

Modifikasi Perencanaan Struktur Apartemen Kingland Avenue Tower Venetian Menggunakan Struktur Baja Beton Komposit dengan Sistem *Buckling-Restrained Braced Frame*

Muhammad Luqman Figo, Heppy Kristijanto, dan Aniendhita Rizki Amalia
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: heppy@ce.its.ac.id

Abstrak—Pembangunan apartemen merupakan solusi dari meningkatnya kebutuhan tempat tinggal di Kota Tangerang Selatan. Namun, pembangunan apartemen di Indonesia berisiko terjadi gempa karena terletak pada pertemuan tiga lempeng. Oleh karena itu, digunakan struktur baja beton komposit karena memiliki kekuatan nominal yang besar, dimensi penampang yang efisien, serta lebih ringan daripada beton konvensional. Sedangkan *Buckling Restrained Braced Frame* merupakan *bresing* penahan gempa yang didesain untuk tahan terhadap tekuk serta tariknya. Apartemen Kingland Avenue Tower Venetian direncanakan ulang menggunakan struktur baja beton komposit dengan sistem *Buckling Restrained Braced Frame*. Apartemen tersebut direncanakan memiliki 32 lantai dan 1 *basement*. Konfigurasi *bresing* yang digunakan adalah *inverted-V*. Studi literatur yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, SNI 1729:2020, AISC 341-16. Dari perhitungan analisis didapatkan hasil, yaitu: tebal pelat lantai atap dan non atap sebesar 9 cm, balok induk menggunakan WF 400x200x8x13 dan WF 350x175x7x11, dimensi kolom terbesar CFT 800x800x35, *bresing* menggunakan *CoreBrace BRB* dengan luas inti 20 inch². Perencanaan struktur bawah menggunakan tiang pancang diameter 80 cm dengan kedalaman 34 m. Dimensi *pilecap* terbesar 10,6x3,4 m, dimensi kolom *pedestal* 1x1 m, dan *sloof* 400x600 mm.

Kata Kunci—Struktur Komposit, Kota Tangerang Selatan, Baja Beton Komposit, *Buckling Restrained Braced Frames*.

I. PENDAHULUAN

SEKTOR konstruksi merupakan salah satu sektor unggulan dalam perekonomian Kota Tangerang Selatan. Kemudian Kota Tangerang Selatan berbatasan langsung dengan Jakarta sehingga banyak masyarakat memilih tinggal di kota tersebut. Namun, harga lahan yang mahal menjadi masalah sehingga apartemen merupakan solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut karena harga terjangkau dan kemudahan menyewakan kembali atau kenaikan harga pada saat dijual kembali [1].

Mengingat Indonesia terletak di daerah pertemuan beberapa lempeng tektonik yang aktif bergerak yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Circum Pasific [2]. Fenomena ini menyebabkan Indonesia sering terjadi gempa tektonik. Oleh karena itu, pembangunan apartemen harus mampu bertahan dan tidak runtuh secara struktural jika terjadi gempa sehingga akan memperkecil kerugian yang diderita dan memberikan keamanan lebih [3].

Dalam mengatasi masalah tersebut, pembangunan apartemen menggunakan material komposit karena material komposit memiliki kekuatan nominal yang lebih besar, memiliki dimensi penampang struktur yang lebih efisien, dan beban

struktur yang lebih ringan dibandingkan penggunaan material beton konvensional [4]. Material komposit dikonstruksi sedemikian rupa sehingga bentuk baja struktural dan beton bekerja sama untuk menahan tekan aksial dan/atau lentur. Pada modifikasi perencanaan ini, material komposit diaplikasikan pada kolom, balok induk, dan pelat. Sistem *bresing* yang digunakan sebagai penahan gempa adalah Sistem Rangka *Bresing Tahan Tekuk* atau *Buckling Restrained Braced Frame* (BRBF). Struktur BRBF terdiri dari inti baja yang daktail di mana didesain untuk leleh pada tarik dan tekannya. BRBF memiliki kekakuan elastis yang tinggi pada gaya lateral untuk pergerakan seismik yang rendah. Sedangkan untuk pergerakan seismik yang tinggi, BRBF memberikan energi disipasi yang lebih besar dan stabil dibandingkan sistem CBF konvensional [5]. Struktur BRBF pada modifikasi perencanaan ini menggunakan konfigurasi *Inverted-V*.

Dengan melihat keuntungan pada penggunaan material baja beton komposit dan sistem BRBF serta pelaksanaan konstruksi eksisting pada Apartemen Kingland Avenue Tower Venetian dengan metode konvensional, gedung Apartemen Kingland Avenue Tower Venetian akan dimodifikasi ulang dengan penggunaan struktur material komposit dan sistem BRBF yang bertujuan untuk menghasilkan modifikasi baru yang memiliki kekuatan nominal yang lebih besar, dimensi penampang yang lebih kecil, dan ketahanan yang lebih tinggi terhadap gempa. Dalam perencanaannya, pembangunan akan direncanakan 32 lantai sesuai jumlah lantai eksisting yang akan dibangun di Kota Tangerang Selatan.

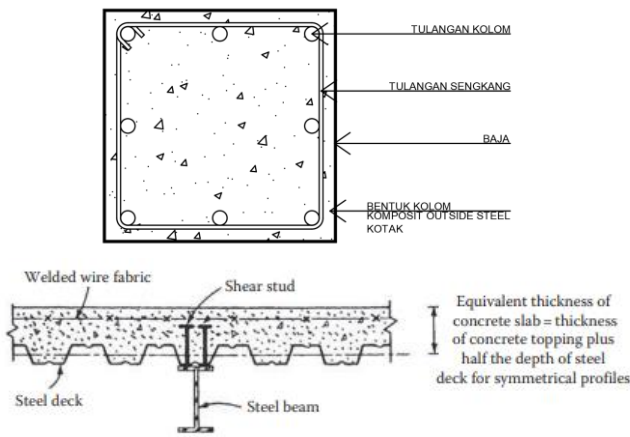
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Struktur Komposit

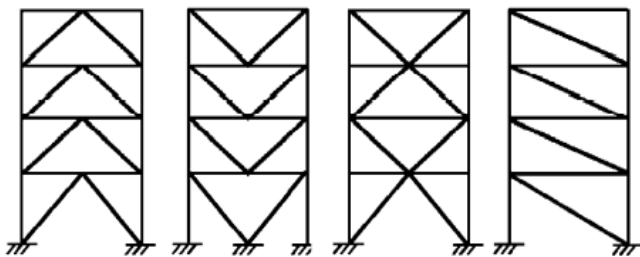
Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari baja dan beton yang saling bekerja sama secara struktural. Komposit baja dengan beton didasarkan pada pemikiran bahwa beton mempunyai perilaku yang menguntungkan ketika menerima beban tekan dan perilaku yang kurang menguntungkan ketika menerima beban tarik. Sedangkan baja mempunyai perilaku yang sama baik untuk beban tarik dan tekan tetapi bahaya terhadap tekuk harus diperhatikan jika menerima beban tekan [6]. Struktur komposit dapat diaplikasikan pada elemen struktur berupa pelat, kolom, dan balok. Kolom komposit terisi beton dan balok komposit menggunakan penghubung geser dengan dek baja gelombang disajikan pada Gambar 1.

B. *Buckling Restrained Braced Frames* (BRBF)

Buckling Restrained Braced Frames (BRBF) merupakan



Gambar 1. Kolom komposit terisi beton dan balok komposit menggunakan penghubung geser dengan dek baja gelombang.



Gambar 2. Konfigurasi yang bisa digunakan pada BRBF, yaitu *inverted-V*, bresing V, *two-story-X*, dan bresing diagonal tunggal.

bresing yang didesain untuk tahan terhadap tekuk dan tarikannya. Desain kerangka struktur BRBF ini didesain untuk tetap elastik selama respons seismik, dan semua kerusakan seismik (leleh) terjadi pada *bresing* [7] BRBF terdiri dari inti baja daktail yang ditempatkan di dalam selubung baja sebelum selubung diisi dengan mortar atau beton. Sebelum pengecoran mortar, bahan pemisah atau celah udara yang sangat kecil antara inti baja dan mortar disediakan untuk meminimalkan, atau menghilangkan transfer gaya aksial dari inti baja ke mortar dan selubung baja.

Jika dibandingkan dengan sistem kerangka momen, BRBF menunjukkan kekakuan lateral yang tinggi untuk gerakan seismik pada level rendah, hal ini membuat mudah dalam memenuhi persyaratan penyimpangan. BRBF juga menyediakan energi disipasi yang lebih besar dan stabil untuk gerakan seismik pada level tinggi. Selain itu, BRBF memiliki desain yang fleksibel karena kekuatannya bisa diinstalasi dengan mudah. Namun, apabila tidak dikontrol dengan baik, baja pada daerah leleh terkekang mungkin memiliki berbagai hasil kekuatan leleh.

BRBF dapat dikonfigurasi menjadi beberapa cara dengan perbedaan yang minor berdasarkan perilakunya. Beberapa konfigurasi yang dapat digunakan seperti bresing *inverted-V*, bresing V, *two-story-X*, dan bresing diagonal tunggal seperti disajikan pada Gambar 2.

C. Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas sebagai sarana meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas ke dasar tanah yang cukup kuat untuk mendukungnya [8]. Bentuk fondasi ditentukan oleh berat bangunan dan keadaan tanah di sekitar bangunan, sedangkan kedalaman fondasi ditentukan oleh letak tanah padat yang mendukung fondasi. Fondasi bangunan umum-

nya dibedakan sebagai fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal kedalamannya kurang atau sama dengan lebar fondasi ($D \leq B$) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan fondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah.

III. METODOLOGI

Metodologi berisi langkah-langkah perencanaan ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pada perencanaan ini, struktur dimodifikasi dengan data-data sebagai berikut:

- Nama Gedung : Kingland Avenue Tower Venetian
- Lokasi : Jl. Raya Serpong km 8, Alam Sutera, Tangerang Selatan
- Fungsi : Ruang Hunian
- Tinggi : 108,2 m
- Jumlah Lantai : 32 (1 lantai *basement*, 1 LG, 31 lantai, dan 1 lantai atap)
- Material Struktur : Baja beton komposit
- Sistem Struktur : *Buckling Restrained Braced Frame* (BRBF)

Untuk kriteria desain dari perencanaan modifikasi apartemen tersebut adalah sebagai berikut:

1) Pembebanan

- Beban Mati: SNI 1727:2020 Tabel C3.1-1 dan Tabel C3.1-2
- Beban Hidup: SNI 1727:2020 Tabel 4.3-1
- Beban Gempa: SNI 1726:2019
- Beban Angin: SNI 1727:2020 Pasal 26
- Kombinasi Pembebanan : SNI 1727:2020 Pasal 2.3

2) *Bresing*

CoreBrace BRB, NSI/AISC 341-16

3) *Balok Komposit*

- ASTM A36
- Beton f'_c 35 MPa
- SNI 1729:2020 BAB I

4) *Kolom Komposit*

SNI 1729:2020 BAB I

5) *Sambungan*

- Baut: Mutu baut A325, A490, SNI 1729:2020 BAB J2
- Las: Mutu las F_{E60XX} , F_{E70XX} , F_{E90XX} , F_{E100XX} , F_{E110XX} , dan SNI 1729:2020 BAB J3

6) *Baseplate*

ANSI/AISC 341-16

7) *Struktur Bawah*

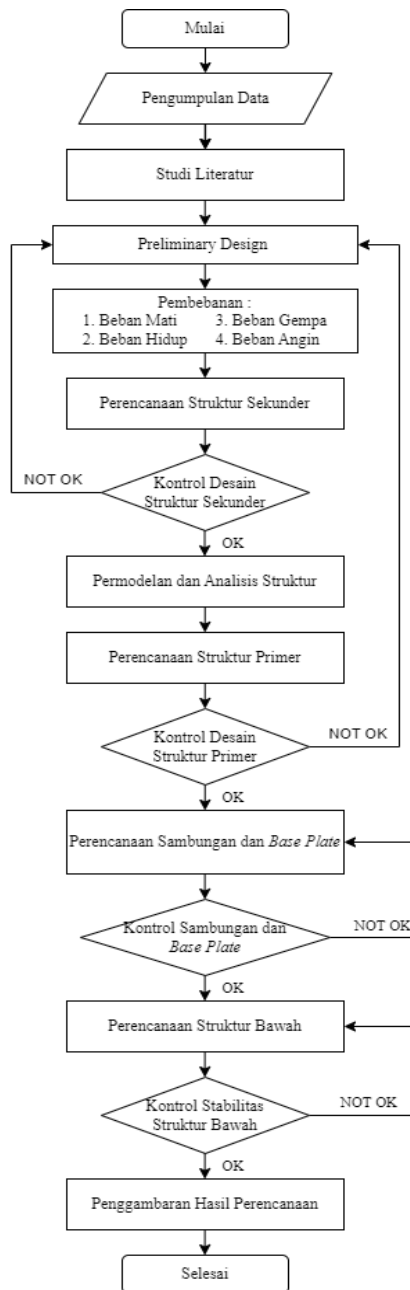
- Fondasi: F'_c 52 MPa dan SNI 1726:2019
- Poer: f'_c 35 MPa, f_y 420 MPa, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019
- Kolom Pedestal: f'_c 35 MPa, f_y 420 MPa dan ACI 318M-19
- Sloof: f'_c 35 MPa, f_y 420 MPa, dan ACI 318M-19
- Pelat *Basement*: f'_c 35 MPa, f_y 420 MPa, dan SNI 2847:2019

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Sekunder

1) Perencanaan Pelat

Pelat lantai dibedakan berdasarkan fungsinya, yaitu lantai atap, ruang hunian, kafeteria, gimnasium, dan ruang mesin.



Gambar 3. Diagram alir penyelesaian.

Pelat direncanakan menggunakan dek baja gelombang dari *Super Floor Deck* dengan ketebalan 0,75 mm dan berat 10,1 kg/m². Hasil perhitungan pelat disajikan pada Tabel 1.

2) *Perencanaan Balok Anak*

Balok anak menggunakan profil W_F dengan mutu ASTM A36 dengan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.

3) *Perencanaan Balok Lift*

Pada apartemen ini menggunakan *lift* penumpang dengan data-data sebagai berikut:

Merek Lift: Hyundai Geared Elevators

Tipe: *Passenger Elevators*

Kapasitas: 1.000 kg (15 orang)

Lebar Pintu (*Clear Opening*): 900 mm

Car: Internal CA × CB (1.600 mm × 1.500 mm)

Hoistway: 2X × Y (4.200 mm × 2.130 mm)

M/C Room: MX2 × MY (4.400 mm × 3.850 mm)

M/C Room Reaction: R1 (5.450 kg) dan R2 (4.350 kg)

Tabel 1.

Fungsi	Bentang (cm)	Tebal Pelat (cm)	Tulangan
Atap	250	9	M6,5-200
Ruang Hunian	250	9	M10-325
Kafetaria	250	9	M7-250
Gimnasium	250	9	M7-250
Ruang Mesin	250	9	M7250

Tabel 2.

Fungsi	Bentang (cm)	Tulangan
Atap	6	WF 300×150×6,5×9
Ruang Hunian	6	WF 300×200×8×12
Kafetaria	6	WF 300×200×8×12
Gimnasium	6	WF 300×200×8×12
Ruang Mesin	6	WF 300×200×8×12

Tabel 3.

Data	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Tipe 4
Tinggi antar lantai	420 cm	320 cm	350 cm	450 cm
Tinggi injakan	15 cm	16 cm	17,5 cm	15 cm
Lebar injakan	30 cm	30 cm	30 cm	30 cm
Jumlah tanjakan	14 buah	10 buah	10 buah	15 buah
Jumlah injakan	13 buah	9 buah	9 buah	14 buah
Panjang tangga	390 cm	270 cm	270 cm	420 cm
Lebar tangga	157,5 cm	157,5 cm	157,5 cm	157,5 cm
Lebar bordes	170 cm	290 cm	290 cm	140 cm
Panjang bordes	340 cm	340 cm	340 cm	340 cm

Dimensi balok penggantung *lift* menggunakan profil WF 250×125×6×9 dan balok penumpu *lift* menggunakan profil WF 350×175×7×11.

4) *Perencanaan Tangga*

Tangga direncanakan 4 tipe sesuai tinggi antar lantai dengan data perencanaan tangga pada Tabel 3. Sedangkan Tabel 4 merupakan hasil perhitungan dimensi tangga.

B. *Pemodelan Struktur*

Modifikasi perencanaan dimodelkan pada program bantu ETABS 18 seperti pada Gambar 4. Pemodelan menggunakan material baja beton komposit dengan sistem *Buckling-Restrained Braced Frame (BRBF)* tipe konfigurasi *inverted-V*. Untuk kolom, balok, dan bresing dimodelkan dengan menggunakan *frame*, sedangkan untuk pelat dengan *deck*.

Untuk *assign* beban gempa menggunakan respons spektrum berlokasi di Kota Tangerang Selatan. Tanah yang digunakan termasuk kelas situs E. Untuk parameter gempa yang digunakan S_{DS} = 0,69 g dan S_{D1} = 0,65 g. Struktur menggunakan sistem ganda rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus sehingga didapatkan koefisien berikut: R = 6, Ω = 2,5, dan C_d = 5.

Pengaruh gempa rencana yang sembarang diimplementasikan terhadap struktur gedung dengan menganggap gempa rencana dalam arah utama efektif 100% dan arah tegak lurus dengan arah utama dianggap dengan efektivitas 30%.

C. *Kontrol Desain Struktur*

Kontrol desain struktur dilakukan dengan pemodelan struktur 3 dimensi menggunakan program bantu ETABS 2018, sehingga hasil pemodelan dan analisis struktur harus dikontrol untuk menentukan kelayakan sistem struktur tersebut.

Tabel 4.
Rekapitulasi Dimensi Tangga

Jenis Struktur	Profil
Pelat anak tangga	Pelat baja t = 3 mm
Pengaku anak tangga	Siku L 50×50×6
Pelat bordes	Pelat baja t = 5 mm
Balok bordes	WF 100×50×5×7
Balok utama tangga	WF 200×100×4,5×7 (Tipe 1)
	WF 200×100×5,5×8 (Tipe 2,3,4)
Balok penumpu tangga	WF 200×150×6×9

Tabel 5.
Rekapitulasi Pembebanan Struktur

Jenis Beban	Manual (kg)	ETABS (kg)	Perbedaan
Mati	17.541.607,1	18.164.935	3,431%
Mati Tambahan	11.437.768,6	10.912.161	4,59%
Hidup	11.914.620	11.914.466	0,0013%

Tabel 6.
Kontrol Partisipasi Massa

Case	Mode	Sum UX	Sum UY
Modal	26	89,86%	90,60%
Modal	27	90,22%	90,62%

Tabel 7.
Kontrol Periode Getar Alami Struktur

Case	Mode	Periode (detik)
Modal	1	3,485
Modal	2	2,896

Tabel 8.
Kontrol Nilai Respons Spektrum 1

Arah	V _{dinamik} (kg)	V _{statik} (kg)	V _{dinamik} > V _{statik}
RS X	535.823,87	1.199.137,514	NOT OK
RS Y	483.990,398	996.471,2315	NOT OK

Tabel 9.
Kontrol Nilai Respons Spektrum 2

Arah	V _{dinamik} (kg)	V _{statik} (kg)	V _{dinamik} > V _{statik}
RS X	1199137,51	1199137,514	OK
RS Y	996472,586	996471,2315	OK

1) Kontrol Pembebanan Struktur

Kontrol pembebanan struktur dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan beban manual dengan ETABS. Perbedaan perhitungan diberi toleransi sebesar 5%. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.

2) Kontrol Partisipasi Massa

Partisipasi massa ragam terkomposisi dapat diizinkan setidaknya 90% dari massa aktual masing-masing arah [9] yang dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 6.

3) Kontrol Periode Getar Alami Struktur

Besarnya periode getar alami struktur (T_a) dalam detik ditentukan dari persamaan berikut:

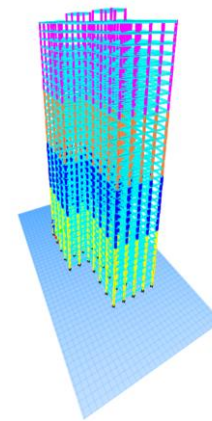
$$T_a = C_t h_n^x ; C_t = 0,0731 ; h_n = 108,2 ; x = 0,75$$

$$T_a = 0,0731 \times 108,2^{0,75} = 2,45 \text{ detik}$$

Dikarenakan S_{DI} sebesar 0,65 > 0,4, maka menurut SNI 1728:2019, nilai C_u sebesar 1,4. Sehingga batas maksimum periode getar adalah:

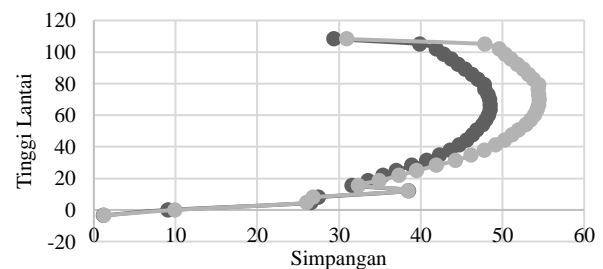
$$C_u T_a = 1,4 \times 2,45 = 3,43 \text{ detik.}$$

Dari Tabel 7. Mode 1 didapatkan T = 3,485 s yang bergerak pada bidang Y. Pada mode 2, didapatkan T = 2,896 s yang bergerak pada bidang X. Pada arah X nilai T lebih kecil dari C_uT_a sehingga memenuhi syarat. Sedangkan arah Y lebih besar daripada C_uT_a sehingga nilai C_uT_a digunakan sebagai periode Y.

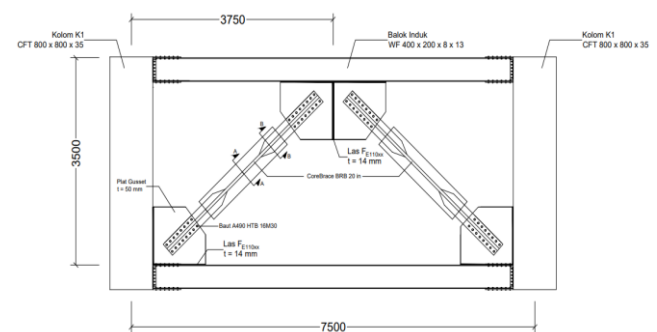


Gambar 4. Permodelan gedung.

Simpangan Lantai



Gambar 5. Grafik simpangan lantai.



Gambar 6. Portal BRBF.

4) Kontrol Gaya Geser Seismik

Gaya geser dinamik diizinkan lebih besar 0,85% dari gaya geser statis seperti pada Tabel 8. Karena tidak memenuhi syarat, dilakukan pembesaran skala pada gaya geser gempa dengan membagi V_{statik} dengan V_{dinamik}. Kemudian hasilnya dikalikan dengan scale factor sehingga hasilnya seperti pada Tabel 9.

5) Kontrol Simpangan Lantai (Story Drift)

Batas simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan non struktural dan ketidaknyamanan penghuni akibat gempa. Besar batas simpangan bergantung pada tinggi antar lantai sehingga didapatkan besar maksimum simpangan pada tinggi antar lantai 3,2 m yaitu sebesar 64 mm. Grafik simpangan lantai disajikan pada Gambar 5.

6) Kontrol Sistem Ganda BRBF dan SRPMK

Kontrol terhadap sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan. Sehingga BRBF maksimal

Tabel 10.
Perbandingan SRPMK dan BRBF

Pemikul Gaya Geser	Gempa X		Gempa Y	
	Kgf	Persentase (%)	Kgf	Persentase (%)
SRPMK	545.192,8915	45,47	501.496,5737	50,33
BRBF	653.944,6245	54,53	494.976,0127	49,67
Total	1.199.137,516	100	996.472,5864	100

Tabel 11.
Sambungan Struktur Sekunder

Elemen	Profil Penyambung	D (mm)	n (jb)
Balok anak-balok induk	Badan b. anak	L 70.70.7	12
	Badan b. induk		2
Balok utama tangga-balok penumpu tangga	Badan b. utama tangga	Lubang slot 20 mm	8
	Balok penumpu tangga		2
Balok penumpu tangga-kolom	Badan b. penumpu tangga	Pelat t = 6 mm	8
	Sisi kolom	Las sudut t = 4 mm	2

Tabel 12.
Sambungan Struktur Primer

Elemen	Profil Penyambung	D (mm)	n (jb)
Bresing BRBF	Bresing BRBF – plat gusset	Plat Gusset t = 50 mm	30
	Plat gusset – kolom dan balok	Las FE _{110XX} t = 14 mm	
Badan balok induk-kolom	Badan b. induk	Pelat t = 10 mm	20
	Kolom	Las FE _{90XX} t = 6 mm	
Sayap balok induk-kolom	Sayap b. induk	Diaphragm plate t = 16 mm	22
	Kolom	Las CJP t = 16 mm	
Antar Kolom Baseplate		Pelat t = 50 mm	Las FE _{100XX} t = 30 mm
	Kolom dengan baseplate	Pelat t = 70 mm	Las FE _{100XX} t = 28 mm
	Pelat pengaku	Pelat pengaku t = 20 mm	Las FE _{100XX} t = 6 mm
	Angkur	SR235	22

menahan 75% dari total gaya seismik yang terjadi. Perbandingan BRBF dan SRPMK disajikan pada Tabel 10.

D. Perencanaan Struktur Primer

1) Perencanaan Balok Induk Komposit

Perencanaan balok induk menggunakan balok komposit dengan penghubung geser (*shear connector*). Balok induk arah X direncanakan menggunakan profil WF 400×200×8×13. Dari *output* ETABS 18 diperoleh gaya dalam yang dipakai dalam desain adalah:

Sebelum Komposit

$$M_u = 12.595,98 \text{ kg.m} \leq \phi M_n = 28.935 \text{ kg.m}$$

$$V_u = 8.327,4718 \text{ kg} \leq \phi V_n = 43.200 \text{ kg}$$

$$\Delta = 0,6541 \text{ cm} \leq \Delta_{izin} = 2,083 \text{ cm}$$

Setelah Komposit

$$M_u^+ = 12.362,127 \text{ kg.m} \leq \phi M_n = 51.134,548 \text{ kg.m}$$

$$M_u^- = 27.272,435 \text{ kg.m} \leq \phi M_n = 34.294,378 \text{ kg.m}$$

$$V_u = 13.641,4956 \text{ kg} \leq \phi V_n = 43.200 \text{ kg}$$

$$\Delta = 0,7282 \text{ cm} \leq \Delta_{izin} = 2,083 \text{ cm}$$

Shear Connector

• Zona Positif

$$n = \frac{Vh}{Qn} = \frac{2.063.906,25}{114.085,7143} = 18,09 \approx 20 \text{ buah}$$

$$S = \frac{L}{n} = \frac{104,5 \text{ cm}}{20} = 5,22 \text{ cm}$$

$$S_{pakai} = 12 \text{ cm}$$

• Zona Negatif

$$n = \frac{Vh}{Qn} = \frac{235.714,2857}{114.085,7143} = 2,066 \approx 4 \text{ buah}$$

$$S = \frac{L}{n} = \frac{152,7 \text{ cm}}{4} = 38,191 \text{ cm}$$

$$S_{pakai} = 40 \text{ cm}$$

2) Perencanaan Kolom Komposit

Kolom komposit dikontrol terhadap kekuatan aksial, lentur, dan interaksi antara lentur dan aksial [10] Kolom terbesar direncanakan menggunakan profil CFT 800×800×35 dengan kontrol kuat nominal penampang sebagai berikut: Kontrol kapasitas tekan nominal:

$$P_u = 1.978.764,584 \text{ kg} \leq \phi P_p = 3.196.231,041 \text{ kg}$$

Kontrol kekuatan lentur

$$M_u = 96.082,7 \text{ kg.m} \leq \phi M_n = 1.574.416,225 \text{ kg.m}$$

Kontrol interaksi pada lentur dan aksial

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{2.091.022,122}{3.196.231,041} + \frac{8}{9} \left(\frac{98.154,83306}{1.574.416,225} + \frac{48.247,54451}{1.574.416,225} \right) \leq 1,0$$

$$0,736 \leq 1 \text{ (OK)}$$

Kontrol Strong Column Weak Beam

$$\sum M'_{pc} = 2.077.533,365 \text{ kg.m}$$

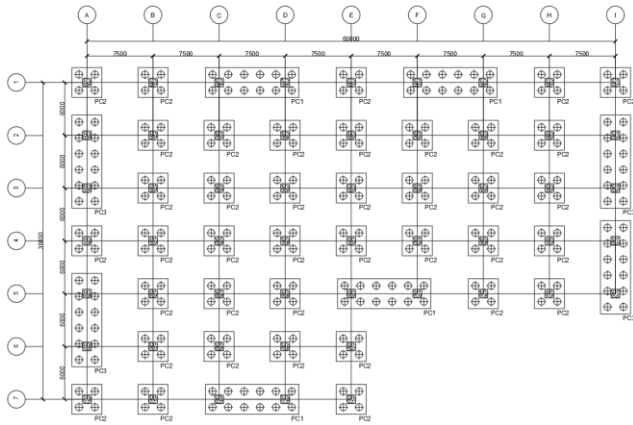
$$\sum M'_{pb} = 130.816,6424 \text{ kg.m}$$

$$\frac{\sum M'_{pc}}{\sum M'_{pb}} = \frac{2.077.533,365}{130.816,6424} = 15,88 > 1 \text{ (OK)}$$

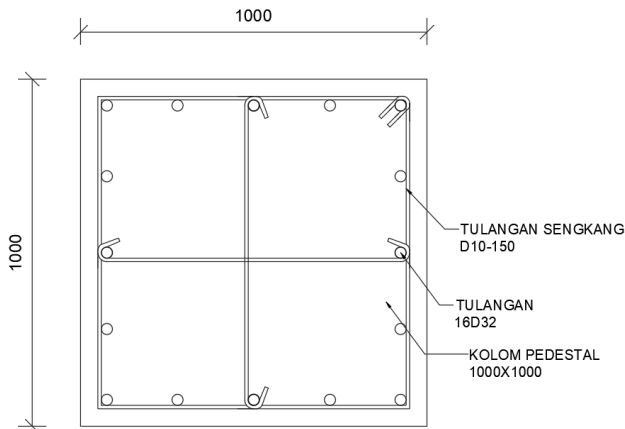
Karena kontrol *strong column weak beam* sudah memenuhi persyaratan, maka dapat dikatakan balok sudah lebih lemah daripada kolom. Maka struktur dapat digunakan pada permodelan ini.

3) Perencanaan Bresing BRBF

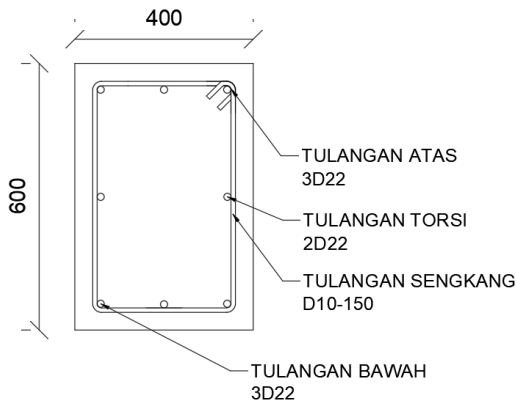
Bresing direncanakan menggunakan *CoreBrace BRB Bolted Lug* ukuran 20 inci dengan konfigurasi *inverted-V* seperti pada Gambar 6. BRBF perlu dilakukan perhitungan *adjusted braced strength* karena adanya beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan sistem tersebut. Hasil *adjusted braced strength* didapatkan pada saat regang-



Gambar 7. Denah fondasi.



Gambar 8. Kolom pedestal.



Gambar 9. Kolom pedestal dengan rasio 1,31%.

an sebesar 2% dari simpangan lantai dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta}{L_y} = \frac{51,365 \text{ mm}}{2,000544} = 2,57\%$$

$$\begin{aligned} \omega &= 19,554\epsilon + 1,2057 \\ &= 19,554 \times 2,57\% + 1,2057 \\ &= 1,707 \geq 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 3,558 \epsilon + 1,0578 \\ &= 3,5858 \times 2,57\% + 1,0578 = 1,149 \geq 1 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan kapasitas dikalikan dengan faktor *adjusted braced strength* dan *output* aplikasi permodelan didapatkan gaya dalam yang digunakan dalam desain sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{y_{sc}} &= \beta \omega R_y P_{y_{sc}} = 1,149 \times 1,707 \times 1,1 \times 304.182 \\ &= 656.660,788 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_u = 190.974,268 \text{ kg} \leq \phi P_{y_{sc}} = 590.994,709 \text{ kg}$$

E. Perencanaan Sambungan dan Baseplate

1) Perencanaan Sambungan Sekunder

Sambungan direncanakan dengan baut mutu A325, las mutu FE70XX, dan pelat penyambung profil siku mutu ASTM A36. Perhitungan sambungan struktur sekunder disajikan pada Tabel 11.

2) Sambungan Struktur Primer

Sambungan direncanakan dengan baut mutu A325 dan A490. Sambungan las juga digunakan dan pelat penyambungan mutu A36. Perhitungan sambungan struktur primer disajikan pada Tabel 12.

F. Perencanaan Struktur Bawah

1) Perencanaan Fondasi

Fondasi yang direncanakan menggunakan *prestressed concrete spun pile* dari PT. Wika Beton dengan tipe A1 diameter 800 mm. Fondasi direncanakan dengan kedalaman 34 m. Denah fondasi sesuai dengan Gambar 7.

2) Perencanaan Poer

Poer merupakan bagian yang menyalurkan beban dari kolom ke tiang pancang. Dalam analisis penulangan lentur, di mana poer dianalisis sebagai balok kantilever dengan peletakan jepit kolom dan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang pancang yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Hasil perhitungan dimensi dan penulangan poer disajikan pada Tabel 13.

3) Perencanaan Kolom Pedestal

Kolom pedestal direncanakan menggunakan dimensi 1000 x 1000 mm seperti pada Gambar 8. Luas tulangan memanjang (A_{st}) tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g . Maka, rasio tulangan memanjang harus didalam rentang 1% sampai dengan 6% [11]. Pada perencanaan kolom pedestal ini, menggunakan tulangan 16D32 sehingga didapatkan rasio tulangan 1,31% (Gambar 9). Oleh karena itu, kolom pedestal sudah memenuhi persyaratan.

4) Perencanaan Sloof

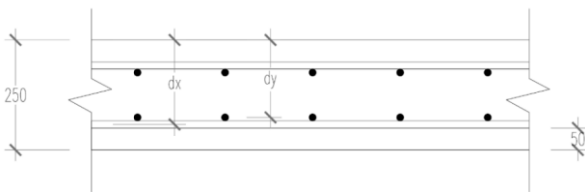
Sloof merupakan bagian yang mengikat poer satu dengan yang lain agar tidak terjadi pergeseran dan penurunan pada fondasi. Desain *sloof* direncanakan menggunakan beton bertulang. *Sloof* menerima beban lentur dan 10% aksial dari kolom.

$$\begin{aligned} q_u &= 2.545,2 \text{ kg/m} \\ M_u^+ &= 8.947,96 \text{ kg.m} = 89,47 \text{ kN.m} \\ M_u^- &= 13.015,23 \text{ kg.m} = 130,15 \text{ kN.m} \\ P_u &= 10\% \times 14.974,9428 = 1.497,494 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sloof dipasang tulangan 6D22 dan sengan D10-150 mm.

5) Perencanaan Pelat Lantai Basement

Tekanan maksimum yang terjadi pada pelat lantai basemen sama dengan tekanan hidrostatik oleh air tanah. Elevasi air tanah diasumsikan pada kondisi yang paling berbahaya yaitu sama dengan permukaan tanah. Besarnya tekanan tanah tersebut sama dengan berat air yang dipindahkan oleh basemen sehingga pada pembebanan lantai basemen merupakan tekanan hidrostatik oleh air tanah. Pelat basemen direncanakan sebagai pelat dua arah dengan dimensi 7,5 m x



Gambar 10. Pelat lantai basemen.

Tabel 13.

Jumlah Tulangan pada Poer

Tipe Poer Dimensi	Bagian	Tulangan		%
		Sumbu X	Sumbu Y	
Tipe 1 10,6×3,4×1,5	Atas	D25-90	D25-90	50,33
	Bawah	D25-90	D25-90	
Tipe 2 3,4×3,4×1,5	Atas	D25-90	D25-90	49,67
	Bawah	D25-90	D25-90	
Tipe 3 3,4×10,6×1,5	Atas	D25-90	D25-90	100
	Bawah	D25-90	D25-90	

Tabel 14.

Rekapitulasi Tulangan pelat Lantai Basemen

Arah	Bagian	Penulangan
X	Lapangan	D16-200
	Tumpuan	D16-90
Y	Lapangan	D16-300
	Tumpuan	D16-120

6 m dan tebal pelat 250 cm (Gambar 10). Rekapitulasi tulangan pelat lantai basemen disajikan pada Tabel 14.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu: (1) Hasil perhitungan struktur sekunder mengacu pada SNI 1729:2020 telah memenuhi syarat untuk kontrol terhadap kuat penampang, kuat geser, dan lendutan. (2) Perencanaan apartemen berada di Kota Tangerang Selatan telah memenuhi syarat kontrol yang terdapat pada gempa sesuai SNI 1726:2019 dan pembebanan sesuai SNI 1727:2020. (3) Hasil perencanaan struktur primer mengacu pada SNI 1729:2020 untuk struktur baja dan komposit serta SNI 2847:2019 untuk struktur beton telah memenuhi persyaratan untuk kontrol terhadap kuat penampang, kuat lentur, aksial, kombinasi aksial dan lentur, kuat geser, dan lendutan. (4) Hasil analisis struktur bawah telah

memenuhi syarat dimensi dan kontrol akibat beban dari luar.

Saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah: (1) Studi perencanaan pada tugas akhir ini diharapkan agar dilakukan lebih lanjut dengan meliputi aspek teknis dan ekonomis agar lebih memungkinkan dapat terealisasi karena penggunaannya di Indonesia masih sangat jarang. (2) Penggunaan BRBF diharapkan untuk dilakukan perbandingan dengan sistem bresing lainnya agar dapat mengetahui sistem serta konfigurasi bresing yang paling efektif dan efisien. (3) Perencanaan sambungan balok induk dengan kolom sebaiknya menggunakan balok konsol agar memudahkan pemasangan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Onggo, A. Setiawan, R. V. Arifianthie, dan S. Rizal, "Faktor yang menentukan keputusan membeli apartemen," *Indones. Bus. Rev.*, vol. 1, no. 1, hal. 94–103, 2018, doi: <https://doi.org/10.21632/ibr.1.1.94-103>.
- [2] Z. Mallisa, "Perkembangan arah falsafah desain seismik struktur bangunan gedung bertingkat," *Media Litbang Sulteng*, vol. 3, no. 2, hal. 96–103, 2010.
- [3] M. N. Sholeh, *Struktur Bangunan Tahan Gempa*. Yogyakarta: Pustaka Pranala, 2022. ISBN: 978-623-5427-06-5.
- [4] A. W. Mulifandi, M. T. Hidayat, dan D. Setyowulan, "Perencanaan alternatif struktur komposit gedung volendam holland park condotel di kota Batu," *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [5] M. Bruneau, C.-M. Uang, dan R. Sabelli, *Ductile Design of Steel Structures*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011. ISBN: 9780071623957.
- [6] J. Propika, D. K. Fitriyah, dan Y. Septiarsilia, "Analisa perbandingan kolom komposit inside steel dan outside steel terhadap kapasitas tahanan aksial dan momen," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, hal. 159–170, 2020.
- [7] R. Sabelli, S. Mahin, dan C. Chang, "Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling-restrained braces," *Eng. Struct.*, vol. 25, no. 5, hal. 655–666, Apr 2003, doi: 10.1016/S0141-0296(02)00175-X.
- [8] Direktorat Jenderal Cipta Karya, "Buku B Panduan Perencanaan Struktur IPLT," Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2017.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2019.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2020.
- [11] American Concrete Institute Committee, *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2019. ISBN: 9781641950565.