

# Desain Modifikasi Struktur Tower Caspian Apartemen Grand Sungkono Lagoon Menggunakan Sistem Balok Prategang dan Sistem Ganda

Nyoman Adisurya Wijaya, Faimun, dan I Gusti Putu Raka  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: faimun@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Gedung Tower Caspian terdiri atas 50 lantai dan 3 basement yang pada kondisi sebenarnya dibangun menggunakan metode beton bertulang konvensional pada keseluruhan lantainya. Pada tugas akhir ini struktur Tower Caspian akan dimodifikasi ulang menjadi 20 lantai dengan 1 basement yang dirancang dengan menggunakan beton bertulang pada keseluruhan lantai dan direncanakan menggunakan atap datar dengan dak beton yang akan difungsikan sebagai roof garden dan aktivitas semi outdoor yang tumpu menggunakan balok prategang pada lantai 19 yang akan di desain menjadi ballroom tanpa ada struktur kolom di tengah ruangan sehingga ballroom menjadi lebih luas dan nyaman. Karena jika menggunakan balok beton bertulang yang akan menghasilkan dimensi yang lebih besar. Perencanaan Tower Caspian ini menggunakan sistem ganda. Sistem ganda adalah salah satu sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul bersama oleh rangka utama sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh rangka utama dan dinding struktur. Rangka utama dan dinding struktur didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Geser. Dari hasil Analisa yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa balok prategang pada atap arah memanjang dan melintang memiliki dimensi sebesar 500 x 1100 mm dan gaya prategang sebesar 3000 kN. Kehilangan gaya prategang yang di alami oleh balok sebesar 18.7% dan tebal dinding geser sebesar 40 cm. Pondasi menggunakan tiang pancang diameter 60 cm dengan kedalaman 40 meter.

**Kata Kunci**—Modifikasi, Tower Caspian, Grand Sungkono Lagoon, Beton Prategang, Beton Bertulang, Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), Dinding Geser

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan Negara yang memiliki jumlah penduduk yang bertambah setiap tahunnya hal tersebut menyebabkan jumlah kebutuhan masyarakat di Indonesia juga semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia, Surabaya merupakan salah satu kota di Indonesia khususnya di Privinsi Jawa Timur yang memiliki angka kepadatan penduduk yang cukup tinggi. Infrastruktur yang memadai merupakan salah satu faktor yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Namun, dengan terbatasnya lahan yang tersedia pembangunan infrastruktur arah vertikal. Salah satu contoh infrastruktur arah vertikal penunjang kebutuhan masyarakat dalam bidang hunian dan ekonomi adalah gedung apartemen.

Tower Caspian Grand Sungkono Lagoon adalah sebuah Gedung Apartemen yang terletak dipusat Surabaya Barat

merupakan salah satu tower dari proyek Grand Sungkono Lagoon yang terdiri dari 48 lantai. Gedung ini dibangun dengan konstruksi beton bertulang konvensional. Pada Tugas Akhir ini, akan direncanakan ulang gedung serupa dengan modifikasi penambahan lantai gedung yang difungsikan sebagai ruang pertemuan (ballroom) untuk menyelenggarakan acara-acara formal seperti pernikahan, konferensi, seminar atau acara-acara besar lain. Ruangan ini membutuhkan ruang yang luas dan nyaman yang tidak terhalang kolom sehingga dibutuhkan perencanaan menggunakan beton prategang.

Beton bertulang harus memiliki bentang tertentu untuk mencegah lendutan besar yang melampaui batas akibat momen lentur. Struktur yang menopang balok dan membaginya menjadi beberapa bentang adalah kolom. Hal ini menyebabkan suatu ruangan luas yang memerlukan bentang panjang memiliki banyak kolom di tengahnya. Ditinjau dari fungsinya, ruang seminar harus berupa suatu ruangan luas untuk menampung banyak orang. Kolom – kolom di tengah ruangan dapat mengganggu kenyamanan karena mengurangi estetika dan fungsi ruangan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu struktur agar balok – balok bentang panjang memiliki kekuatan tinggi yang dapat menahan beban tanpa ditopang oleh kolom di tengahnya.

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal (ACI 318M-14, 2014). Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang pada kenyataannya adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama – sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Hal ini dicapai dengan dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan [1].

Pada jurnal ini akan memodifikasi Gedung Tower Caspian Apartemen Grand Sungkono Lagoon dengan system ganda dan sistem balok prategang yang memiliki penampang yang efektif dan efisien untuk bekerja menahan beban tanpa kolom di tengahnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Beton Prategang

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan

Tabel 1.  
Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Nama	Bentang (mm)	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
BI 1	6000	550	350
BI 2	9000	600	400
BI 3	7500	550	350
BI 4	4500	550	350
BI 5	5400	550	350

Tabel 2.  
Dimensi Balok Pratekan

Nama	Bentang (mm)	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
BP	16000	1100	500

Tabel 3.  
Dimensi Balok Anak

Nama	Bentang (mm)	Dimensi	
		h (mm)	b (mm)
BA 1	4500	400	250
BA 2	5400	400	250

Tabel 4.  
Rekapitulasi Preliminary Design Kolom

Type	Ukuran (mm)
K1	1000/1000
K2	900/900
K3	800/800
K4	700/700

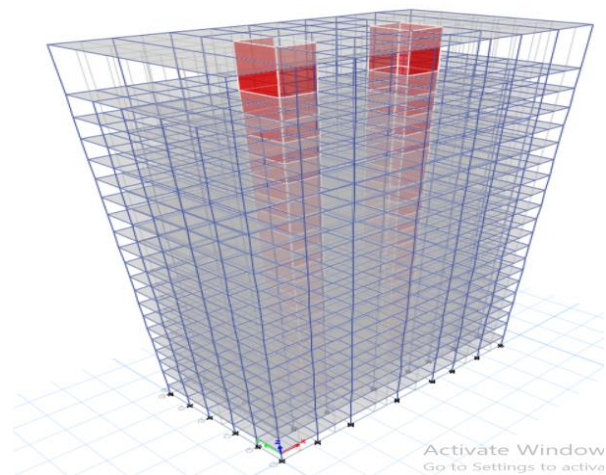
Tabel 5.  
Parameter Percepatan Spektral Desain Badung Situs Tanah SE

Parameter	Nilai
$S_{DS}$ (g)	0.607
$S_{DI}$ (g)	0.497

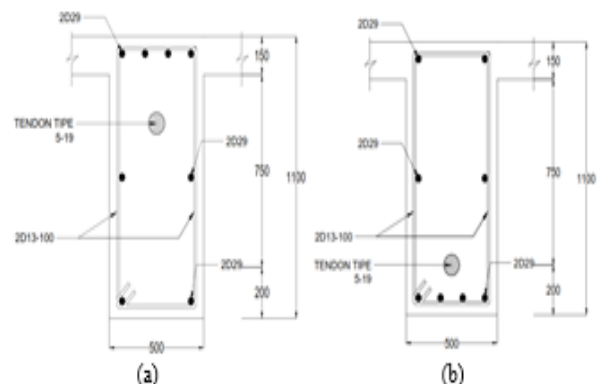
internal dengan benar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu [2]. Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi [1].

**B. Sistem Ganda**

Sistem Ganda atau *Dual System* adalah salah satu sistem struktur yang beban gravitasinya dipikul sepenuhnya oleh *Space Frame* (Rangka), sedangkan beban lateralnya dipikul bersama oleh *Space Frame* dan *Shear Wall* (Dinding Geser/Dinding Struktur). Menurut SNI 1726-2018 pasal 7.2.5.1 menyebutkan bahwa, untuk Sistem Ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Karena *Shear Wall* dan *Space Frame* dalam *Dual System* merupakan satu kesatuan struktur maka diharapkan keduanya dapat mengalami defleksi lateral yang sama atau setidaknya *Space Frame* mampu mengikuti defleksi lateral yang terjadi. *Shear Wall* sendiri artinya adalah Dinding Geser yang terbuat dari beton bertulang dimana tulangan-tulangan tersebut yang akan menerima gaya lateral akibat gempa sebesar



Gambar 1. Tampak 3D Struktur.



Gambar 2. Detail Penulangan Balok Prategang pada Tumpuan (a) dan Tengah Bentang (b).

beban yang telah direncanakan. Penggunaan sistem struktur *Dual System* sendiri sangat cocok dalam pembangunan struktur gedung di wilayah gempa kuat

**III. METODOLOGI**

**A. Alur Pengerjaan**

Alur pengerjaan serta lingkup pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data
2. Preliminary Design
3. Perencanaan Struktur Sekunder
4. Permodelan dan Analisa Struktur
5. Perencanaan Struktur Primer Pratekan
6. Perencanaan Struktur Primer Non Pratekan
7. Perencanaan Bangunan Bawah
8. Gambar Output
9. Kesimpulan

**IV. PEMBAHASAN**

**A. Preliminary Design**

**1) Perencanaan Balok Induk**

Perencanaan balok induk dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 9.  
Simpangan Antar Lantai Gempa Arah Y

Story	hsy mm	Simpangan mm	Drift mm	$\Delta_i$ mm	$\Delta_{ijin}$ mm	Ket.
20	7000	131.475	10.971	60.340	140	OK
19	3500	120.504	5.302	29.161	70	OK
18	3500	115.202	5.492	30.206	70	OK
17	3500	109.71	5.68	31.24	70	OK
16	3500	104.03	5.915	32.532	70	OK
15	3500	98.115	6.077	33.423	70	OK
14	3500	92.038	6.301	34.655	70	OK
13	3500	85.737	6.51	35.805	70	OK
12	3500	79.227	6.704	36.872	70	OK
11	3500	72.523	6.878	37.829	70	OK
10	3500	65.645	7.04	38.72	70	OK
9	3500	58.605	7.091	39.000	70	OK
8	3500	51.514	7.144	39.292	70	OK
7	3500	44.37	7.118	39.149	70	OK
6	3500	37.252	6.995	38.472	70	OK
5	3500	30.257	6.75	37.125	70	OK
4	3500	23.507	6.32	34.76	70	OK
3	3500	17.187	7.238	39.809	70	OK
2	3500	11.404	6.155	33.852	70	OK
1	5000	6.4	7.258	39.919	100	OK
Base	3000	1.204	1.265	6.9575	60	OK

Tabel 10.  
Rekapitulasi Kehilangan Prategang

Jenis Kehilangan	Besar Kehilangan	Kehilangan Total (%)	Fo (kN)	Fe (kN)
Gesekan (Wobble Effect)	4.02%			
Kekangan Kolom	0.95%	18.7	3000	2440.21
Rangkak	3.01%			
Susut	0.68%			
Relaksasi Baja	10.04%			

Tabel 11.  
Rekapitulasi Kontrol Lendutan

Lendutan Ijin =L/480 (mm)	Lendutan akibat Tendon (mm)	Lendutan akibat Berat Sendiri (mm)	Lendutan Total	Kontrol
	Saat Transfer			
48.75	10.801	-7.71	3.09	OK
	Saat Service			
	7.360	-22.796	-15.436	OK

2) Balok Pratekan

Dimensi balok pratekan dapat dilihat pada Tabel 2.

3) Balok Anak

Dimensi balok anak dapat dilihat Tabel 3.

4) Kolom

Rekapitulasi preliminary design kolom dapat dilihat pada table 4.

B. Permodelan Struktur

1) Desain Permodelan Struktur

Dalam permodelan desain struktur, digunakan program bantu ETABS 2017. Berikut merupakan gambar 3D dari struktur yang sudah dimodelkan.

Permodelan pada ETABS untuk masing-masing elemen struktur adalah sebagai berikut:

a. Permodelan pondasi dilakukan dengan perletakan jepit pada lantai dasar bangunan.

Tabel 6.  
Partisipasi Massa Struktur

Case	Mode	Period sec	Sum UX	Sum UY
Modal	1	1.868	0.7016	0
Modal	2	1.643	0.7016	0.2958
Modal	3	1.6	0.7016	0.6865
Modal	4	0.568	0.8304	0.6865
Modal	5	0.512	0.8304	0.6883
Modal	6	0.471	0.8304	0.8395
Modal	7	0.279	0.8877	0.8395
...	...	...	...	...
Modal	58	0.036	0.9734	0.9758
Modal	59	0.036	0.9734	0.9758
Modal	60	0.036	<b>0.9734</b>	<b>0.9758</b>

Tabel 7.  
Reaksi Perletakan dan Presentase Gaya Geser yang Dipikul akibat Gempa Arah X dan Y

No.	Kombinasi	Presentase Dalam Menahan Gempa (%)			
		FX		FY	
		SRPM	Shear Wall	SRPMK	Shear Wall
1	Eq x	25.29	74.71	28	72
2	Eq y	26.35	73.65	28.03	71.97

Tabel 8.  
Simpangan Antar Lantai Gempa Arah X

Story	hsx mm	Simpangan mm	Drift mm	$\Delta_i$ mm	$\Delta_{ijin}$ mm	Ket.
20	7000	149.104	10.691	58.800	140	OK
19	3500	138.413	5.304	29.172	70	OK
18	3500	133.109	5.505	30.277	70	OK
17	3500	127.604	5.777	31.773	70	OK
16	3500	121.827	6.124	33.682	70	OK
15	3500	115.703	6.453	35.491	70	OK
14	3500	109.25	6.823	37.526	70	OK
13	3500	102.427	7.198	39.589	70	OK
12	3500	95.229	7.565	41.607	70	OK
11	3500	87.664	7.91	43.505	70	OK
10	3500	79.754	8.238	45.309	70	OK
9	3500	71.516	8.459	46.524	70	OK
8	3500	63.057	8.641	47.525	70	OK
7	3500	54.416	8.721	47.965	70	OK
6	3500	45.695	8.667	47.668	70	OK
5	3500	37.028	8.432	46.376	70	OK
4	3500	28.596	7.945	43.697	70	OK
3	3500	20.651	7.238	39.809	70	OK
2	3500	13.413	6.155	33.852	70	OK
1	5000	7.258	7.258	39.919	100	OK
0	300	1.265	1.26	6.95	60	OK

- b. Balok dan kolom dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan memiliki hubungan (joint) yang kaku
- c. Balok prategang dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan perletakan sendi menggunakan *frame release* pada kolom lantai 19
- d. Dinding geser dimodelkan sebagai elemen *shell* dengan diberi label *pier*.
- e. Pelat dimodelkan sebagai elemen *shell*.

Hasil dari permodelan struktur 3D menggunakan aplikasi ETABS 2017 dapat dilihat pada Gambar 1.

2) Beban Gempa Rencana

Analisa gempa menggunakan analisis respon spektrum. Berdasarkan RSNI 1726-2019 [3], struktur ini termasuk dalam kategori resiko II dengan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) = 1. Parameter percepatan spektral desain badung situs tanah SE dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 12.  
Rekapitulasi Perhitungan Kontrol Momen Nominal dan Momen Retak

Daerah	$\phi$ Momen Nominal kNm	1,2 Momen Retak kNm
Tumpuan	4502.36	2036.1
Lapangan	4713.1	2509.91

Tabel 13.  
Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lunak Balok Prategang

Daerah	Lentur		Senggang	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Daerah Sendi Plastis (<2h)	Di Luar Sendi Plastis (>2h)
Tumpuan	4D29	2D29	2D13-150	2D13-200
Lapangan	2D29	4D29		

Tabel 14.  
Rekapitulasi Penulangan Lentur Setelah Penambahan Torsi

Nama Balok	Tulangan Longitudinal					
	Atas	Tumpuan Tengah	Bawah	Atas	Lapangan Tengah	Bawah
B11	4D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25
B12	3D25	2D25	2D25	2D25	2D25	3D25
B13	5D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25
B14	5D25	2D25	3D25	2D25	2D25	3D25
B15	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25	2D25

Tabel 15.  
Rekapitulasi Penulangan Geser Setelah Penambahan Torsi

Nama Balok	2h (mm)	Tulangan Geser	
		Di Dalam Sendi Plastis (<2h)	Di Luar Sendi Plastis (>2h)
B11	1100	2D13-100	2D13-100
B12	1200	2D13-100	2D13-100
B13	1100	2D13-100	2D13-100
B14	1100	3D13-100	2D13-100
B15	1100	2D13-100	2D13-100

C. Kontrol Persyaratan Struktur

1) Kontrol Beban Gravitasi

Dari hasil perhitungan berat struktur secara manual, didapatkan berat total sebesar 27,412,849.81 kg. Sedangkan dari program bantu ETABS didapatkan berat total struktur sebesar 26,326,171.86 kg. Sehingga selisih antara perhitungan manual dan ETABS sebesar 4.13 %. Karena kurang dari 5% maka dianggap permodelan struktur sudah sesuai.

2) Kontrol Partisipasi Massa

Menurut RSNI 1726:2019 pasal 7.9.1 [3], bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah. Partisipasi massa struktur dapat dilihat pada Tabel 6.

3) Kontrol Periode Waktu Getar Alami Fundamental (T)

Berdasarkan RSNI 1726:2019 [3], periode fundamental pendekatan (Ta) untuk struktur rangka pemikul momen khusus ditentukan sebagai berikut :

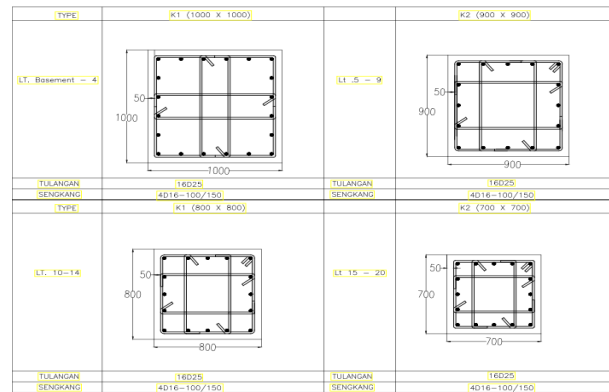
$$Ta = Ch_n^x = 0,0466 \times 75^{0.9} = 2.27 \text{ detik}$$

Dari nilai  $S_{D1} = 0,497$ , didapatkan koefisien  $Cu = 1,4$ . Maka nilai  $Cu.Ta$  dapat dihitung sebagai berikut:

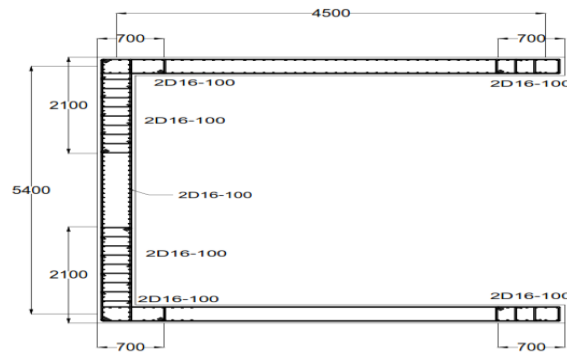
$$Cu.Ta = 1,4 \times 2.27 = 3.178 \text{ s}$$

Tabel 16.  
Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe	Tulangan Longitudinal	Panjang lo (mm)	Tulangan Transversal di daerah lo	Tulangan Transversal di luar daerah lo	Sambungan Lewatan
K1	20D25	1000	4D16-100	4D16-150	662
K2	16D25	900	4D16-100	4D16-150	662
K3	16D25	800	3D16-100	3D16-150	662
K4	16D25	700	3D16-100	3D16-150	662



Gambar 3. Detail Penulangan Kolom.



Gambar 4. Penulangan Shearwall Tipe 1.

Berdasarkan persamaan diatas didapatkan  $Ta$  min sebesar 2.27 detik dan  $Ta$  maksimum sebesar 3.178 detik. Dari program bantu ETABS didapatkan T struktur sebesar 2.533 detik. Sehingga, nilai T yang dipakai adalah 2,533 detik.

4) Kontrol Gaya Geser Dasar

Berdasarkan RSNI 1726 : 2019 pasal 7.9.1.4.1 [3], nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 100% nilai respon statik. Jika gaya geser dasar hasil analisa kurang dari 100%, maka gaya harus dikalikan dengan  $V/Vt$ .

Setelah dikalikan dengan faktor pengali  $V/Vt$  didapatkan;

$$Vs = 8415.9 \text{ kN}$$

$$V_{xt} = 8415.9 \text{ kN} = 8415.9 \text{ kN (OK)}$$

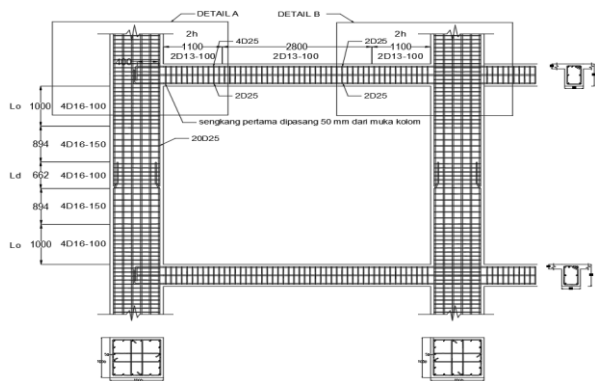
$$V_{yt} = 8415.9 \text{ kN} = 8415.9 \text{ kN (OK)}$$

5) Kontrol Sistem Ganda

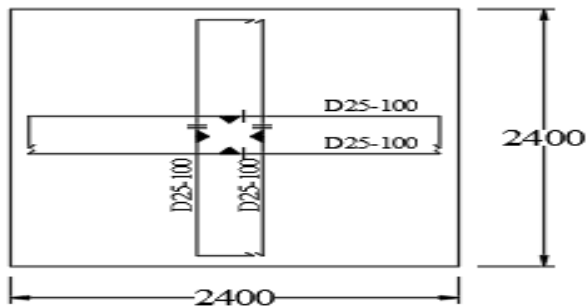
Sistem Rangka Pemikul Momen harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Berikut total reaksi perletakan SRPMK dan dinding geser. Reaksi perletakan dan persentase gaya geser yg dipikul akibat gempa arah X dan Y dapat dilihat pada Tabel 7.

6) Kontrol Batas Simpangan (Drift)

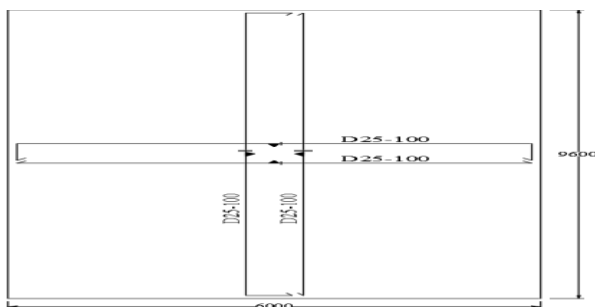
Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan



Gambar 5. Penulangan Hubungan Balok dan Kolom Monolit.



Gambar 6. Penulangan Pile Cap Tipe 1.



Gambar 7. Penulangan Pile Cap Tipe 3.

penghuni. Berdasarkan RSNI 1726-2018 [3] didapatkan hasil akhir drift yang melebihi drift ijin 0,02 tinggi lantai. Simpangan antar lantai gempa arah X dan dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

**D. Perhitungan Struktur Utama Pratekan**

Beton pratekan adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan benar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu. Beton prategang merupakan teknologi konstruksi beton yang mengkombinasikan antara beton berkekuatan tinggi dengan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern yang berkekuatan tinggi.

**1) Data Perencanaan:**

- Dimensi : 50/110 cm
- $f_c'$  balok : 45 MPa
- Eksentrisitas Balok:
- e tumpuan : 100 mm (di atas c.g.c)
- e lapangan : 459.9 mm (di bawah c.g.c)
- $F_o$  yang digunakan adalah 3000 kN.

Tendon baja yang digunakan ialah spesifikasi dari *multistrand post-tensioning*, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Tendon unit : 5-19
- b. Jumlah strand : 18
- c. *Minimum breaking load* : 3310 kN
- d. Diameter strand: 12,7 mm

**2) Kehilangan Prategang**

Rekapitulasi kehilangan prategang dapat dilihat pada Tabel 10.

**3) Kontrol Lentutan**

Rekapitulasi control lentutan dapat dilihat pada Tabel 11.

**4) Kontrol Momen Nominal Prategang**

Rekapitulasi perhitungan control momen nominal dan momen retak serta rekapitulasi kebutuhan tulangan lunak balok prategang dapat dilihat pada Tabel 12 dan 13. Detail penulangan balok prategang pada tumpuan dapat di Gambar 2.

**E. Perhitungan Struktur Utama Non Prategang**

**1) Perencanaan Balok Induk**

Rekapitulasi penulangan lentur setelah penambahan torsi dan rekapitulasi penulangan geser setelah penambahan torsi dapat dilihat pada Tabel 14 dan 15.

**2) Perencanaan Kolom**

Rekapitulasi penulanhgan kolom dapat dilihat pada Tabel 16 dan detail penulangan kolom pada Gambar 3.

**3) Perencanaan Shearwall**

*Shear Wall* adalah dinding geser yang terbuat dari beton bertulang dimana tulangan-tulangan tersebut yang akan menerima gaya lateral akibat gempa sebesar beban yang telah direncanakan. Penggunaan sistem struktur *Dual System* sendiri sangat cocok dalam pembangunan struktur gedung di wilayah gempa kuat [4]. Penulangan Shearwall Tipe-1 dapat dilihat pada Gambar 4.

**a. Data shearwall :**

- b. Tulangan.longitudinal = D16 – 100 mm
- c. Tulangan.transversal = D16

**4) Perencanaan Hubungan Balok Kolom Non Pratekan**

Hubungan balok dan kolom untuk elemen struktur primer non pratekan merupakan hubungan dengan perletakan (*joint*) kaku atau monolit, dapat dilihat pada Gambar 5.

**F. Perhitungan Struktur Bawah**

**1) Perencanaan Dinding Penahan Tanah**

Data perencanaan dinding penahan tanah :

- Tebal dinding = 300 mm
- Tulangan longitudinal = D16-200 mm
- Tulangan transversal = D16-200 mm

**2) Perencanaan Pondasi**

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- Diameter tiang : 600 mm
- Tebal tiang : 100 mm
- Klasifikasi : C
- *Bending moment crack* : 29 t.m
- *Bending momen ultimate* : 58 t.m
- *Allowable axial load* : 229.5 ton

Diperoleh hasil perencanaan sebagai berikut.

a. Perencanaan Pondasi Tipe 1 dapat dilihat pada Gambar 6.

- Pile cap : 4 tiang pancang  
 Dimensi : 2400 × 2400 × 1200  
 Tulangan atas : D25-100 mm (arah X dan arah Y)  
 Tulangan bawah : D25-100 mm (arah X dan arah Y)
- b. Perencanaan Pondasi Tipe 3, dapat dilihat pada Gambar 7.
- Pile cap : 42 tiang pancang  
 Dimensi : 8400 × 7200 × 1200  
 Tulangan atas : D25-100 mm (arah X dan arah Y)  
 Tulangan bawah : D25-100 mm (arah X dan arah Y)
- 3) *Perencanaan Sloof*
- Dimensi = 30/40 cm
  - Tulangan longitudinal = 8D19
  - Tulangan sengkang = 2D10-150 mm

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah memenuhi persyaratan yang terdapat pada peraturan SNI 2847:2019, diperoleh dimensi untuk struktur sekunder, struktur primer dan struktur bawah beserta kebutuhan tulangan sebagai berikut:

#### 1) *Struktur Sekunder:*

Struktur sekunder antara lain; (a) Balok anak berdimensi 25/40 cm menggunakan tulangan longitudinal D13, tulangan sengkang 2D13-100 mm; (b) Pelat atap setebal 150 mm menggunakan tulangan D10-125 mm, D10-200 mm dan D10-250 mm; (c) Pelat lantai setebal 120 mm menggunakan tulangan D10-125 mm, D10-200 mm dan D10-250 mm; (d) Pelat basement setebal 300 mm menggunakan tulangan D13-100 dan D13-125; (e) Lift dengan balok penggantung *lift* menggunakan profil WF 500x200x11x19 dengan BJ 41; (f) Tangga dengan perletakan jepit menggunakan tulangan longitudinal D13-200 mm

#### 2) *Struktur Primer:*

Struktur primer antara lain; (a) Balok induk menggunakan tulangan longitudinal D25, tulangan sengkang 2D13-100 mm; (b) Balok prategang menggunakan 1 tendon unit 5-19 dengan jumlah strand 18, tulangan longitudinal D29, tulangan sengkang 2D13-150 mm dan 2D13-200 mm; (c) Kolom menggunakan tulangan longitudinal D25, tulangan sengkang 4D16-100 mm dan 4D16-150 mm; (d) Dinding geser menggunakan tulangan longitudinal dan vertikal D16-100 mm dan menggunakan sengkang 2D16-100 mm pada *special boundary element*.

#### 3) *Struktur Bawah:*

Struktur bawah antara lain; (a) Pondasi menggunakan tiang

pancang beton (*Spun pile*) produk dari PT. Waskita Beton Precast dengan diameter 600 mm mencapai kedalaman 40 meter; (b) Semua tipe pilecap menggunakan tulangan D25-100 mm; (c) Dinding penahan tanah menggunakan tulangan longitudinal dan vertikal sebesar D16-200 mm; (d) Sloof memiliki dimensi 30x40 cm menggunakan tulangan utama 8D19 dan tulangan sengkang 2D10-150 mm

Perhitungan pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2013. Beban yang dimasukkan ke dalam permodelan struktur merupakan beban mati tambahan, hidup, dan beban gempa. Perhitungan gaya gempa pada perencanaan Tower Caspian menggunakan analisa respon spectrum di daerah Surabaya berdasarkan peraturan RSNI 1726: 2019. Analisa struktur menggunakan program bantu ETABS yang telah memenuhi kontrol persyaratan struktur berdasarkan peraturan RSNI 1726: 2019 sebagai berikut: (a) Kontrol beban gravitasi: selisih antara perhitungan manual dan ETABS sebesar 4.13 %. Karena kurang dari 5% maka dianggap permodelan struktur sudah sesuai; (b) Kontrol partisipasi massa: sudah memenuhi persyaratan perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total sekurang-kurangnya adalah 90%; (c) Kontrol periode waktu getar alami fundamental: dari program bantu ETABS didapatkan T struktur sebesar 2.533 detik; (d) Kontrol gaya geser dasar : sudah memenuhi persyaratan nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 100% nilai respon static; (e) Kontrol batas simpangan (*drift*): sudah memenuhi persyaratan *drift* ijin sebesar 0,02 tinggi lantai; (f) Kontrol sistem ganda : sudah memenuhi persyaratan SRPMK harus memikul minimum 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut. Perhitungan daya dukung tanah dengan metode tegangan ijin dan penulangan pilecap menggunakan desain ultimate kombinasi LRFD.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Lin and N. H. Burns, *Desain Struktur Beton Prategang*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1988.
- [2] P. W. Abeles and B. K. Bardhan-Roy, *Prestressed Concrete Designer's Handbook*, 2nd ed. Inggris: Spon Press, 2014.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (RSNI 1726-2018)*. Jakarta: BSNI, 2018.
- [4] Tavio and B. Kusuma, *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya: ITS Press, 2009.