabel 13 SNI 1726:2012 untuk prosedur analisis yang boleh digunakan pada katagori risiko III dengan katagori desain seismik D karakteristik struktur yang tidak beraturan dan beraturan maka menggunakan *analisa dinamik modal ragam spektrum* yang berdasarkan *Pasal 7.9. SNI 1726-2012*.

i. Menentukan Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan SNI 1726:2002 pasal 7.8.2.1 dikarenakan struktur memiliki ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3m, maka T_a izin untuk kondisi gedung TD dan gedung DD adalah :

$$\begin{aligned} T_a \text{ Pendekatan} &= C_t \cdot h_n^x && (\text{SNI 1726-2012 : Pasal 7.8.2}) \\ &= 0,0466 \times 8.0^{0,9} \\ &= 0,3028 \text{ detik} \end{aligned}$$

h^n : Ketinggian struktur dari atas dasar hingga mencapai puncak struktur.

C_t dan x : Parameter periode pendekatan .

(ditentukan dari tabel 15 SNI 1726-2012)

dimana :

$S_{D1} \geq 0,4$ ($S_{D1} = 0,959$) maka $C_u = 1,4$ dan didapat :

$$\begin{aligned} T_a \text{ maksimum} &= C_u T_a && (\text{SNI 1726-2012 pasal 7.8.6.2}) \\ &= 1,4 \times 0,3028 \\ &= 0,4239 \text{ detik} \end{aligned}$$

j. Menentukan Spektrum respons Desain

Berdasarkan SNI situs resmi puskim :

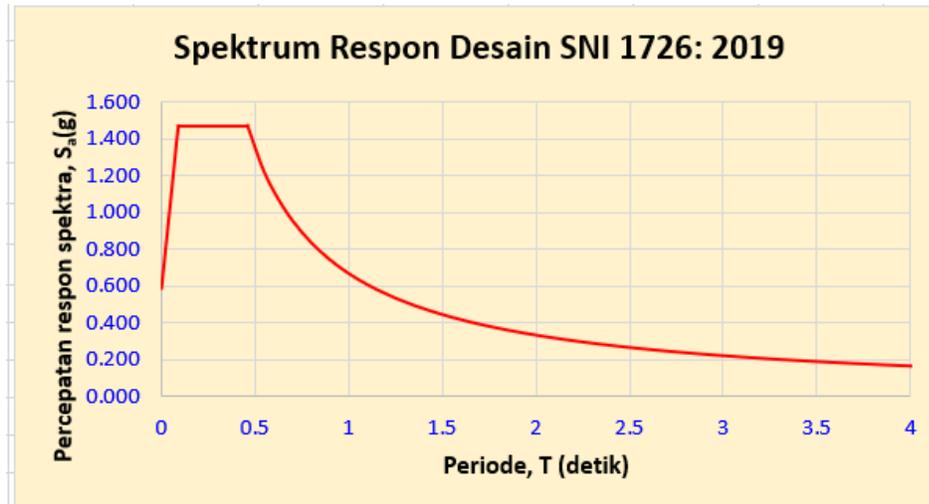
$T_0 = 0.09$ detik dan $T_s = 0.46$ detik

Karena nilai Periode (T) lebih besar dari T_0 dan lebih kecil dari T_s :

$$(T_0 \leq T \leq T_s)$$

maka nilai respon spektrum percepatan desain. S_a sama dengan $S_{DS} = 1,47$.

Berikut adalah variabel parameter percepatan gempa yang didapat dari situs resmi puskim untuk mendapatkan kurva respon spektrum.



Gambar 25. Grafik Respon Spektrum Tanah Keras batuan Lunak Aula Kantor Walikota Sungai Penuh

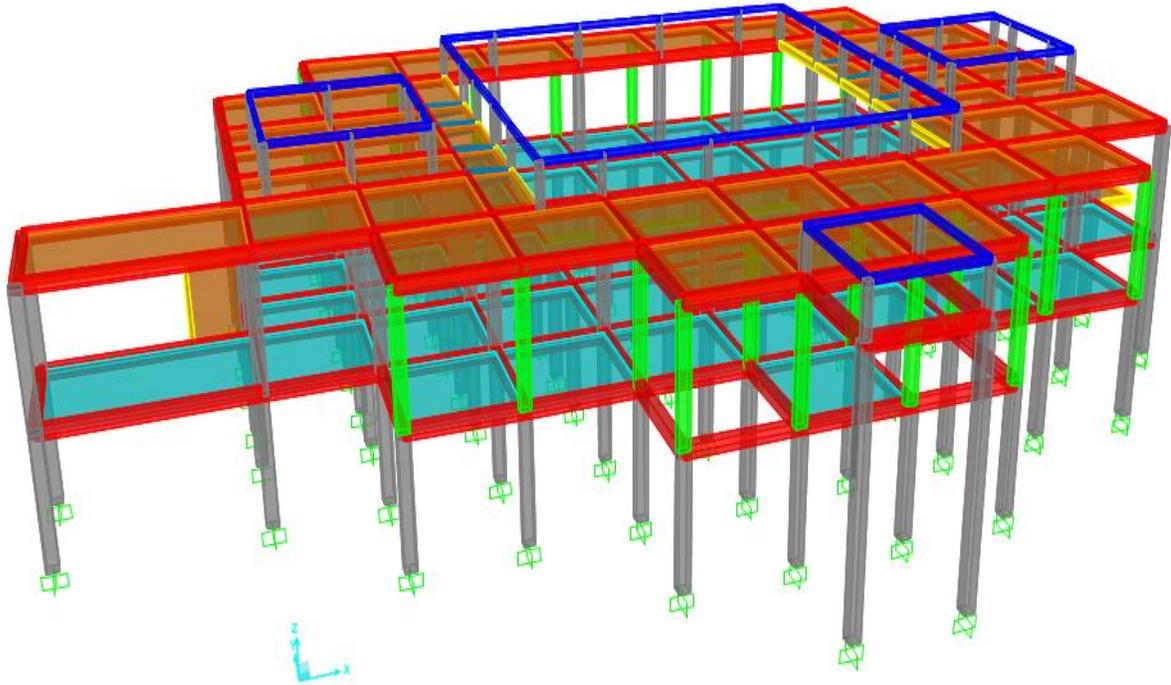
k. Kombinasi Pembebanan

Sesuai dengan SNI 1726-2012, gaya gempa dipengaruhi oleh redundansi (ρ), dan parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek (SDS). Maka dari itu diambil nilai redundansi, yang nilainya ditentukan berdasarkan kategori desain sesmik. Untuk kondisi KDS D, diambil nilai ρ sebesar 1,3.

Dengan mensubstitusikan nilai redundansi (ρ), dan parameter percepatan spektrum respon desain pada pada periode pendek (SDS), maka diperoleh nilai kombinasi pembebanan yang akan diinput pada program SAP2000 sebagai berikut:

1	1.4	DL									
2	1.2	DL	+	1.6	LL						
3	1.494	DL	+	1	LL	+	1.3	EQX	+	0.39	EQY
4	1.494	DL	+	1	LL	+	1.3	EQX	-	0.39	EQY
5	1.494	DL	+	1	LL	-	1.3	EQX	+	0.39	EQY
6	1.494	DL	+	1	LL	-	1.3	EQX	-	0.39	EQY
7	1.494	DL	+	1	LL	+	0.39	EQX	+	1.3	EQY
8	1.494	DL	+	1	LL	+	0.39	EQX	-	1.3	EQY
9	1.494	DL	+	1	LL	-	0.39	EQX	+	1.3	EQY
10	1.494	DL	+	1	LL	-	0.39	EQX	-	1.3	EQY
11	0.606	DL	+	1.3	EQX	+	0.39	EQY			
12	0.606	DL	+	1.3	EQX	-	0.39	EQY			
13	0.606	DL	-	1.3	EQX	+	0.39	EQY			
14	0.606	DL	-	1.3	EQX	-	0.39	EQY			
15	0.606	DL	+	0.39	EQX	+	1.3	EQY			
16	0.606	DL	+	0.39	EQX	-	1.3	EQY			
17	0.606	DL	-	0.39	EQX	+	1.3	EQY			
18	0.606	DL	-	0.39	EQX	-	1.3	EQY			

6. PEMODELAN STRUKTUR DENGAN PROGRAM SAP2000



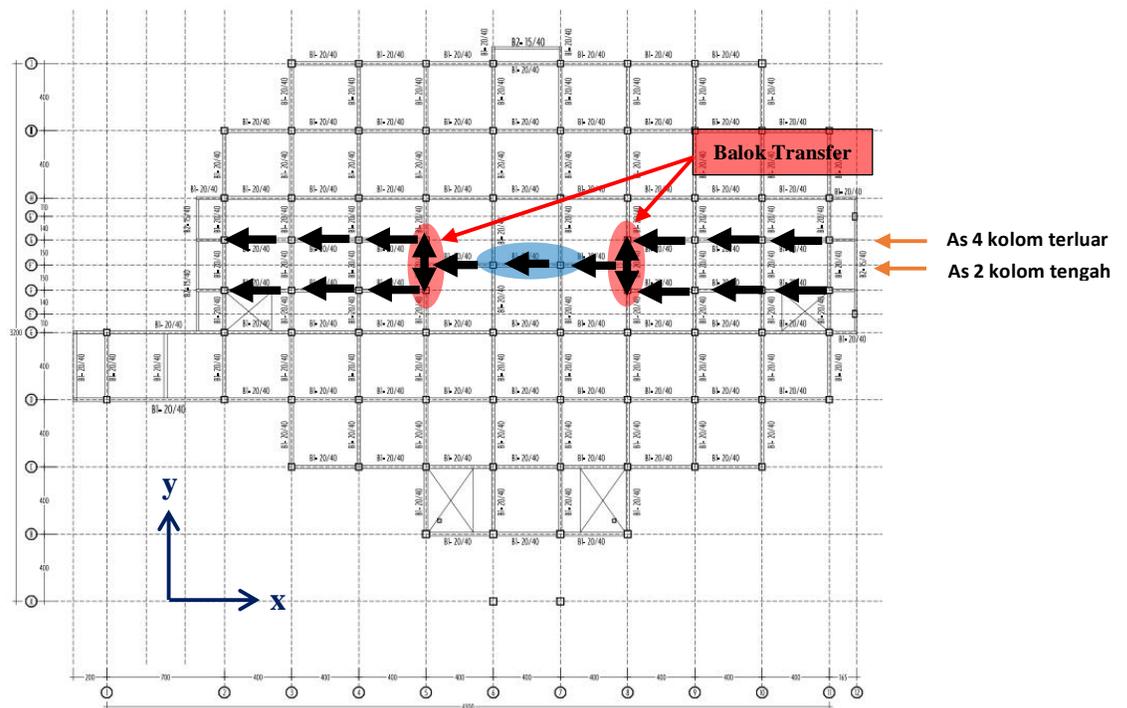
Gambar 26. Pemodelan struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh 3D (SAP2000)

7. IDENTIFIKASI PERMASALAHAN STRUKTUR

Berdasarkan sampel hasil pengujian dan analisis struktur existing, terdapat beberapa permasalahan pada struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai penuh ini, antara lain:

- a. Mutu material beton yang rendah (lihat Tabel 1 dan Tabel 2), tidak sesuai dengan persyaratan SNI 2847: 2013 pasal 21.1.4, dimana untuk struktur pemikul beban gempa yang termasuk KDS-D (Kategori Desain Seismik D), kuat tekan beton yang ditetapkan f_c' tidak boleh kurang dari 20 MPa.
- b. Baja tulangan yang digunakan untuk elemen struktur utama adalah tulangan polos $\phi 16$ dengan tegangan leleh rata-rata $f_y = 326.67$ MPa. Hal ini tidak sesuai dengan ketentuan SNI 2847: 2013 dimana pada pasal 21.1.5 dinyatakan bahwa tulangan ulir harus digunakan untuk struktur rangka momen khusus dan tulangan ulir yang menahan lentur, gaya aksial, atau keduanya yang ditimbulkan oleh gempa harus memenuhi ASTM A706M, Mutu 420 ($f_y = 420$ MPa).

- c. Penempatan elemen struktur (kolom segmen tengah) yang tidak dalam satu as dengan kolom tepinya, sehingga distribusi kekakuan dan gaya lateral yang bekerja pada arah sumbu x tidak merata. Hal ini menyebabkan sebagian besar gaya lateral ditahan oleh balok transfer dan jika balok transfer ini mengalami kelebihan tegangan (*overstressed*), dapat mengganggu kekuatan struktur secara keseluruhan.



Gambar 27. Penempatan kolom lantai 1 dan balok lantai 2 beserta distribusi gaya lateral

- d. Terdapat elemen-elemen struktur balok, kolom dan plat yang tidak memiliki kapasitas memadai untuk menahan lentur, geser, torsi atau kombinasi diantara ketiganya akibat beban yang bekerja pada struktur. Hal ini terkonfirmasi dengan membandingkan hasil pemodelan struktur 3D yang dilakukan dengan kerusakan yang ditemukan saat survei lapangan.
- e. Pada elemen plat lantai tebal plat yang digunakan dibawah tebal minimum plat lantai standar yang ditetapkan oleh peraturan.
- f. Penambahan selasar penghubung antara gedung aula dengan gedung kantor disebelahnya yang menumpu pada struktur gedung aula mempengaruhi respons struktur terhadap beban

dinamik, struktur menjadi memiliki ketidakberaturan horizontal, khususnya ketidakberaturan sudut dalam (Tabel 10, SNI 03-1726: 2012).

8. PERHITUNGAN KAPASITAS PENAMPANG

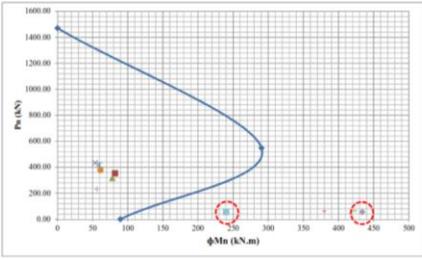
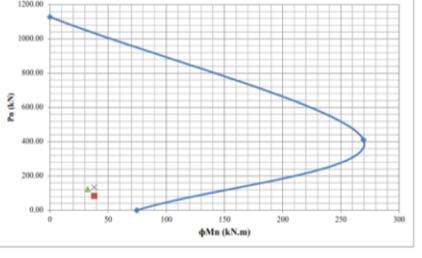
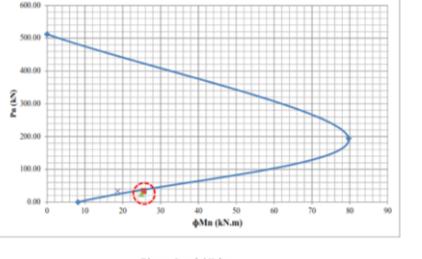
Berdasarkan hasil pemeriksaan di lapangan dan analisis kapasitas penampang, diperoleh hasil sebagai berikut:

A. Elemen Lentur (Balok dan Pelat)

Dimensi (cm)		Kapasitas Existing			
		Lentur (kN.m)		Geser (kN)	
		D. Tump.	D. Lap.	D. Tump.	D. Lap.
<i>Balok Lantai 2</i>	<i>20x40</i>	55.18	55.18	70.18	59.14
<i>Balok Lt Atap</i>	<i>20x30</i>	37.20	37.20	48.01	40.65
<i>Ring Balok</i>	<i>15x30</i>	24.90	24.90	43.37	36.01
<i>Pelat Lantai</i>	<i>t = 10</i>	8.75		-	
<i>Pelat Atap</i>	<i>t = 8</i>	5.93		-	
<i>Pelat Tangga</i>	<i>t = 13</i>			-	

B. Elemen Kombinasi Aksial dan Lentur (Kolom)

Penampang	Dimensi (cm)	Kapasitas Existing		Ket												
		Diagram Interaksi Kolom	Geser (kN)													
Kolom Lt 2	40 x 40	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Aksial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aksial murni</td> <td>0</td> <td>1470.65</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>290.43</td> <td>547.80</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>89.54</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Aksial	Aksial murni	0	1470.65	Seimbang	290.43	547.80	Lentur murni	89.54	0	69,76	Aman terhadap aksial dan lentur, tapi kapasitas geser tidak memadai
Kondisi	Momen	Aksial														
Aksial murni	0	1470.65														
Seimbang	290.43	547.80														
Lentur murni	89.54	0														

Kolom Lt 1	40 x 40	<table border="1" data-bbox="654 201 854 254"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Axial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Axial murni</td> <td>0</td> <td>1470.65</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>290.43</td> <td>547.80</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>89.54</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Axial	Axial murni	0	1470.65	Seimbang	290.43	547.80	Lentur murni	89.54	0	69,76	Tidak aman terhadap aksial dan lentur, serta gaya geser
Kondisi	Momen	Axial														
Axial murni	0	1470.65														
Seimbang	290.43	547.80														
Lentur murni	89.54	0														
Kolom Lt 2	30x40	<table border="1" data-bbox="654 611 854 663"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Axial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Axial murni</td> <td>0</td> <td>1128.53</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>209.43</td> <td>410.85</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>74.61</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Axial	Axial murni	0	1128.53	Seimbang	209.43	410.85	Lentur murni	74.61	0	57,07	Aman terhadap aksial dan lentur, tapi kapasitas geser tidak memadai
Kondisi	Momen	Axial														
Axial murni	0	1128.53														
Seimbang	209.43	410.85														
Lentur murni	74.61	0														
Kolom	25x25	<table border="1" data-bbox="654 978 854 1031"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Axial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Axial murni</td> <td>0</td> <td>512.22</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>79.69</td> <td>194.21</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>8.16</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <p style="text-align: center;">Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Axial	Axial murni	0	512.22	Seimbang	79.69	194.21	Lentur murni	8.16	0	21,66	Tidak aman terhadap aksial dan lentur, serta gaya geser
Kondisi	Momen	Axial														
Axial murni	0	512.22														
Seimbang	79.69	194.21														
Lentur murni	8.16	0														

Detail perhitungan setiap elemen struktur dapat dilihat pada lampiran.

C. Pengecekan Kuat Kolom (*Strong Column Weak Beam*)

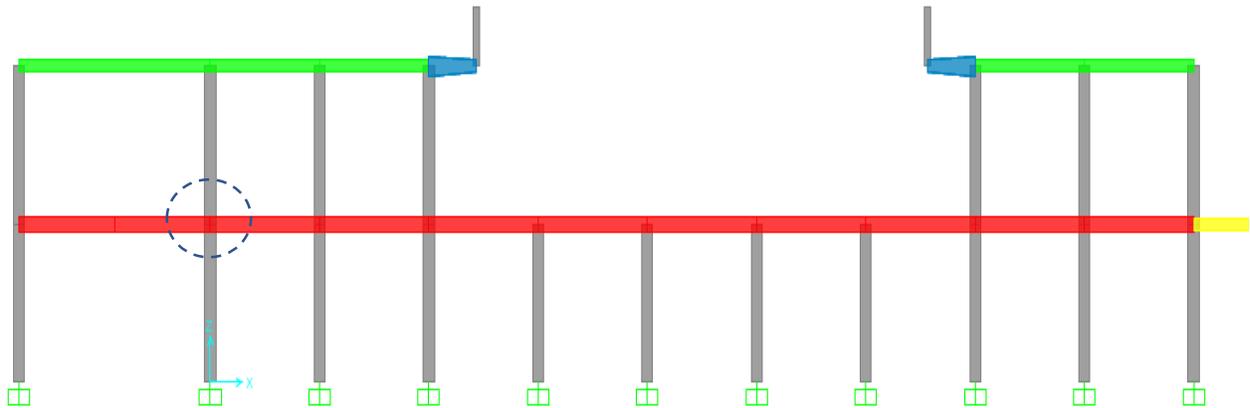
Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.2.2 kuat kolom harus memenuhi persyaratan

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

dimana : ΣM_{nc} = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join,

ΣM_{nb} = jumlah M_n dua balok yang bertemu di join.

Detail penampang kolom yang dianalisis ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 28. Detail Kolom yang Ditinjau As - E

Momen nominal pada balok kiri dan kanan = 81,25 kN-m

$$M_{nb} = 81,25 \times 2 = 162,5 \text{ kN-m}$$

$$M_{nc} = 74,62 \times 2 = 149,24 \text{ kN-m}$$

$$\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$149,24 \text{ kN.m} > 1,2 \times 162,5 \text{ kN.m}$$

$$149,24 \text{ kN.m} > 179,088 \text{ kN.m} \rightarrow \textit{Tidak Aman}$$

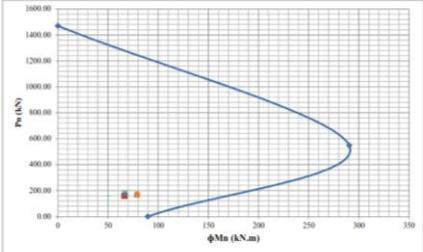
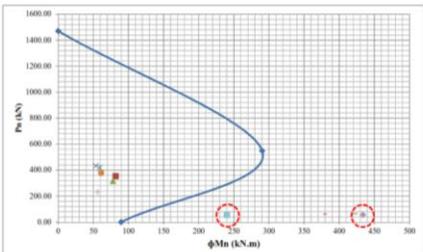
9. PERBANDINGAN KAPASITAS EXISTING DENGAN HASIL ANALISIS STRUKTUR

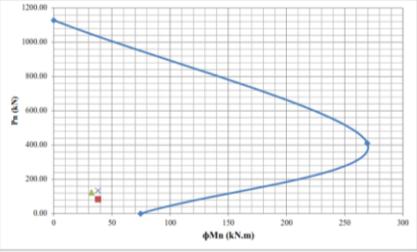
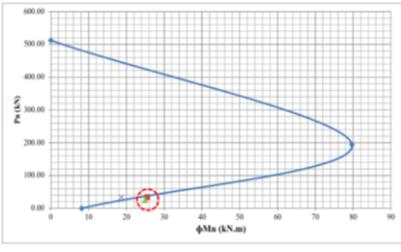
Berdasarkan hasil analisis kapasitas desain elemen struktur eksisting dan Analisa Struktur SAP2000 diperoleh hasil sebagai berikut:

A. Elemen Lentur (Balok dan Pelat)

Dimensi (cm)		Kapabilitas Existing				Gaya-gaya Dalam				Ket.
		Lentur (kN.m)		Geser (kN)		Lentur (kN.m)		Geser (kN)		
		D. Tump.	D. Lap.	D. Tump.	D. Lap.	D. Tump.	D. Lap.	D. Tump.	D. Lap.	
Balok Lantai	20x40	55.18	55.18	70.18	59.14	83.48	51.13	97.01	82.67	Tidak Ok => Lentur dan Geser
Balok Atap	20x30	37.20	37.20	48.01	40.65	44.83	29.03	47.80	47.95	Tidak Ok => Lentur dan Geser
Ring Balok	15x30	24.90	24.90	43.37	36.01	21.49	6.26	20.53	20.62	Aman
Pelat Lantai	t = 10	8.75		-		19.72	14.76	-		Tidak Aman
Pelat Atap	t = 8	5.93		-		17.39	9.67	-		Tidak Aman
Pelat Tangga	t = 13			-				-		

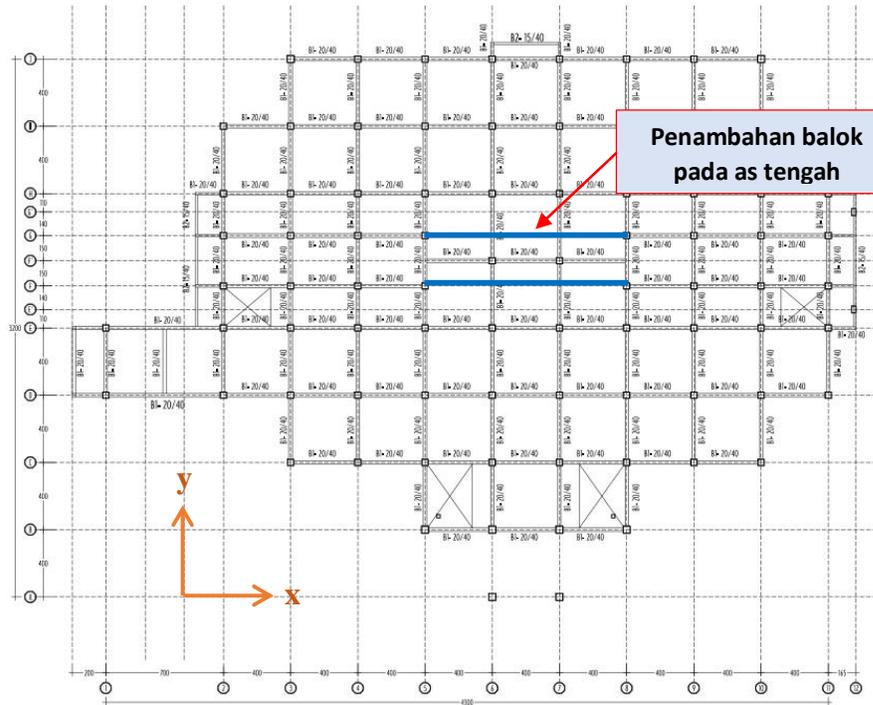
B. Elemen Kombinasi Aksial dan Lentur (Kolom)

Penampang	Dimensi (cm)	Kapabilitas Existing		Gaya Dalam	Ket												
		Diagram Interaksi Kolom				Geser (kN)	Geser (kN)										
Kolom Lt 2	40 x 40	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Aksial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aksial murni</td> <td>0</td> <td>1470.65</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>290.45</td> <td>547.80</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>89.54</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> 	Kondisi	Momen	Aksial	Aksial murni	0	1470.65	Seimbang	290.45	547.80	Lentur murni	89.54	0	69,76	56,29	Aksial + lentur → OK! Geser → Tidak OK!
Kondisi	Momen	Aksial															
Aksial murni	0	1470.65															
Seimbang	290.45	547.80															
Lentur murni	89.54	0															
Kolom Lt 1	40 x 40	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Aksial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aksial murni</td> <td>0</td> <td>1470.65</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>290.45</td> <td>547.80</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>89.54</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> 	Kondisi	Momen	Aksial	Aksial murni	0	1470.65	Seimbang	290.45	547.80	Lentur murni	89.54	0	69,76	30,00	Aksial + lentur → Tidak OK! Geser → Tidak OK!
Kondisi	Momen	Aksial															
Aksial murni	0	1470.65															
Seimbang	290.45	547.80															
Lentur murni	89.54	0															

Kolom Lt 2	30x40	<table border="1" data-bbox="483 201 683 254"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Aksial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aksial murni</td> <td>0</td> <td>1128.53</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>269.43</td> <td>410.85</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>74.61</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <p data-bbox="711 533 808 548">Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Aksial	Aksial murni	0	1128.53	Seimbang	269.43	410.85	Lentur murni	74.61	0	57.07	18,52	Aksial + lentur → OK! Geser → Tidak OK!
Kondisi	Momen	Aksial															
Aksial murni	0	1128.53															
Seimbang	269.43	410.85															
Lentur murni	74.61	0															
Kolom	25x25	<table border="1" data-bbox="483 594 683 646"> <thead> <tr> <th>Kondisi</th> <th>Momen</th> <th>Aksial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aksial murni</td> <td>0</td> <td>512.22</td> </tr> <tr> <td>Seimbang</td> <td>79.69</td> <td>194.21</td> </tr> <tr> <td>Lentur murni</td> <td>8.16</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>  <p data-bbox="711 919 808 934">Diagram Interaksi Kolom</p>	Kondisi	Momen	Aksial	Aksial murni	0	512.22	Seimbang	79.69	194.21	Lentur murni	8.16	0	21.66	15,66	Aksial + lentur → Tidak OK! Geser → Tidak OK!
Kondisi	Momen	Aksial															
Aksial murni	0	512.22															
Seimbang	79.69	194.21															
Lentur murni	8.16	0															

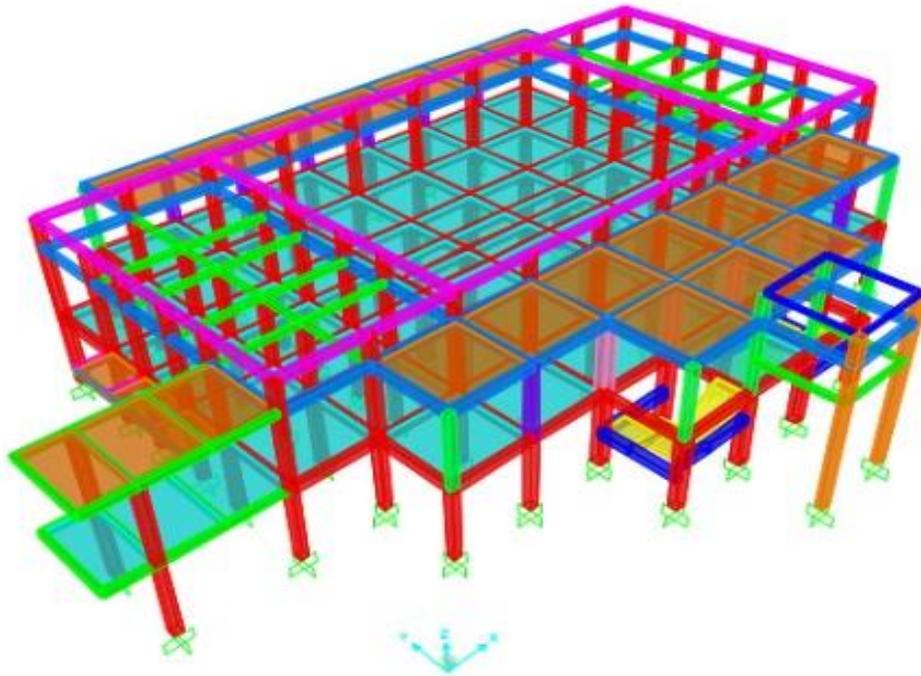
10. PERHITUNGAN PERKUATAN STRUKTUR

Untuk mengatasi berbagai permasalahan seperti yang disebutkan di atas, beberapa alternatif metode perkuatan struktur dapat dilakukan, yaitu dengan *Metode Concrete Jacketing* dan metode perkuatan struktur menggunakan FRP. Untuk membantu agar distribusi gaya lateral pada sumbu x menjadi lebih merata dan tidak hanya terpusat pada balok transfer di tengah gedung, maka pada bentang tengah diberikan penambahan balok seperti yang terlihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Penambahan balok untuk mendistribusikan beban lateral pada arah sumbu x

10.1. PEMODELAN PERKUATAN STRUKTUR



Gambar 30. Pemodelan struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh 3D Perkuatan (SAP2000)

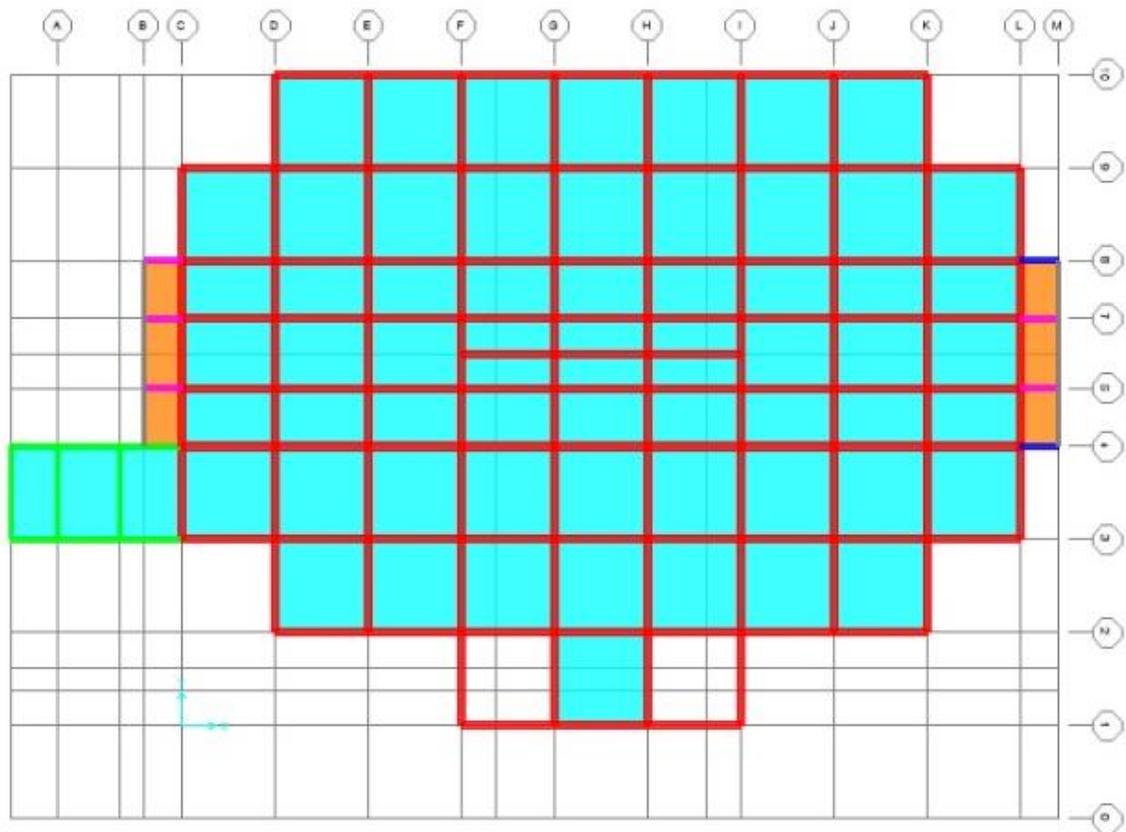
Pada pemodelan Struktur Kantor Walikota Sungai Penuh diatas yang di rehabilitasi untuk digunakan pada desain perkuatan kolom, balok dan pelat diperoleh gaya-gaya dalam elemen. Dimana gaya – gaya dalam elemen dapat dilihat pada lampiran A.

10.2. PERHITUNGAN DESAIN PERKUATAN STRUKTUR

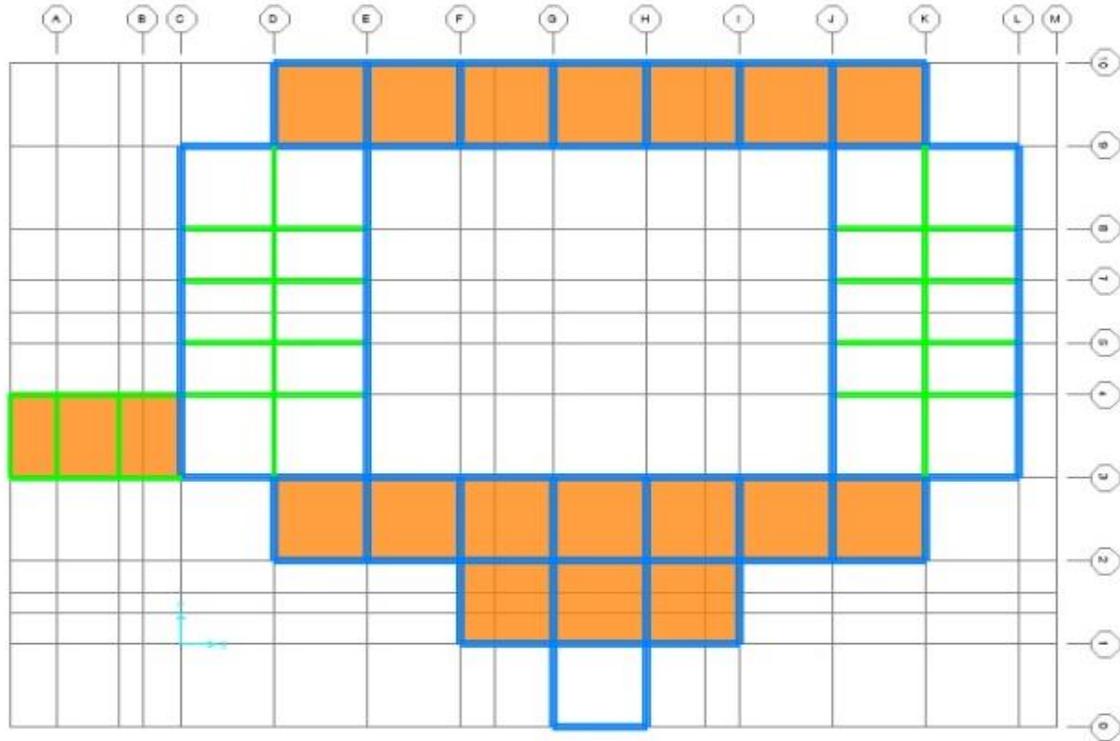
10.2.1. STRUKTUR ATAS

A. PELAT

Pada sistem elemen pelat lantai dan pelat lantai atap pada proyek ini, perencana merencanakan pelat dengan sistem bondek pada lantai 2, sedangkan pelat lantai atap dibongkar dan sebagian diganti dengan atap rangka baja ringan. Untuk pemodelan lantai dapat dilihat pada gambar berikut.

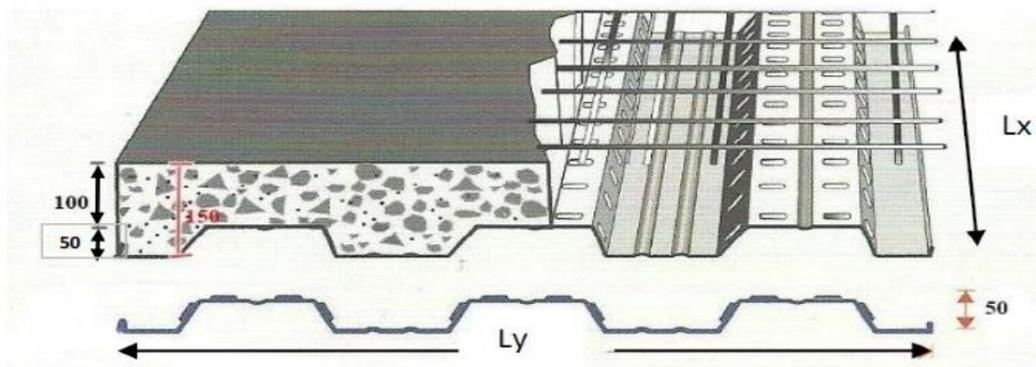


Gambar 31. Pemodelan Pelat Lantai 2 (SAP2000)



Gambar 32. Pemodelan Pelat Lantai Atap (SAP2000)

Adapun detail pelat bondek yang direncanakan sebagai berikut.



Jenis Material yang digunakan:

- Tulangan Wiremesh :

M8 - 125	Ulir
----------	------

 (Katalog Union Wiremesh)
- Plat Steel Deck:

BMT - 0.7

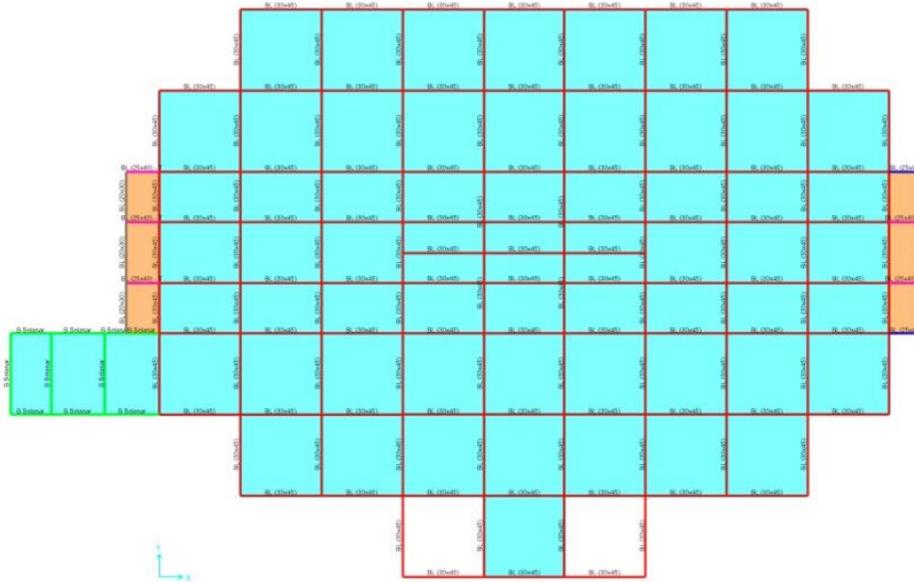
 (Katalog Union Floor Deck W-1000)

Gambar 33. Detail Pelat Bondek

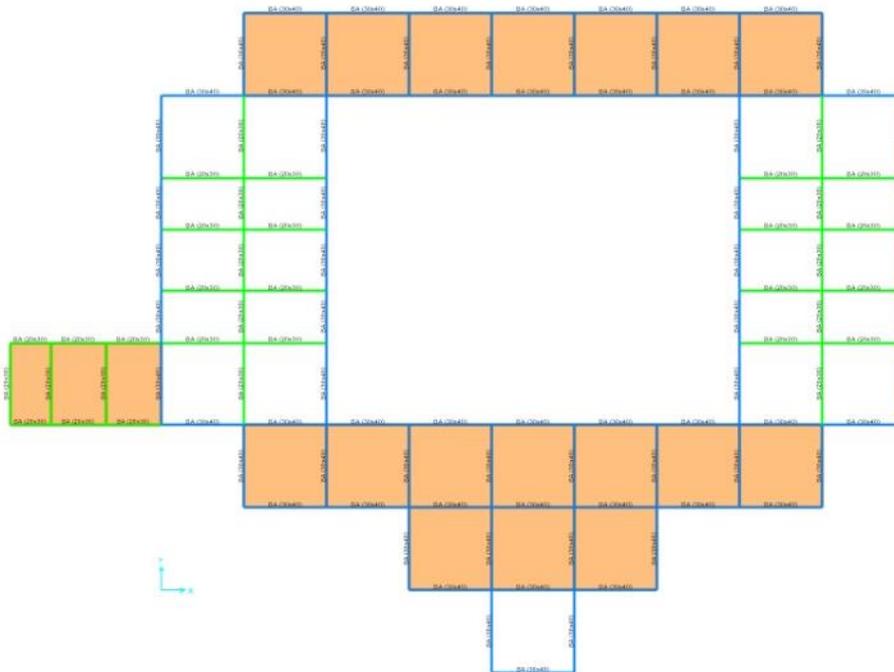
Untuk perhitungan Perkuatan Pelat dapat dilihat pada lampiran B.

B. BALOK

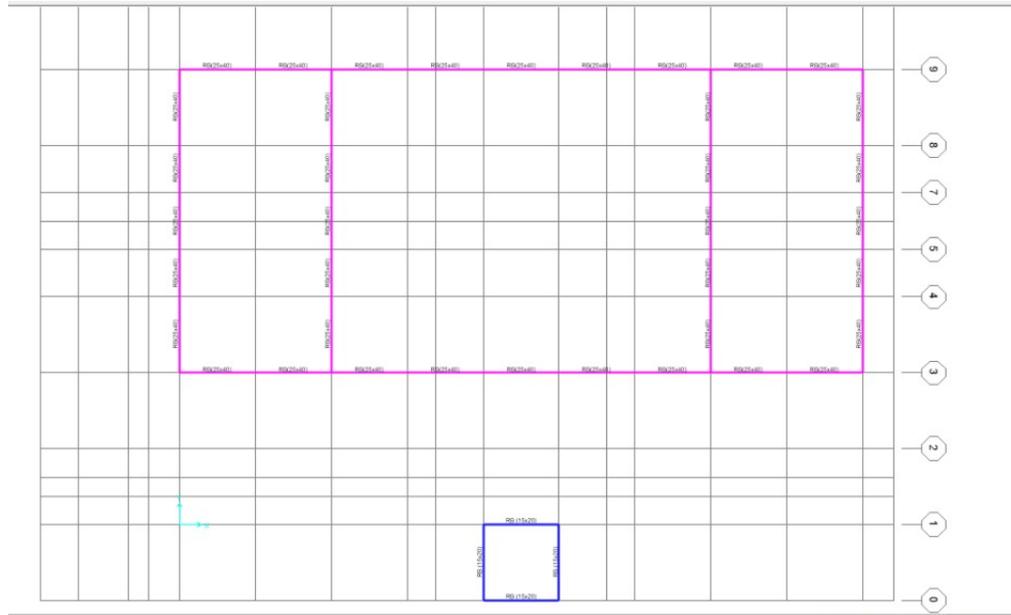
Pada proyek ini elemen balok dalam analisis strukturnya, ada beberapa yang perencana beri perkuatan pada balok dan ada beberapa balok eksisting yang masih aman digunakan. Untuk Analisa perencanaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 34. Pemodelan Balok Lantai 2 (SAP2000)



Gambar 35. Pemodelan Balok Lantai Atap (SAP2000)



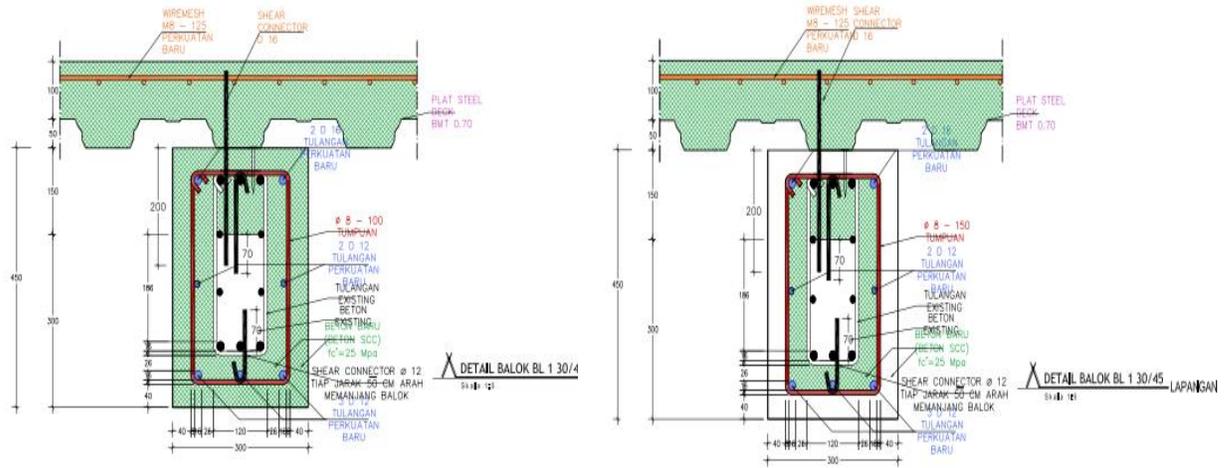
Gambar 36. Pemodelan Ring Balok (SAP2000)

Untuk perkuatan elemen balok, digunakan Metode *concrete jacketing* dengan mempertimbangkan:

1. Terdapat sebagian elemen balok yang tidak memiliki kapasitas penampang yang cukup untuk menahan lentur, geser, torsi atau kombinasi diantara ketiganya, sehingga perlu dilakukan penambahan tulangan lentur, geser dan penambahan dimensi penampang.
2. Mutu beton yang digunakan sangat rendah, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan mengganti beton pada beberapa bagian struktur, khususnya di daerah serat tekan.

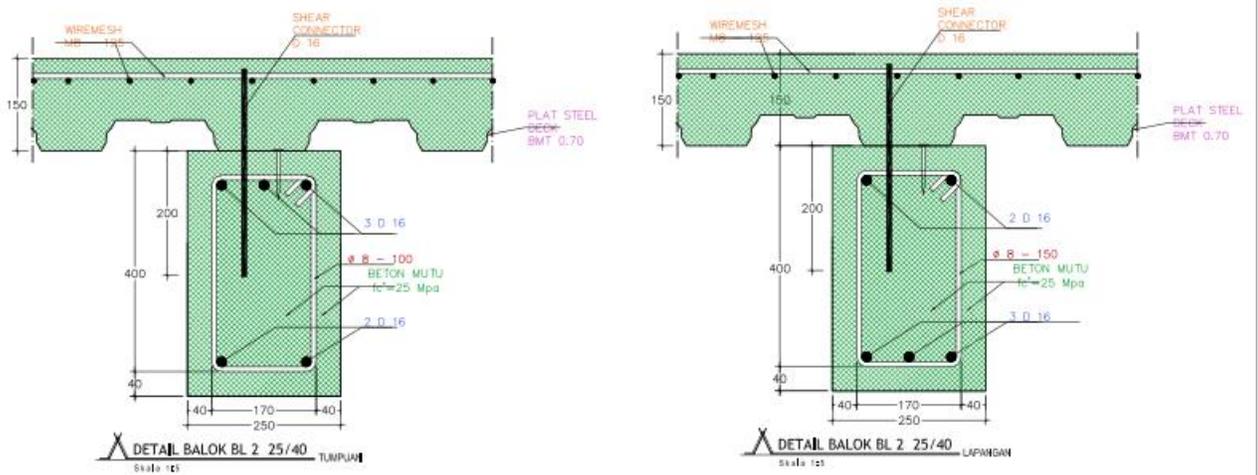
Adapun hasil analisis struktur yang perencana peroleh detailing dalam perencanaan perkuatan elemen balok ini sebagai berikut:

- Balok BL 1 (30/45)



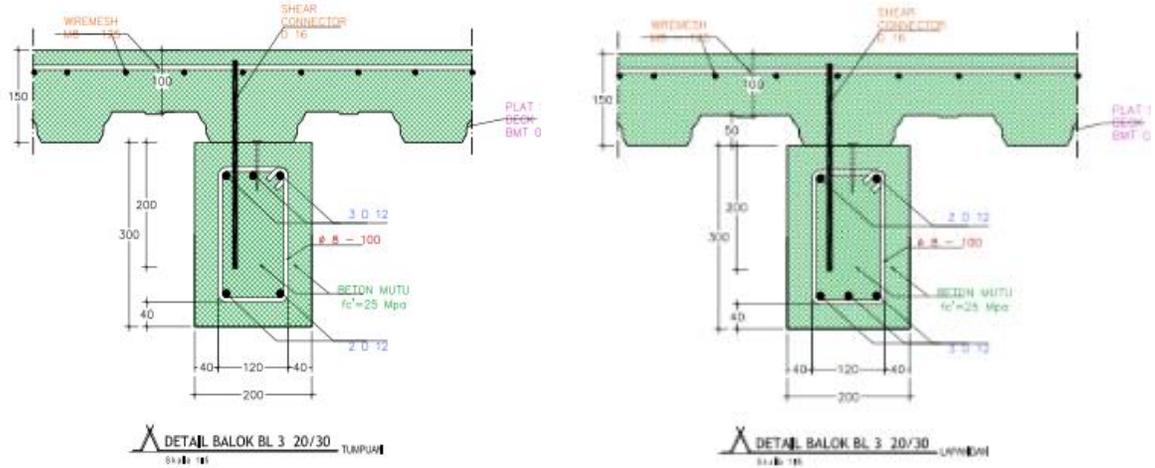
Gambar 37. Pendetailan Balok BL (30/45)

➤ Balok BL 2 (25/40)



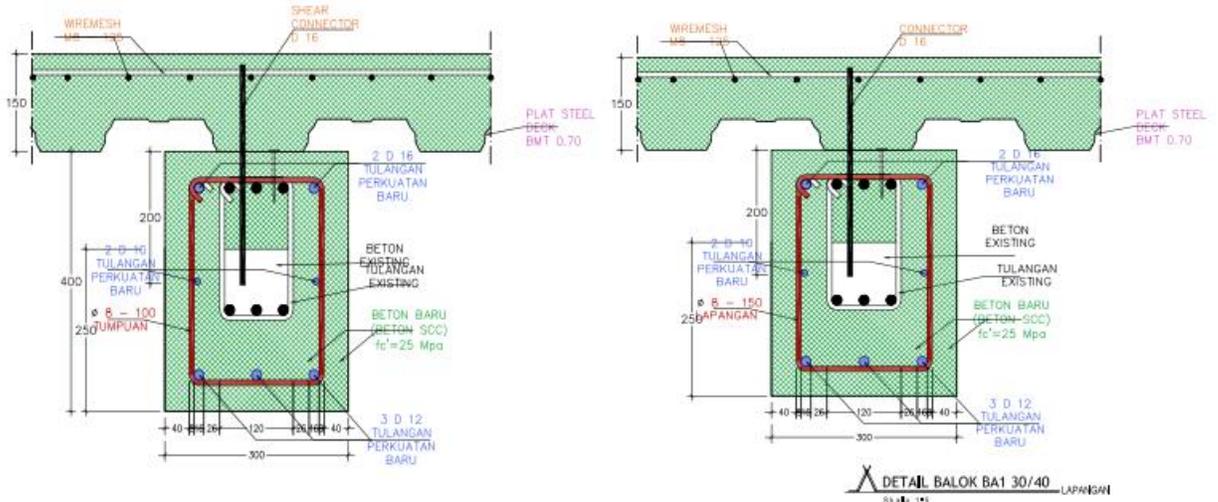
Gambar 38. Pendetailan Balok BL 2 (25/40)

➤ Balok BL 3 (20/30)



Gambar 39. Pendetailan Balok BL 3 (20/30)

➤ Balok BA 1 (30/40)



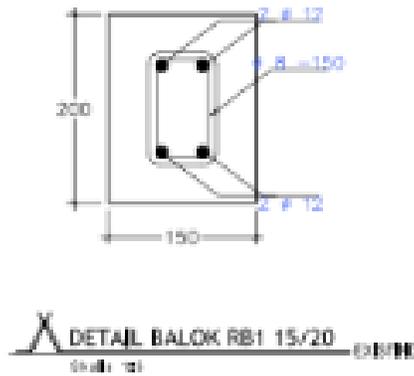
Gambar 40. Pendetailan Balok BA 1 (30/40)

➤ Balok BA (20/30)



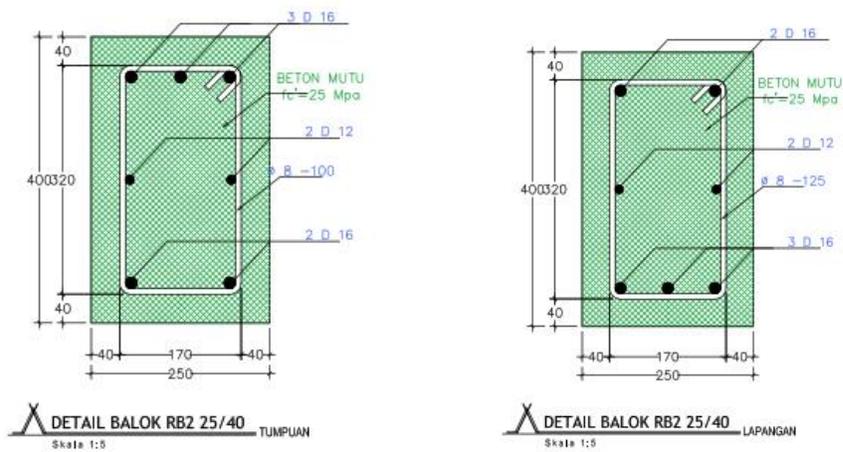
Gambar 41. Pendetailan Balok BA (20/30)

➤ Balok RB (15/20)



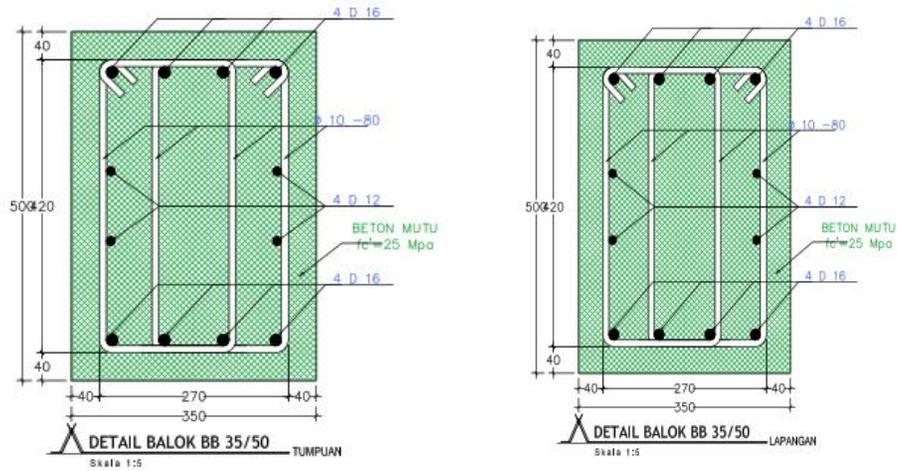
Gambar 42. Pendetailan Balok RB (15/20)

➤ Balok RB (25/40)

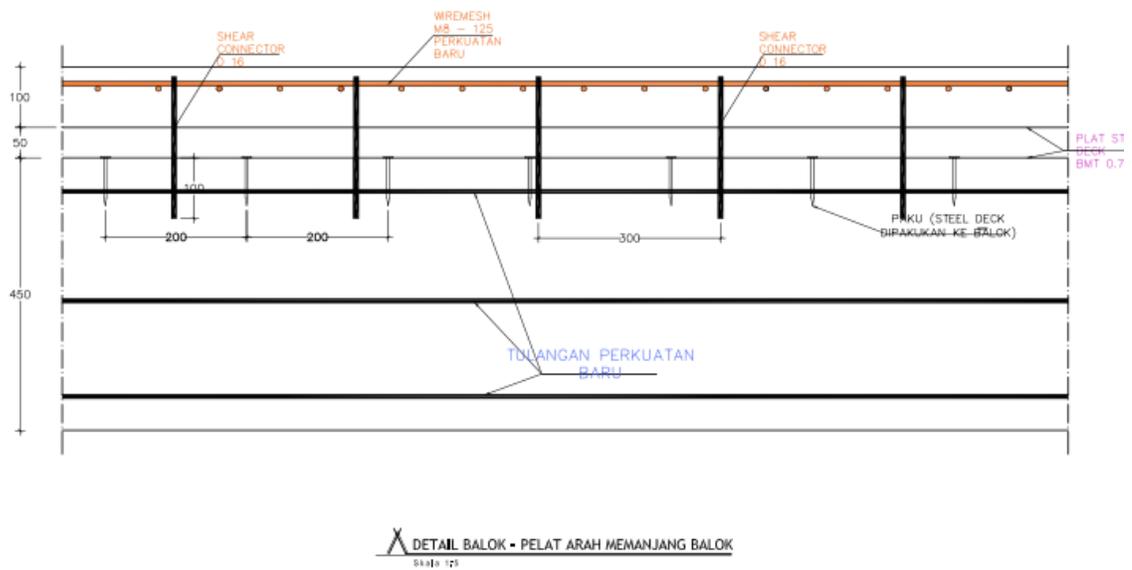


Gambar 43. Pendetailan Balok RB (25/40)

➤ Balok Bordes Tangga (35/50)



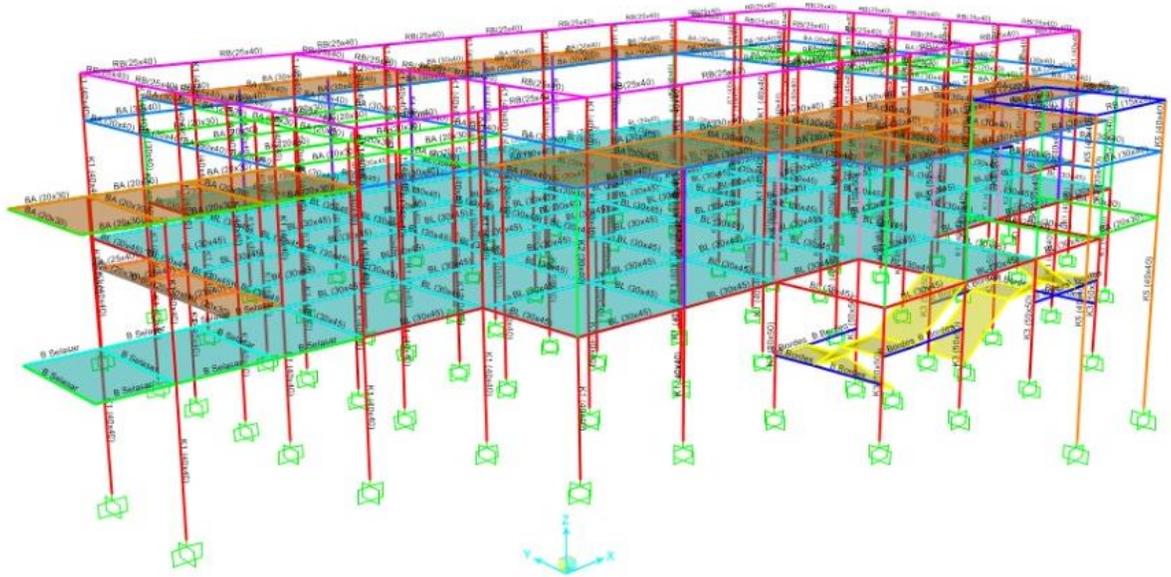
Gambar 44. Pendetailan Balok Bordes Tangga (35/50)



Gambar 45. Pendetailan Balok – Pelat Arah Memanjang Balok

Untuk perhitungan struktur Perkuatan Balok dapat dilihat pada lampiran C.

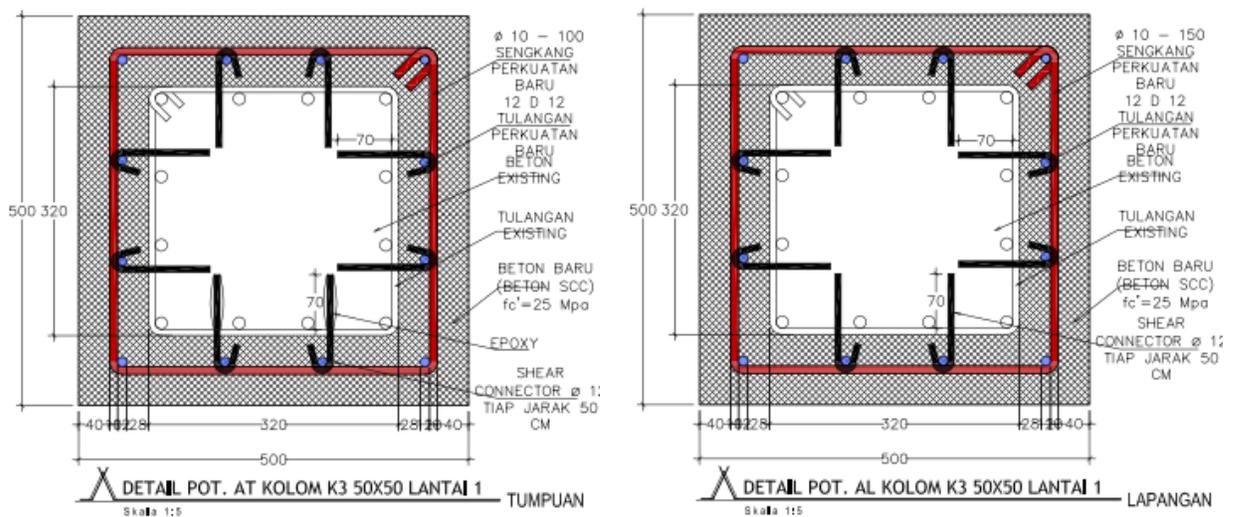
C. KOLOM



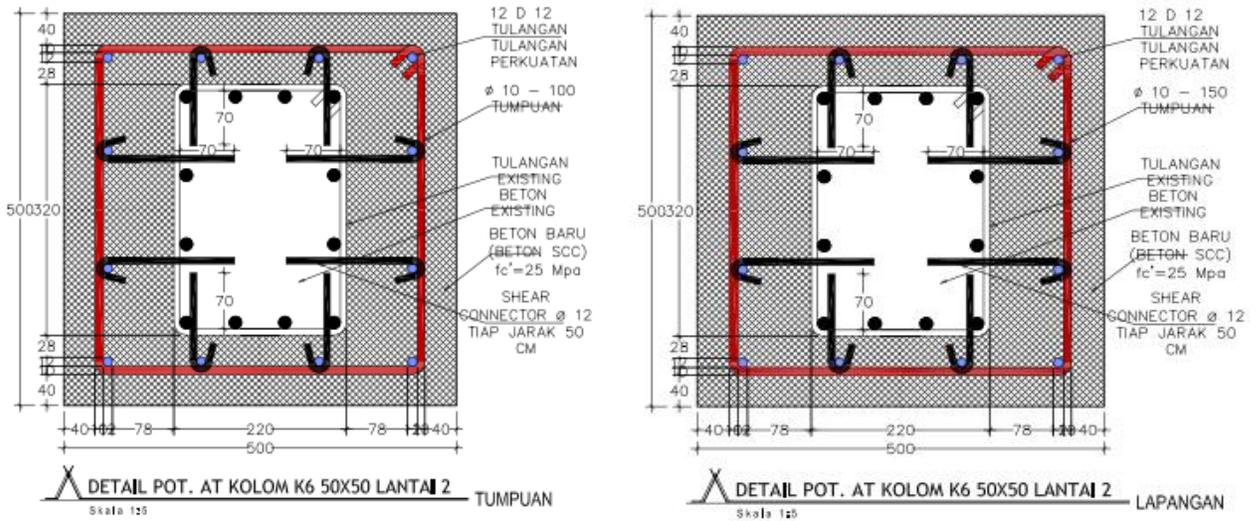
Gambar 46. Pemodelan pada kolom (SAP2000)

Untuk elemen kolom, terdapat 2 alternatif perkuatan yang dapat dilakukan, yaitu:

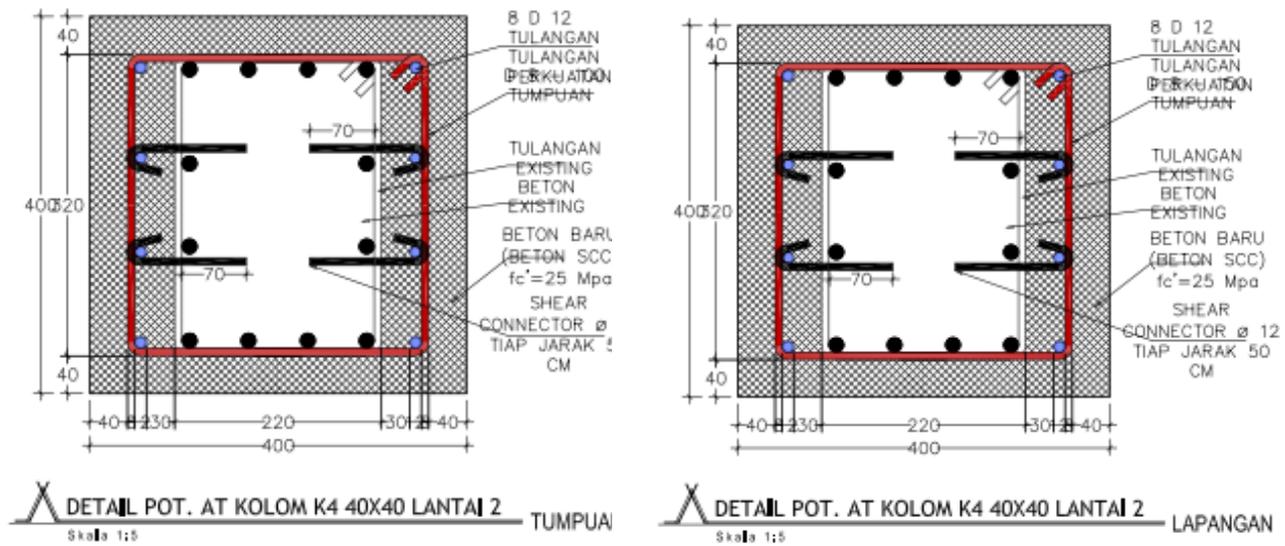
1. Metode *Concrete Jacketing*
2. Metode Perkuatan Menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Plastic*)



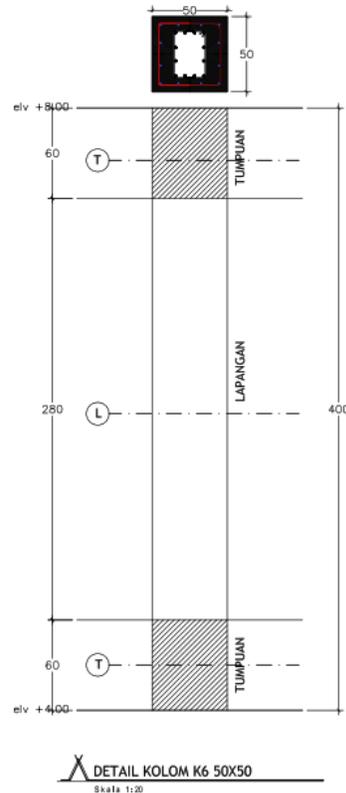
Gambar 47. Perkuatan Kolom K3 (50/50) Lantai 1 dengan menggunakan Metode Concrete Jacketing



Gambar 48. Perkuatan Kolom K6 (50/50) Lantai 2 dengan menggunakan Metode Concrete Jacketing



Gambar 49. Perkuatan Kolom K4 (40/40) Lantai 2 dengan menggunakan Metode Concrete Jacketing

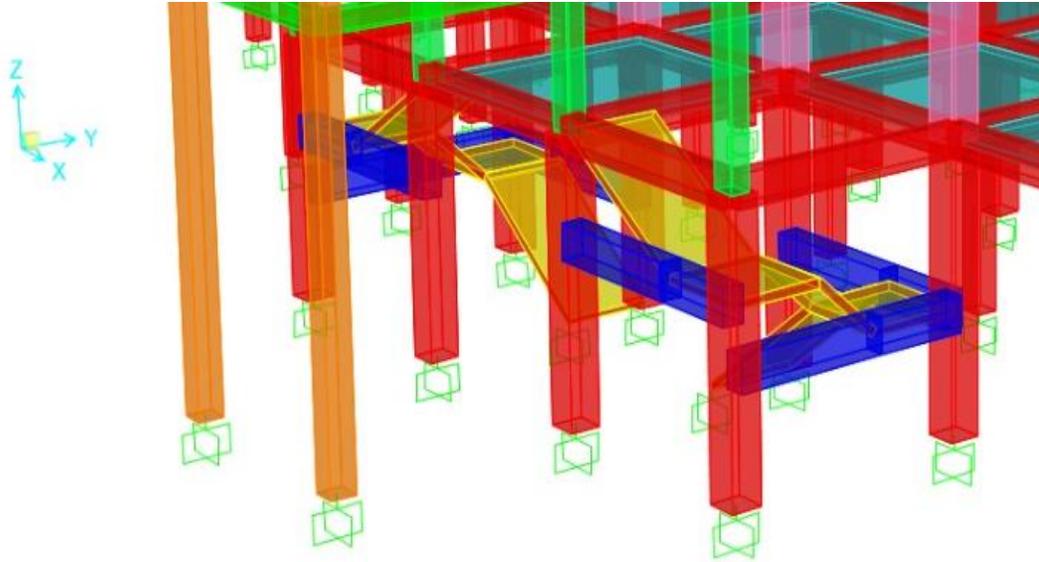


Gambar 50. Perkuatan Kolom Lantai 1 dengan menggunakan *FRP*

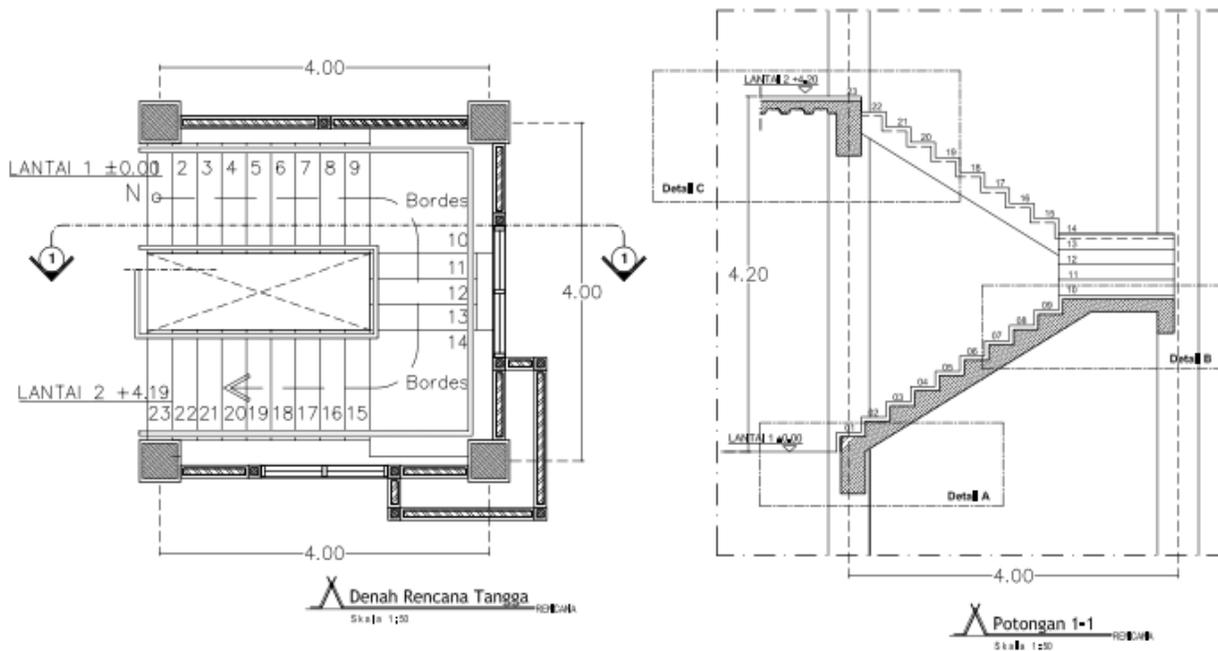
Untuk perhitungan Perkuatan Kolom dapat dilihat pada lampiran D.

D. TANGGA

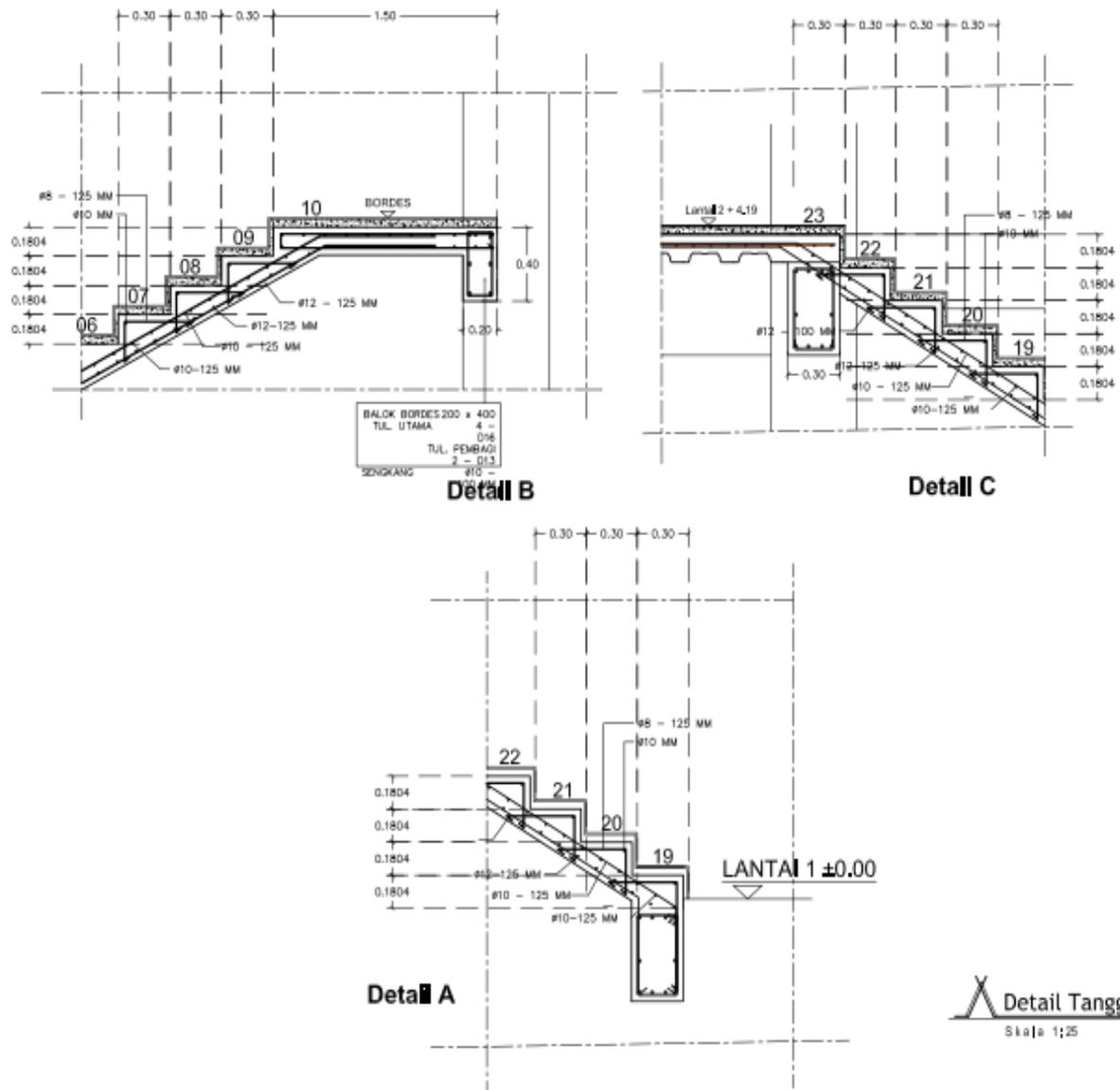
Untuk struktur tangga, pada tangga yang lama dibongkar dan direncanakan kembali struktur tangga yang baru, dimana pemodelannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 51. Pemodelan Struktur Tangga (SAP2000)



Gambar 52. Denah Rencana Tangga dan Potongan Tangga



Gambar 52. Detailing tangga

Untuk perhitungan desain Tangga dapat dilihat pada lampiran E.

10.2.2. STRUKTUR BAWAH

Pada struktur bawah ini (Tie Beam dan Pondasi Pelat Setempat) dengan menggunakan desain lama masih aman (mampu) dalam memikul beban yang bekerja pada struktur atasnya.

A. TIE BEAM

Untuk perhitungan pengecekan Tie Beam dapat dilihat pada lampiran F.

B. PONDASI PELAT SETEMPAT

Untuk perhitungan pengecekan Pondasi dapat dilihat pada lampiran G.

11. KESIMPULAN

Dari hasil analisis struktur Gedung Aula Kantor Walikota Sungai Penuh ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

- a. Berdasarkan hasil pemeriksaan survey awal dan pengujian dilapangan, ada beberapa elemen struktur yang mengalami retak lentur, retak geser, retak lentur dan retak geser serta lendutan.
- b. Dalam menganalisis penampang eksisting penampang, ada beberapa elemen struktur yang umumnya memperoleh hasil dengan kegagalan, dibawah kapasitas maksimum penampang.
- c. Elemen struktur yang mengalami kegagalan lentur dan geser harus melakukan perkuatan pada elemen tersebut, baik elemen plat lantai, balok dan kolom.
- d. Pada elemen pelat, metode perkuatan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan pelat bondek, dimana pada sistem pelat ini tidak menggunakan perancah dalam pelaksanaannya dan dimensi pelat yang digunakan menjadi 150 mm.
- e. Pada elemen balok dan kolom, metode perkuatan yang dapat dilakukan adalah dengan Metode *Concrete Jacketing* dan FRP dengan mempertimbangkan aspek biaya, kapasitas dan dimensi penampang yang tidak memadai, serta mutu beton eksisting yang sangat rendah,