

Desain Modifikasi Struktur Gedung Star Hotel dan Apartemen Lombok Barat dengan Sistem Ganda dan sebagian Balok Pratekan

Fajrin Ramadhani, Jauarti Jaya E, Data Iranata

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

E-mail: iranata80@gmail.com januarti@ce.its.ac.id

Abstrak—Pada studi ini penulis mendesain gedung Star Hotel dan Apartemen Lombok Barat dimana desainnya menggunakan desain Star Hotel dan Apartemen Semarang, yang sebagian strukturnya telah dimodifikasi yang mana nantinya pada lantai 11 akan dibuat sebuah ruangan yang bebas kolom atau hanya terdapat kolom ditepi, yang berfungsi sebagai ballroom. Dari modifikasi tersebut diperlukan suatu struktur balok yang bisa menjangkau bentang panjang pada ruangan tersebut. Dari sini alternatif yang diperlukan adalah menggunakan balok Pratekan yang dapat menahan lendutan yang besar. Selain itu gedung ini direncanakan menggunakan sistem ganda, yaitu gabungan antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Perencanaan struktur gedung ini meliputi plat, balok, kolom, shearwall dan tangga mengikuti peraturan beton bertulang (SNI 2847-2013) dan perhitungan gempa mengikuti peraturan SNI 1726-2012. Hasil dari studi ini adalah struktur gedung termasuk kategori desain seismik D, sehingga dapat menggunakan sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus untuk direncanakan saat terjadi gempa mengalami simpangan maksimum sebesar 31,4 mm. Untuk perencanaan balok beton pratekannya didapatkan 60x80 cm yang terdiri dari 1 tendon dengan 22 strand.

Kata Kunci—Hotel dan apartemen, Beton Pratekan, Sistem Ganda.

I. PENDAHULUAN

PERANCANGAN studi ini memodifikasi gedung Star Hotel dan Apartment Lombok barat dengan menggunakan Sistem Ganda, yakni gabungan Sistem rangka pemikul momen dan Dinding geser. Pada lantai 11 akan direncanakan sebuah ballroom yang mana nantinya akan direncanakan balok Pratekan, karena fungsinya sebagai ruangan yang cukup luas tanpa kolom. Selain itu perencanaan pondasi pada gedung ini juga disertakan. Perencanaan pondasi pada gedung ini menggunakan grup tiang pancang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Beton Bertulang

Menurut [1], Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa Pratekan, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. Dari sifat utama tersebut dapat dilihat bahwa tiap-

tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua bahan (beton dan baja tulangan) dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Beban tarik pada beton bertulang ditahan oleh baja tulangan, sedangkan beban tekan cukup ditahan oleh beton.

B. Beton Pratekan

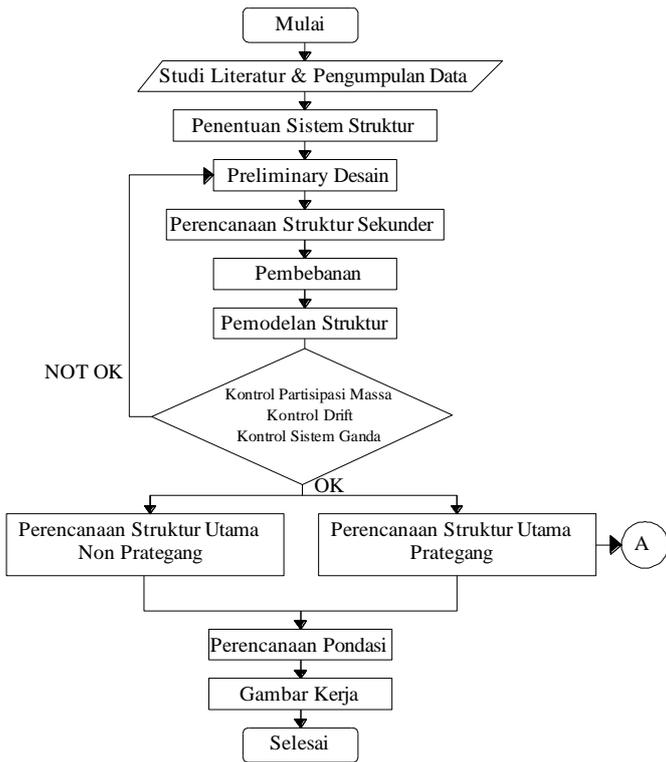
Beton Pratekan merupakan kombinasi ideal dari 2 bahan berkekuatan tinggi. Terdapat perbedaan utama antara beton Pratekan dan beton bertulang. Pada beton bertulang kombinasi antara beton dan baja dilakukan dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan pada beton Pratekan, kombinasi antara beton dan baja dilakukan secara aktif, yaitu dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menyebabkan beton mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Beton adalah bahan yang getas apabila terkena tarikan, dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi [2].

C. Sistem Ganda

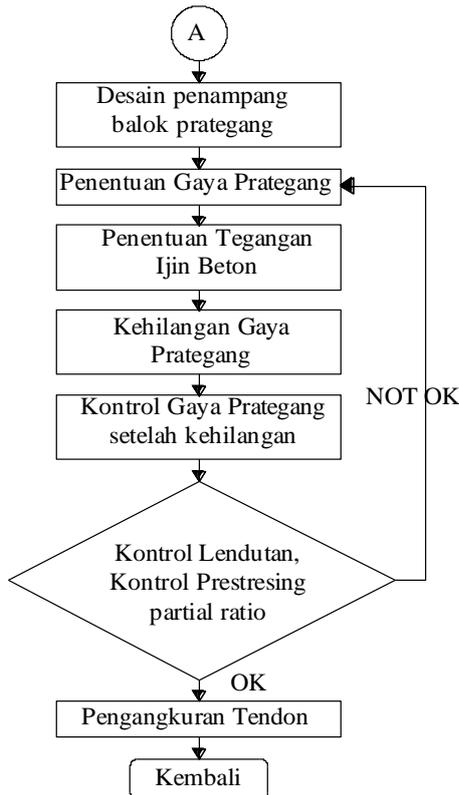
Sistem ganda merupakan gabungan antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Struktur portal sebagai penahan gempa tidak efisien untuk membatasi defleksi lateral akibat gaya gempa, karena dimensi portal (balok dan kolom) akan bertambah besar jika kita merencanakan gedung bertingkat banyak. Dinding geser sebagai dinding struktural sangat efektif dalam memikul gaya lateral, karena kekuatan dinding geser dapat mengontrol simpangan horizontal yang terjadi serta dapat mengontrol stabilitas struktur secara keseluruhan [3].

III. URAIAN PERENCANAAN

A. Diagram Alir Perencanaan



Gambar 1. Diagram alir penyelesaian studi.



Gambar 2. Diagram alir perencanaan balok Pratekan.

B. Modifikasi dan Kriteria Pemilihan Struktur

1. Data – data setelah modifikasi :
 - Nama gedung : Star Hotel dan Apartemen
 - Lokasi : Lombok Barat, NTB
 - Fungsi : Apartemen dan Hotel
 - Jumlah lantai : 11 Lantai
 - Tinggi bangunan : ±34,5 meter

- Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa

D. Preliminary Design

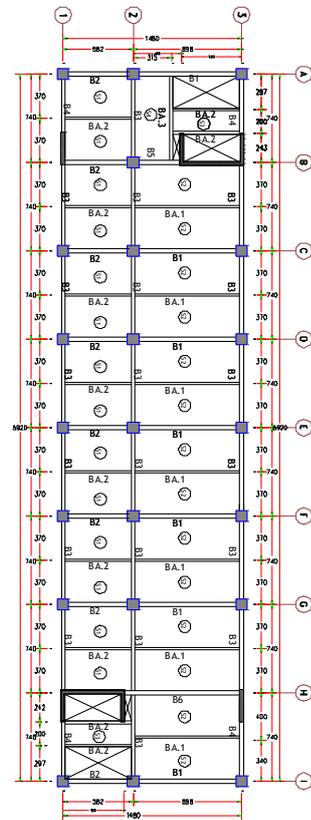
Preliminary design merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur.

1. *Preliminary design* dimensi balok induk, balok anak, dan balok lift sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 tabel 9.5 (a)
2. Dimensi (tebal) pelat ditentukan menurut peraturan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3 tabel 9.5 (c)
3. *Preliminary design* kolom sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.3.6

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preliminary Design

Untuk desain denah bangunan dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Denah balok dan kolom.

1. Dimensi Balok

Sesuai dengan [1] pasal 9.5.2.1 tabel 9.5 (a) untuk dimensi balok yang direkapitulasi pada Tabel 1 dan Tabel 2:

Tabel 1.
Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode Balok Induk	L cm	hmin cm	bmin cm	hpakai cm	bpakai cm
B1	897,5	56,09	37,39	60	40
B2	582,5	36,41	24,27	60	40
B3	740	46,25	30,83	60	40
B4	497,5	31,09	20,72	60	40
B5	315	19,69	13,12	60	40
B6	980	61,25	40,83	65	45

Tabel 2. Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok anak	L cm	hmin cm	bmin cm	hpakai cm	bpakai cm
BA 1	897,5	42,7	28,5	50	30
BA 2	582,5	27,7	18,5	50	30
BA 3	497,5	23,7	15,8	50	30

2. Dimensi Pelat

Dari hasil perhitungan diperoleh tebal pelat untuk semua lantai yang dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Rekapitulasi Tebal Pelat

Tipe	Dimensi (m)		Tebal mm	ket
	Lx	Ly		
S1	3,70	5,83	120	2 Arah
S2	3,70	8,98	120	1 Arah
S3	2,00	5,83	120	1 Arah
S4	3,15	7,40	120	1 Arah

3. Desain Kolom

Dari hasil perhitungan didapatkan dimensi kolom yang dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4. Rekapitulasi dimensi kolom

Kolom	Dimensi (cm)
K1	95 x 95
K2	85 x 85
K3	70 x 70

4. Desain Dinding Geser

Bedasarkan peraturan [1] pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari 1/25 tinggi, maka didapatkan ketebalan 20 cm dan 35 cm

B. Desain Struktur Sekunder

1. Penulangan Pelat Lantai

Kombinasi pembebanan yang digunakan :

$$Q_u = 1.2 DL + 1.6 LL$$

Sehingga diperoleh hasil penulangan pelat atap dan pelat lantai sebagai berikut :

Tabel 5. Penulangan Pelat Lantai

No	Tipe pelat	tebal mm	Jenis pelat pelat	Arah	S tulangan mm
1	S1	120	2 Arah	X	∅ 10 - 200
				Y	∅ 10 - 100
2	S2	120	1 Arah	X	∅ 10 - 200
3	S3	120	1 Arah	X	∅ 10 - 200

2. Perencanaan Balok Anak

- Balok anak (40/60)

Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan tulangan tumpuan dan tulangan lapangan yang dapat dilihat pada Tabel 6:

Tabel 6. Penulangan Balok Anak

No	Jenis Balok	Dimensi Balok		Posisi	Dim. Tul.		Tul lentur		Tul Geser mm
		cm	cm		Lentur mm	Geser mm	Atas	Bawah	
1	BA.1	50	30	Tumpuan	D 16	∅ 10	5	3	100
				Lapangan	D 16	∅ 10	2	3	
2	BA.2	50	30	Tumpuan	D 16	∅ 10	3	2	100
				Lapangan	D 16	∅ 10	2	3	
3	BA.3	50	30	Tumpuan	D 16	∅ 10	3	2	100
				Lapangan	D 16	∅ 10	2	3	

3. Desain Tangga

a. Penulangan Pelat Tangga dan bordes

Didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 7. Penulangan Tangga

Tangga	Pelat	Lentur	D 13 - 100
			susut ∅ 8 - 200
Tangga lt 1	Pelat bordes	lentur	D 13 - 200
		susut	∅ 8 - 200
Tangga lt 2-11	Pelat tangga	lentur	D 13 - 100
		susut	∅ 8 - 200
	Pelat bordes	lentur	D 13 - 100
		susut	∅ 8 - 200

b. Penulangan Balok Bordes

Dimensi balok bordes dipakai 20/30

Digunakan tulangan tumpuan 3D13

Digunakan tulangan lapangan 2 D13

Digunakan tulangan sengkang ∅10-120

4.

Perhitungan Balok Lift

Didapatkan penulangan lentur tarik 4 D16, tekan 2D16. Untuk tulangan geser didapatkan untuk lapangan 2 ∅ 10 – 200, dan untuk tumpuan 2 ∅ 10 – 200

C. Pembebanan dan Analisis Gaya Gempa

1. Pembebanan

$$W_{sap} = 10691 \text{ Ton}$$

$$W_{manual} = 10867 \text{ Ton}$$

Selisih W_{sap} dan W_{manual} :

$$\text{Selisih} = (10867 - 10691) : (10867)$$

$$= 1,62\%$$

2. Kombinasi Beban Berfaktor

Kombinasi-kombinasi beban yang digunakan adalah sebagai berikut:

Untuk Ultimate

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0Ey
- 1,0DL+1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0Ey

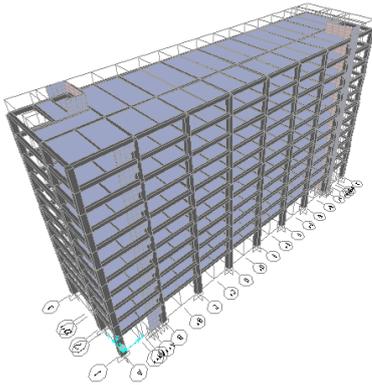
Untuk Layan

- 1D + 1L

3. Data Perencanaan

Data-data analisis gempa yang akan digunakan pada perancangan gedung adalah sebagai berikut:

- Kelas Situs = SE (Tanah Lunak)
- Kategori Resiko : II
- faktor keutamaan: I
- $S_s = 0,952 g$
- $S_1 = 0,385 g$



Gambar 4. Permodelan 3D Struktur Utama.

4. *Kontrol Waktu Getar Alami*

Periode yang terjadi berdasarkan perhitungan SAP harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$T_a < T_{SAP} < T$$

Arah x: 0,694 detik < 0,945 detik < 0,9726 detik (Ok)

Arah y: 0,694 detik < 0,842 detik < 0,9726 detik (Ok)

5. *Kontrol Gaya Geser Dasar*

Syarat:

$$V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$$

Setelah dilakukan pengalihan faktor skala didapatkan:

Tabel 8. Kontrol Akhir Base Reaction

	Fx Ton	Fy Ton	Kontrol akhir	
			Fx	Fy
V dinamik	793,6		Ok	
0,85 Vstatik	789,4			
V dinamik		791,4	Ok	
0,85 Vstatik		789,4		

6. *Kontrol Sistem Ganda*

Tabel 9.

Persentase Gaya Geser yang Dipikul Sistem Struktur

No	Gempa	Presentase dalam menahan gempa			
		Shearwall		Portal	
		fx	fy	fx	fy
1	Gempa X	56,34%	68,10%	43,66%	31,90%
2	Gempa Y	74,34%	67,23%	25,66%	32,77%

7. *Kontrol drift*

$$\Delta s \text{ ijin} = 0,020 h s x = 0,020 \times 3000 = 60 \text{ mm}$$

$$\Delta \text{terjadi (Max)} = 31,4 \text{ mm (ok)}$$

D. *Perencanaan Struktur Primer Pratekan*

Data Perencanaan

- Bentang Balok = 14,8 m
- Dimensi balok pratekan = 60 x 80 cm
- Tebal pelat = 12 cm
- Mutu beton pratekan (f'c) = 40 Mpa
- Mutu beton pelat (f'c) = 40 Mpa
- Mutu baja tulangan (fy) = 400 Mpa
- Decking = 40 mm

1. *Penentuan Gaya (F)*

Gaya awal (Fo) = 2500 kN

Gaya eff (F_{eff}) = 0,8 x 2500 = 2000 kN

2. *Eksentrisitas Tendon*

e_o lapangan = 265,8 mm (terletak di bawah cgc)

e_o tumpuan = 100 mm (atas cgc)

3. *Teg ijin Beton*

Pada saat transfer ditengah bentang

TekanIjin = -21.12 MPa

Tarik Ijin = 2.97 MPa

Pada saat transfer ditumpuan

Tarik Ijin = 2.97 MPa

Tekan Ijin = -24.64 MPa

Pada saat beban layan

Tarik ijin = 4,427 Mpa

Tekan ijin = -18 MPa

4. *Kontrol Tegangan*

- Saat Transfer

Tumpuan

Serat Atas = 2,97 ≥ -3,62 MPa(ok)

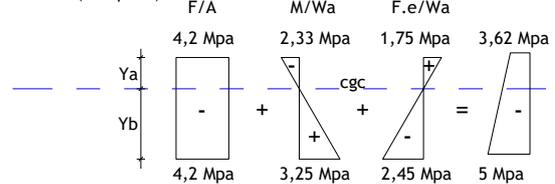
Serat Bawah = -24,6 ≥ -5 MPa(ok)

Lapangan

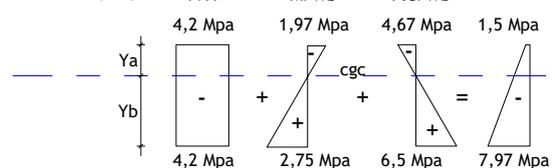
Serat Atas = 2,97 ≥ -1,5 MPa(ok)

Serat Bawah = -21,12 ≥ -7,96 MPa(ok)

Saat 1D (Tumpuan)



Saat 1D (Lapangan)



Gambar 5. Diagram Tegangan saat 1D.

- Saat Beban Bekerja

Tumpuan

Serat Atas = 4,42 ≥ 0,25 MPa(ok)

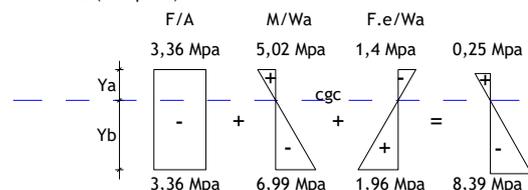
Serat Bawah = -18 ≥ -8,39 MPa(ok)

Lapangan

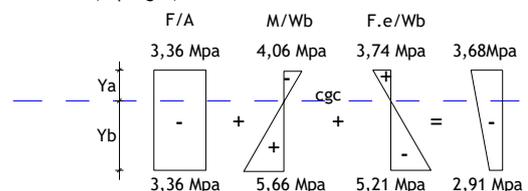
Serat Atas = -18 ≥ -3,68 MPa(ok)

Serat Bawah = 4,43 ≥ -2,91 MPa(ok)

Saat 1D+1L (Tumpuan)



Saat 1D+1L (Lapangan)



Gambar 6. Diagram Tegangan saat 1D+1L.

5. *Penentuan Jumlah Strand*

Menggunakan data dari tabel prestressing strand – 7 wire, uncoated ASTM A416 untuk post tensioning.

Diameter Strand = 12,7 mm

Luas Nominal area = 100 mm²

Min. Breaking load = 184 kN = 184000 N

Dengan nilai tegangan ijin tendon yang didapat, dapat dihitung jumlah luasan strand yang dibutuhkan untuk

menghasilkan gaya prategang $F = 2500000 \text{ N}$ yang diinginkan.

$$f_{st} = 0,7 f_{pu} = 0,7 \times (184000/100) = 1288 \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{st}} = \frac{2500000}{1288} = 1940 \text{ mm}^2$$

Jumlah Strand :

$$n = \frac{A_{ps}}{A_s} = \frac{1940}{100} = 19,4 = 20 \text{ buah}$$

Dari tabel prestressed strand ASTM A416 digunakan strand berjumlah 22 buah, dengan tipe tendon (5-22) satu buah.

6. Kehilangan Gaya Pratekan

Total kehilangan gaya pratekan dari hasil perhitungan adalah sebesar 18,21%

7. Kontrol tegangan setelah kehilangan Tumpuan

Serat Atas = 4,43 \geq 0,14 MPa (ok)

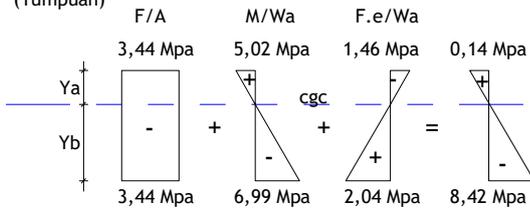
Serat Bawah = -18 \geq -8,42 MPa (ok)

Lapangan

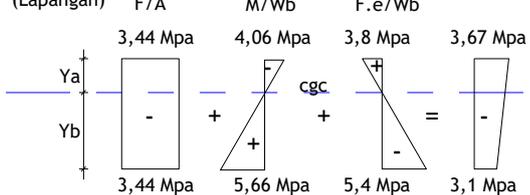
Serat Atas = -18 \geq -3,67 MPa (ok)

Serat Bawah = 4,43 \geq -3,1 MPa (ok)

(Tumpuan)



(Lapangan)



Gambar 7. Diagram Tegangan setelah kehilangan gaya pratekan.

8. Kontrol Lendutan

Lendutan ijin

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{480} = \frac{14800}{480} = 30,83 \text{ m}$$

Lendutan yang terjadi

Akibat tendon (Δl_{PO}) = -8,96 mm

Akibat eksentrisitas (Δl_{me}) = 7,34 mm

Akibat beban (Δl_{qO}) = 4,04 mm

$$\Delta l_A = \Delta l_{PO} + \Delta l_{qO} + \Delta l_{me} = -8,96 + 7,34 + 4,04 = 2,4 \text{ mm} (\downarrow) < 30,83 \text{ mm (Ok)}$$

9. Penulangan lunak tambahan

Lentur Tumpuan = (tarik 6D25),(tekan 3D25)

Lentur lapangan = (tarik 5D25),(tekan 2D25)

Geser Tumpuan = 2 ϕ 13 – 150 mm

Geser Lapangan = 2 ϕ 13 – 250 mm

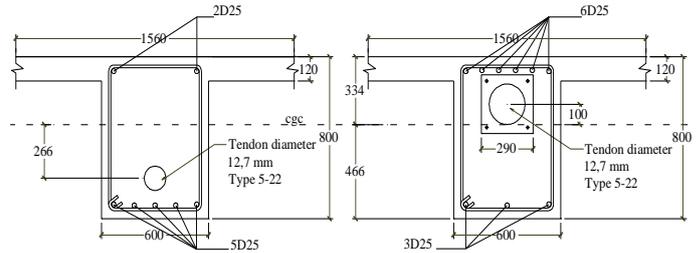
10. Kontrol prestressing partial ratio

Tumpuan

$$PPR = \frac{Mnp}{Mn} = \frac{1873}{2429} = 0,69 = 69\% < 80\%..(Oke)$$

Lapangan

$$PPR = \frac{Mnp}{Mn} = \frac{2010}{2968} = 0,75 = 75\% < 80\%..(Oke)$$



Gambar 8. Penulangan pada B1.

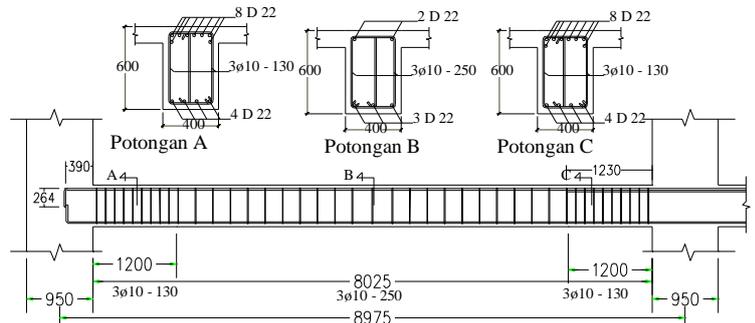
E. Perencanaan Struktur Primer Non Pratekan

1. Penulangan Balok Induk

Dari hasil perhitungan diperoleh balok dimensi 60/80 dengan kebutuhan tulangan tumpuan,lapangan dan geser yang dapat dilihat pada Tabel berikut

Tabel 10. Penulangan Balok Induk

Jenis Balok	Tulangan Lentur (mm)				Tulangan Geser (mm)	
	Tumpuan		Lapangan		Daerah Sendi	Luar Sendi
	Negatif	Positif	Negatif	Positif	Plastis	Plastis
B1	8 D 22	4 D 22	2 D 22	3 D 22	3 ϕ 10 - 130	3 ϕ 10 - 250
B2	6 D 22	3 D 22	2 D 22	2 D 22	2 ϕ 10 - 130	2 ϕ 10 - 250
B3	7 D 22	4 D 22	2 D 22	3 D 22	2 ϕ 10 - 130	2 ϕ 10 - 230
B4	5 D 22	3 D 22	2 D 22	2 D 22	2 ϕ 10 - 130	2 ϕ 10 - 250
B5	4 D 22	2 D 22	2 D 22	2 D 22	2 ϕ 10 - 130	2 ϕ 10 - 250
B6	9 D 22	5 D 22	3 D 22	3 D 22	3 ϕ 10 - 130	3 ϕ 10 - 190



Gambar 9. Penulangan pada B1.

2. Penulangan Lentur Kolom 850/850

Penulangan lentur kolom K2 menggunakan program bantu *spColumn* sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Rasio Tulangan Longitudinal = 1,13 %

Penulangan 16D25

Untuk kolom yang lain dapat dilihat pada gambar berikut:

TIPE KOLOM	K1	K2	K3
GAMBAR			
DIMENSI	950 x 950	850 x 850	700 x 700
LONGITUDINAL	20 D25	16 D25	12 D25
SENGKANG	4 D16 - 150	3 D16 - 150	3 D16 - 150

Gambar 10. Penulangan Kolom.

3. Penulangan Dinding Geser

- Penulangan geser horizontal = 2D22-150 mm (untuk kedua arah)

- Penulangan geser vertikal = 2D13-200 mm (untuk kedua arah)

F. *Hubungan Balok Kolom*
didapatkan 3D16-150 mm

G. *Perencanaan Pondasi*

1. *Analisis Daya Dukung Tiang Pancang*

Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan metode "LUCIANO DECOURT"

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = resistance ultimate didasar pondasi

Q_s = resistance ultimate akibat lekatan lateral

2. *Perancangan Pondasi Tiang Pancang*

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

- Pondasi menggunakan tiang pancang dengan spesifikasi sebagai berikut:

<i>Diameter outside (D)</i>	: 600 mm
<i>Thickness</i>	: 100 mm
<i>Allowable compression</i>	: 249 ton
<i>Kedalaman</i>	: 33 m
<i>Tiang Pancang Poer Kolom</i>	: 5 buah
<i>Tiang Pancang Shearwall 1</i>	: 12 buah
<i>Tiang Pancang Shearwall 2</i>	: 6 buah
<i>Tinggi semua poer</i>	: 1 m

V. PENUTUP

1. Pada perencanaan struktur sekunder didapatkan 3 jenis balok anak, 3 jenis pelat dan 2 jenis tangga.
2. Dari hasil analisis beban gempa, struktur gedung termasuk ke dalam kategori desain seismik D dengan

demikian konfigurasi konfigurasi sistem struktur penahan gempa yang diterapkan adalah Sistem ganda dengan SRPMK. Dari program SAP2000 didapatkan kontrol nilai akhir respon spektrum V dinamik arah x dan y sebesar 438 Tonf dan 403 Tonf, kontrol partisipasi massa memenuhi syarat yaitu pada mode 14, memenuhi kontrol *drift* (simpangan) yaitu tidak boleh melebihi 60 mm yang dimana simpangan maksimumnya sebesar 31,4 mm, dan kontrol waktu getar alami(T) sebesar 0,945 detik untuk arah x dan 0,842 detik untuk arah y dan Kontrol Sistem ganda memenuhi persyaratan, yakni portal menahan gempa minimal 25%.

3. Pada perencanaan balok pratekan direncanakan dengan dimensi 60/80 cm, didapatkan Gaya (F) Sebesar 2500 kN, digunakan Strand berjumlah 22 tipe tendon (5-22) 1 buah dan menghasilkan lendutan sebesar 2,4 mm (↓) yang telah memenuhi persyaratan.
4. Hasil dari perencanaan struktur utama didapatkan 6 jenis balok induk yang berdimensi 40/60 cm untuk jenis balok 1 sampai 5 dan 45/65 pada balok 6, pada kolom didapatkan 3 jenis dan shearwall 2 jenis.
5. Pada perencanaan pondasi tiang pancang, didapatkan 3 jenis pondasi dan direncanakan pada kedalaman 33 m pada masing-masing jenis pondasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. Nasional, *SNI 03-2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2013.
- [2] H. Lin.T.Y dan Burns, *Desain Struktur Beton Prategang, Jilid I*. Batam: Interaksara, 2000.
- [3] R. Purwono, *Perencanaan Struktur Brton Bertulang tahan Gempa*. Surabaya: ITS press, 2006.