

Modifikasi Perencanaan Apartemen Grand Kamala Lagoon Menggunakan Struktur Baja Komposit dengan Sistem Rangka Berpengaku Eksentris

Ahmad Zaky, Endah Wahyuni dan Isdarmanu

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: endah@ce.its.ac.id

Abstrak—Salah satu sistem alternatif penahan gempa yaitu menggunakan material baja komposit dengan Sistem Rangka Berpengaku Eksentris. Sistem Rangka Berpengaku Eksentris merupakan sistem dimana pengaku tidak terhubung ke perpotongan balok dan kolom melainkan terhubung ke balok dengan jarak “e” ke titik perpotongan balok dan kolom. Segmen balok pendek atau link ini memiliki daktilitas yang tinggi yang memastikan struktur memiliki perilaku inelastis serta penyerapan energi yang baik. Kinerja dari balok link tersebut akan lebih maksimal jika elemen-elemen diluar balok link tersebut direncanakan lebih kuat. Modifikasi perencanaan yang dilakukan pada Apartemen Grand Kamala Lagoon ini yaitu menggunakan struktur baja komposit dengan sistem rangka berpengaku eksentris. Perhitungan struktur yang dilakukan pada perencanaan tersebut mengacu kepada SNI-03-1729-2015 “Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”, SNI-03-1729-2015 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung”, SNI-03-1727-2013 “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain”, PPIUG 1983, dan SNI-03-2847-2013 “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung”. Permodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu ETABS 2016. Dari hasil analisa yang telah dilakukan, diperoleh tebal pelat atap dan lantai 11 cm, dimensi balok induk arah X dan Y yaitu WF600.300.12.17 dan WF600.300.14.23, dimensi kolom yaitu HSS700.700.28, dimensi bresing yaitu WF300.300.15.15, dimensi link yaitu WF700.300.13.24 dengan panjang link 120 cm, baseplate menggunakan fixed plate 900.900.60, dari Continental Steel. Sambungan struktur utama direncanakan sambungan kaku menggunakan baut mutu tinggi A490. Pondasi menggunakan tiang pancang berdiameter 60 cm dengan kedalaman 22 m. Balok Tie Beam dimensi 450x650 mm dipasang tulangan utama 5D16 dan tulangan geser Ø10-300.

Kata Kunci—Sistem Rangka Berpengaku Eksentris, Link, Baja, Komposit.

I. PENDAHULUAN

PESATNYA perkembangan jumlah penduduk di Indonesia berdampak pada kebutuhan lahan hunian yang semakin tinggi dengan keterbatasan lahan yang ada. Hal tersebut mengakibatkan kebutuhan akan gedung atau apartemen semakin meningkat dan merata di seluruh kota-kota besar di Indonesia. Pada umumnya, pembangunan gedung atau apartemen di Indonesia menggunakan struktur beton bertulang. Sedangkan, kondisi wilayah di Indonesia termasuk kedalam zona *Ring of Fire* dimana terdapat banyak aktifitas seismik atau gempa bumi sehingga penggunaan struktur beton bertulang yang umum digunakan dalam gedung bertingkat cukup beresiko. Oleh karena itu, sistem yang lebih baik yang seharusnya digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat yaitu sistem konstruksi

baja komposit sebagai salah satu sistem alternatif penahan gempa.

Salah satu kriteria dalam merancang struktur bangunan tinggi terutama untuk gedung adalah keselamatan (*strength and ductile*) dan kenyamanan (*stiffness*). Baja memiliki semua hal tersebut, dimana karakteristik baja identik dengan kekerasan, kekakuan, kekuatan tarik yang tinggi dan juga daktilitas. Penggunaan material baja dalam konstruksi merupakan suatu alternatif yang menguntungkan berdasarkan pertimbangan ekonomi, sifat, dan kekuatannya dalam memikul beban terutama beban lateral seperti gempa bumi [1]. Selain itu, sifat daktil yang dimiliki material baja dapat memberi perubahan bentuk yang besar sebelum mencapai kehancuran. Salah satu bangunan baja yang dirancang tahan gempa adalah bangunan baja dengan menggunakan sistem struktur berpengaku eksentris.

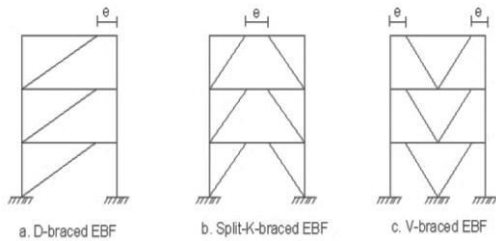
Sistem Rangka Berpengaku Eksentris (SRBE) adalah sistem dimana pengaku tidak terhubung ke perpotongan balok dan kolom melainkan terhubung ke balok dengan jarak “e” ke titik perpotongan balok dan kolom. Segmen balok pendek atau link ini memiliki daktilitas yang tinggi yang memastikan struktur memiliki perilaku inelastis serta penyerapan energi yang bagus [2]. Kinerja dari balok link tersebut akan lebih maksimal jika elemen-elemen di luar dari balok link tersebut direncanakan lebih kuat. Konsep perencanaan SRBE yang berdasarkan keseimbangan mekanisme kelelahan akan mencegah terjadinya cara keruntuhan yang tidak diinginkan yaitu elemen-elemen struktur tidak mengalami penurunan kekakuan dan kekuatan saat struktur menerima beban lateral [3].

Dalam pengerjaan studi ini, akan dilakukan modifikasi gedung Apartemen Grand Kamala Lagoon yang berlokasi di kota Bekasi. Apartemen Grand Kamala Lagoon merupakan gedung dengan struktur utama beton bertulang dengan ketinggian 46 lantai. Apartemen tersebut akan dibangun lagi bersebelahan dengan lokasi sebelumnya namun hanya membutuhkan ketinggian 23 lantai dan menggunakan struktur komposit dengan sistem rangka berpengaku eksentris dengan konfigurasi rangka *inverted V-braced*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Rangka Berpengaku Eksentris (SRBE) merupakan suatu sistem struktur yang terdiri atas balok, kolom, dan pengaku dimana pengaku tersebut tidak terhubung ke perpotongan balok dan kolom melainkan terhubung ke balok dengan jarak “e” ke titik perpotongan balok dan kolom. Segmen balok pendek atau link ini memiliki daktilitas yang tinggi yang memastikan struktur memiliki perilaku inelastis serta penyerapan energi yang

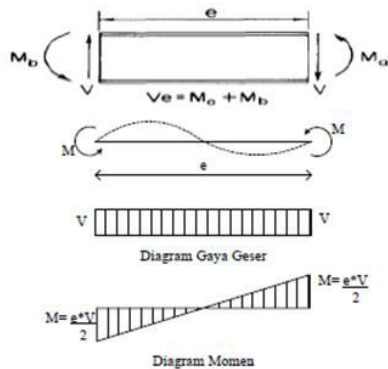
bagus [2]. Kinerja dari balok link tersebut akan lebih maksimal jika elemen-elemen di luar dari balok link tersebut direncanakan lebih kuat. Konsep perencanaan SRBE yang berdasarkan keseimbangan mekanisme kelelahan akan mencegah terjadinya cara keruntuhan yang tidak diinginkan yaitu elemen-elemen struktur tidak mengalami penurunan kekakuan dan kekuatan saat struktur menerima beban lateral.



Gambar 1. Jenis-Jenis Konfigurasi SRBE [4].

Link beam merupakan elemen balok pendek yang direncanakan mengalami kelelahan lebih awal pada saat bekerjanya beban lateral pada struktur. Pada bagian link ini bekerja gaya geser (*shear*) pada kedua ujung link dengan besar yang sama dan arah yang berlawanan. Gaya geser yang bekerja tersebut mengakibatkan momen pada kedua ujung link dengan besar dan arah yang sama, sehingga didapatkan persamaan $V_e = 2M$. Pada kasus ini link diasumsikan hanya dalam keadaan plastis biasa, tidak pada saat *strain hardening* dan tidak ada interaksi antara momen dan geser. Dalam keadaan tersebut, maka dapat dirumuskan sebagai berikut

$$e = \frac{2Mp}{V_p} \tag{1}$$



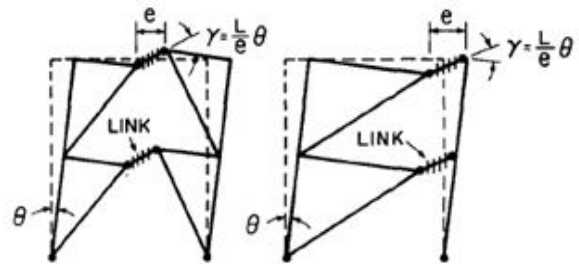
Gambar 2. Gaya yang Bekerja Pada Link [5].

Menurut Engelhardt (2007) [6], pada design struktur penahan gempa dengan SRBE perlu diperhitungkan besar rotasi plastis yang akan dialami oleh link. Pada tahap ini lebih mudah menggunakan mekanisme disipasi energi (juga disebut mekanisme kehancuran). Gambar 3 menunjukkan mekanisme kehancuran dari SRBE. Pada setiap kasus θ merupakan besar penyimpangan yang terjadi pada rangka, besar penyimpangan pada sendi plastis terhadap balok juga disimbolkan θ . Untuk SRBE besar dari kebutuhan rotasi link (γ) harus lebih besar dari θ , dengan perumusan:

$$\gamma = \frac{L}{e} \theta \tag{2}$$

Dimana:
 γ = Rotasi link

L = Panjang balok
 e = Panjang link
 θ = Besar penyimpangan struktur



Gambar 3. Mekanisme Energi Disipasi [5].

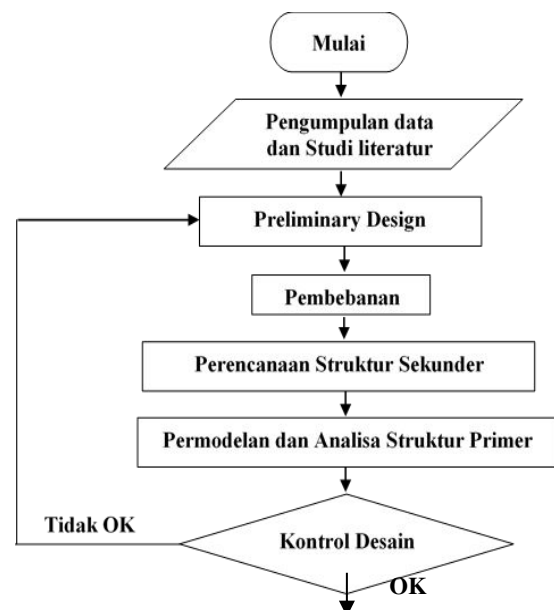
Klasifikasi jenis link terhadap panjang link, rotasi yang terjadi pada link dan jarak pengaku maksimum adalah sebagai berikut,

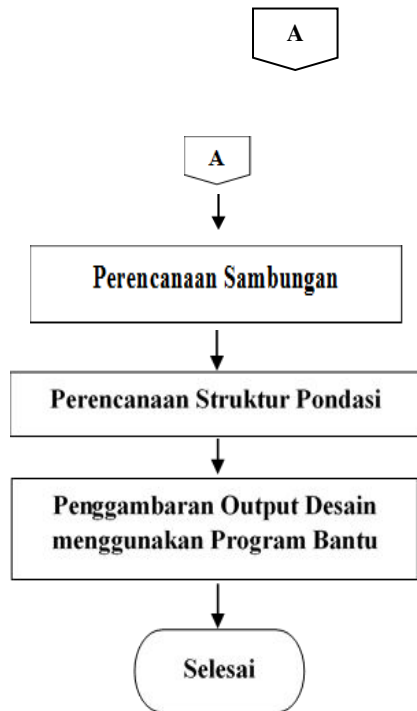
Tabel 1.
 Klasifikasi Link [7]

No	Panjang link	Jenis Link	Rotasi	Jarak Pengaku
				Maksimum
1	$e \leq \frac{1,6 \times Mp}{V_p}$	Geser	0,08	30.tw - d/5
		Murni	< 0,02	52.tw - d/5
2	$\frac{1,6 \times Mp}{V_p} \leq e \leq \frac{2,6 \times Mp}{V_p}$	Dominan Geser		1 dan 3 dipenuhi
3	$\frac{2,6 \times Mp}{V_p} \leq e \leq \frac{5 \times Mp}{V_p}$	Dominan Lentur	0,02	1,5 bf dari tiap ujung link
4	$e > \frac{5 \times Mp}{V_p}$	Lentur Murni		Tidak memerlukan

III. METODOLOGI

Urutan penyelesaian Studi ini dapat dilihat pada bagan alir dibawah ini:





Gambar 4. Diagram Alir Penyelesaian Studi.

Adapun Studi ini akan dimodifikasi perencanaannya menggunakan material baja komposit dengan data-data sebagai berikut :

1. Nama Gedung : Apartemen Grand Kamala Lagoon
2. Lokasi Gedung : Bekasi, Jawa Barat
3. Fungsi Gedung : Apartemen
4. Tinggi Gedung : 72 m
5. Jumlah Lantai : 23 lantai (3 lantai dasar, 19 lantai apartemen, dan 1 lantai atap)
6. Struktur Utama : Balok baja dengan dek dan kolom *Concrete Filled Steel Tube*
7. Sistem Struktur : Sistem Rangka Bresing Eksentris

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Sekunder

1. Pelat atap dan lantai

Pelat lantai atap dan lantai apartemen direncanakan menggunakan bondek dari *Super Floor Deck* dengan tebal 0,75 mm. Hasil perhitungan struktur pelat ini tersaji pada tabel 2

Tabel 2.
Rekapitulasi Perhitungan Pelat Atap

No	Bentang (m)	Jumlah Tulangan (n)	Jarak (mm)	Tebal (mm)
1	3,5	6	160	11
2	3	5	200	9
3	1,5	2	500	9

Tabel 3.
Rekapitulasi Perhitungan Pelat Lantai

No	Bentang (m)	Jumlah Tulangan (n)	Jarak (mm)	Tebal (mm)
1	3,5	9	110	11
2	3	7	140	10
3	1,5	2	500	9

2. Perencanaan Balok Sekunder

Balok sekunder direncanakan menggunakan wide flange (WF) BJ-41. Hasil perhitungan balok sekunder tersaji pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4.
Dimensi Balok Sekunder Atap

No	Bentang (m)	Profil
1	10,6	WF 450 x 300 x 10 x 15
2	8,6	WF 400 x 200 x 8 x 13
3	6,6	WF 300 x 200 x 8 x 12

Tabel 5.
Dimensi Balok Sekunder Atap

No	Bentang (m)	Profil
1	10,6	WF 450 x 300 x 11 x 18
2	8,6	WF 400 x 300 x 9 x 14
3	6,6	WF 300 x 200 x 9 x 14

3. Perencanaan Tangga dan Bordes

Tangga adalah sebuah konstruksi yang dirancang untuk menghubungkan dua tingkat vertikal yang memiliki jarak satu sama lain.

Data Teknis Perencanaan Tangga

- Mutu baja = BJ-41
- Tinggi antar lantai = 310 cm
- Tinggi bordes = 155 cm
- Panjang tangga = 300 cm
- Lebar tangga = 160 cm
- Lebar bordes = 175 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Tinggi Injakan (t) = 15 cm
- Lebar pegangan tangga = 10 cm

Tabel 6.
Dimensi Tangga

No	Jenis Struktur	Ket. Profil
1	Balok Utama Tangga	WF200.100.4.5.7
2	Balok Penumpu Tangga	WF200.150.6.9
3	Pelat Bordes	Bondek, t = 9 cm
4	Pelat Tangga	Bondek, t = 9 cm

4. Perencanaan Lift

Pada bangunan ini menggunakan *lift* penumpang dengan data-data sebagai berikut (untuk lebih jelasnya lihat lampiran brosur *lift*) :

- Tipe lift : *Passenger Elevators*
- Merek : HYUNDAI
- Kapasitas : 17 Orang / 1150 kg
- Lebar pintu (*opening width*) : 1100 mm
- Dimensi ruang luncur (*hoistway inside*) 3 Car : 7850 x 2030 mm²
- Dimensi sangkar (*Car size*)
 - Internal : 2000 x 1350 mm²
 - Eksternal : 2100 x 1520 mm²
- Dimensi ruang mesin (3 Car) : 8300 x 3800 mm²
- Beban reaksi ruang mesin :
 - R1 = 6600 kg
 - R2 = 5100 kg

Dimensi Balok Penggantung *Lift* yaitu WF 600.300.12.20

B. Permodelan Struktur

1. Kontrol Partisipasi Massa

Partisipasi massa harus menyertakan jumlah ragam terkombinasi minimal 90% dari massa aktual yang berasal

dari masing-masing arah horizontal dan orthogonal yang ditinjau [8].

Tabel 7.
Kontrol Nilai Partisipasi Massa

OutputCase	Mode	Period	SumUX	Sum UY
Text	Text	Sec	Unitless	Unitless
Modal	7	0,429	0,9328	0,8772
Modal	8	0,422	0,933	0,9339

2. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Perkiraan periode alami fundamental (Ta) dalam detik, harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x ; C_t = 0,0731 ; x = 0,75 ; h_n = 72 \text{ m}$$

$$T_a = 0,0731 \cdot 117,60,75 = 2,611 \text{ detik}$$

Dengan nilai SD1 = 0,7104, maka Cu = 1,4

Sehingga periode struktur yang diijinkan adalah :

$$T = T_a \cdot C_u = 1,806 \cdot 1,4 = 2,529 \text{ detik}$$

Tabel 8.
Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

TABLE: Modal Periods and Frequencies

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
Modal	1	2,319	0,431
Modal	2	2,295	0,436
	...		
Modal	11	0,286	3,491
Modal	12	0,274	3,655

Dari tabel diatas Tc = 2,319 s, maka berdasarkan kontrol aktu getar alami fundamental, nilai T masih lebih kecil dari Cu.T. Jadi analisis struktur memenuhi syarat.

3. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam dinamik (Vt) harus lebih besar 85% dari gaya geser dasar statik (V) atau (Vdinamik ≥ 0,85 Vstatik).

Tabel 9.
Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Ket	Vdinamik (kg)	Vstatik (kg)	Vdinamik / Vstatik ≥
RSX	1072632		Not OK
RSY	1017463	1231136	Not OK

Karena hasil tidak memenuhi maka simpangan antar lantai harus diperbesar dengan faktor skala $0,85 \frac{C_s \cdot W}{v}$.

Untuk simpangan arah X harus dikalikan:

$$0,85 \frac{C_s \cdot W}{v} = 0,85 \times \frac{0,038 \times 37824649}{1072632} = 1,14$$

Untuk simpangan arah Y harus dikalikan

$$0,85 \frac{C_s \cdot W}{v} = 0,85 \times \frac{0,025 \times 37824649}{1017463} = 1,21$$

4. Kontrol Simpangan (Drift)

Gempa menyebabkan struktur bertingkat rawan terhadap terjadinya simpangan horizontal (Drift). Dan apabila simpangan horizontal ini melebihi syarat aman yang telah ditentukan maka gedung akan mengalami keruntuhan.

C. Perhitungan Struktur Primer

1. Link

Balok link direncanakan menggunakan profil WF 600 x 300 x 12 x 20. Dari hasil perhitungan didapat jenis link termasuk ke dalam link geser.

$$e = 120 \text{ cm} < 1,6 \cdot M_p / V_p = 174,4 \text{ cm}$$

[7]

$$\alpha = 0,04 \text{ radian} < \alpha \text{ maks} = 0,08 \text{ radian}$$

$$N_u = 4450 \text{ kg} < 0,15 N_y = 72187 \text{ kg}$$

$$V_u = 51869 \text{ kg} < \phi V_n = 88766 \text{ kg}$$

Untuk pengaku dengan panjang link < 1,6 . Mp / Vp, harus direncanakan memiliki pengaku antara. Untuk α = 0,04 radian maka:

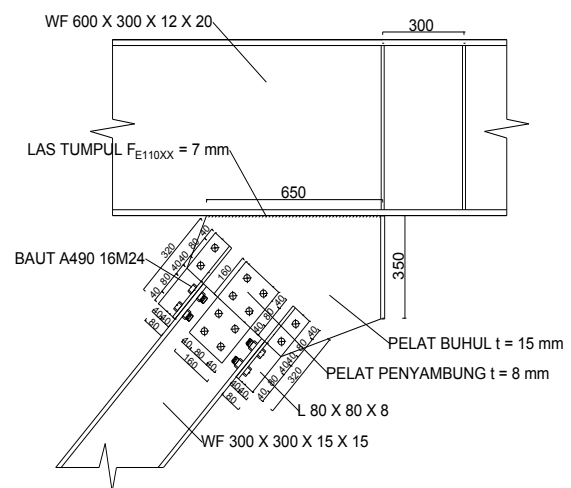
$$S = 50,64 - \left(\frac{0,04 - 0,02}{0,08 - 0,02} \right) \cdot (50,64 - 24,2)$$

$$= 40,52 \text{ cm}$$

Dipasang pengaku antara dengan jarak 30 cm.

Tabel 10.
Kontrol Simpangan Arah-Y Gempa Arah Y

Lantai	Rasio Drift	Elevasi (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	δx x SF (mm)	Δa (mm)	Kontrol
Roof	0,0005	3100	1,56	6,22	7,53	62	OK
19	0,0006	3100	1,82	7,27	8,79	62	OK
18	0,0007	3100	2,17	8,69	10,52	62	OK
17	0,0008	3100	2,53	10,12	12,24	62	OK
16	0,0009	3100	2,87	11,48	13,89	62	OK
15	0,0010	3100	3,18	12,72	15,39	62	OK
14	0,0011	3100	3,46	13,84	16,74	62	OK
13	0,0012	3100	3,71	14,84	17,96	62	OK
12	0,0013	3100	3,93	15,72	19,03	62	OK
11	0,0013	3100	4,13	16,50	19,97	62	OK
10	0,0014	3100	4,30	17,20	20,81	62	OK
9	0,0014	3100	4,45	17,81	21,55	62	OK
8	0,0015	3100	4,59	18,36	22,22	62	OK
7	0,0015	3100	4,71	18,85	22,81	62	OK
6	0,0016	3100	4,82	19,27	23,32	62	OK
5	0,0016	3100	4,90	19,62	23,74	62	OK
4	0,0016	3100	4,96	19,83	23,99	62	OK
3	0,0016	3100	4,96	19,85	24,02	62	OK
2	0,0016	3100	4,94	19,77	23,92	62	OK
1	0,0016	3100	5,11	20,44	24,73	62	OK
Transfer	0,0017	5000	8,35	33,38	40,39	100	OK
UG	0,0009	5000	4,45	17,78	21,51	100	OK



Gambar 5. Elemen Link dan Pengaku.

2. Balok diluar Link

Balok link direncanakan menggunakan profil WF 600 x 300 x 12 x 20. Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Pasal 15.13.6.2, kuat perlu balok yang terletak diluar link harus ditentukan berdasarkan gaya-gaya yang ditimbulkan paling tidak 1,1 kali kuat geser nominal link sebesar Ry.Vn.

Kontrol interaksi geser lentur yang terjadi:

$$\frac{Mu}{\phi \cdot Mn} + 0,625 \frac{Vu}{\phi \cdot Vn} \leq 1,375$$

$$1,105 \leq 1,375 \quad (\text{OK})$$

3. Bresing

Bresing direncanakan menggunakan profil WF 300 x 300 x 15 x 15. Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Pasal 15.13.6.1, kuat kombinasi- aksial- dan lentur perlu pada batang bresing harus sebesar 1,25 Ry Vn.

$$Vu = 1,25 \cdot Ry \cdot Vn [7]$$

$$= 1,25 \cdot 1,5 \cdot (0,6 \cdot 2500 \cdot (58,8 - 2,2) \cdot 1,2)$$

$$= 184950 \text{ kg}$$

$$Pu \text{tekan} = Pu \text{tarik} = \frac{Vu}{\sin \alpha} = \frac{184950}{0,88} = 210193 \text{ kg}$$

Bresing tarik

$$\phi_c P_n = \phi_c \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 0,9 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 134,8 = 454950 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n > Pu \rightarrow 454950 \text{ kg} > 210193 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

Bresing tekan

$$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_g / F_{cr}$$

$$= 0,85 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 134,8 / 1,416 = 392668,4 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n > Pu \rightarrow 392668,4 \text{ kg} > 210193 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

4. Balok

Balok direncanakan menggunakan profil WF 600 x 300 x 12 x 17. Dari output ETABS 2016 diperoleh gaya dalam yang dipakai dalam desain adalah:

$$Mu = 23435 \text{ kg.m} \leq \phi Mn = 85095 \text{ kg.m}$$

$$Vu = 10068,7 \text{ kg} \geq \phi Vn = 94284 \text{ kg}$$

$$f_0 = 0,411 \text{ cm} \leq f_{ijin} = 2,22 \text{ cm}$$

5. Kolom

Kolom direncanakan menggunakan profil HSS 700 x 700 x 28 x 28 dengan kontrol kuat nominal penampang sebagai berikut:

Rumus Interaksi:

$$\frac{Pu}{\phi P_n} = 0,474 > 0,2 \rightarrow \text{Interaksi 1}$$

Kontrol Interaksi “Balok – Kolom”

$$\frac{Pu}{\phi P_n} \geq 0,2 \rightarrow \frac{Pu}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

[9]

$$0,744 \leq 1,0 \quad (\text{OK})$$

Hasil seluruh perhitungan struktur primer akan disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11.
Hasil Perhitungan Struktur Primer

Elemen	Dimensi
Link X	WF 600.300.12.20
Link Y	WF 700.300.13.24
Balok Diluar Link X	WF 600.300.12.20
Balok Diluar Link Y	WF 700.300.13.24
Bresing Arah X	WF 300.300.15.15
Bresing Arah Y	WF 300.300.11.17
Balok Induk Memanjang	WF 600.300.12.17
Balok Induk Melintang	WF 600.300.14.23
Kolom	HSS 700.700.28.28

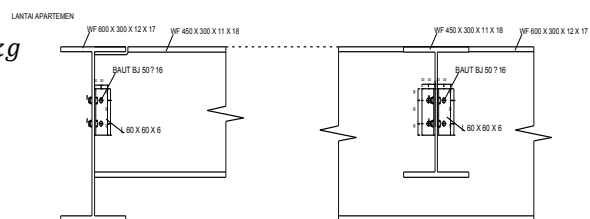
D. Perencanaan Sambungan

1. Sambungan Struktur Sekunder

Pada perencanaan sambungan, direncanakan baut dengan mutu BJ50 dan pelat penyambung profil siku dengan mutu BJ41. Hasil perhitungan sambungan struktur sekunder terlampir pada Tabel 12.

Tabel 12.
Sambungan Struktur Sekunder

Elemen	Profil Siku	D (mm)	n (jb)	
Balok anak	Badan B.Anak	L60.60.6	16	2
Induk	Badan B.Induk	L60.60.6	16	2
Balok utama	Badan B.Utama	L60.60.6	8	3
tangga	Tangga	L60.60.6	8	3
penumpu	Badan B.Penumpu	L60.60.6	8	3
tangga	Tangga	L60.60.6	10	2
Balok penumpu	Badan B.Penumpu	L60.60.6	10	2
tangga	Tangga	L60.60.6	10	2
kolom	Sisi kolom	Las Sudut	mm	3



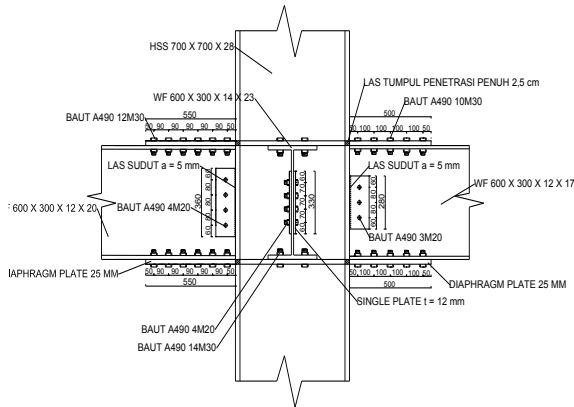
Gambar 6. Sambungan Balok Anak dan Balok Induk.

2. Sambungan Struktur Primer

Pada perencanaan sambungan, direncanakan baut dengan mutu A490, Mutu las FE70xx dan FE110XX, dan pelat penyambung mutu BJ-41. Hasil perhitungan sambungan struktur primer tersaji pada Tabel 13.

Tabel 13.
Sambungan Struktur Primer

Elemen	D badan (mm)	n badan (buah)	D sayap (mm)	n sayap (buah)
Balok diluar Kolom	20	4	30	12
Balok diluar Kolom	20	4	30	14
Bresing X	24	8	24	8
Bresing Y	24	8	24	12
Balok Induk X dan Kolom	20	3	30	10
Balok Induk Y dan Kolom	20	4	30	14
Antar Kolom	Las tumpul penetrasi penuh 1,6 cm			
Kolom - Base Plate	T Plat =	60 mm	N angkur	8M22



Gambar 7. Sambungan Kolom dan Balok Induk

$A_s = 0,0108 \cdot 1000 \cdot 939 = 10141,2 \text{ mm}^2$
 Dipasang tulangan 28D22, $A_s = 10643,7 \text{ mm}^2$
 Dipasang merata 4 sisi dengan sengkang $\varnothing 10 - 150$.

4. Perencanaan Tie Beam

Tie Beam direncanakan menggunakan tulangan baja, hal tersebut dilakukan karena Tie Beam menerima kombinasi beban aksial tekan dan lentur.

Gaya aksial kolom = 795617,94 kg

$P_u = 10\% \times 795617,94 \text{ kg}$

= 79561,8 kg \rightarrow 795618 N

Dari perhitungan didapat $\rho = 0,0033$

Dipasang tulangan = 5D16 ($A_s = 1005,31 \text{ mm}^2$) dan sengkang $\varnothing 10 - 300 \text{ mm}$

E. Perhitungan Struktur Bawah

1. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi yang digunakan pada perencanaan gedung perkantoran berasal dari tiang pancang beton (Concrete Pile) dari produk dari PT. WIKA Beton dengan spesifikasi adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 600 mm
- Tebal tiang : 100 mm
-

- Klasifikasi : A1
- Concrete cross section : 1570,8 cm²
- Berat : 393 kg/m
- Bending moment crack : 17 tm
- Bending momen ultimate : 25,5 tm
- Allowable axial load : 252,7 tm

Daya dukung ijin dari satu tiang pancang yang berdiri sendiri adalah

$$P_{ijin \ 1 \ tiang} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{367,56 + 401,53}{3} \quad [10]$$

$$= 256,36 \text{ ton}$$

$$P_{ijin \ 1 \ tiang \ pakai} = 252,7 \text{ ton}$$

Kontrol beban tetap

$$P_{max} = 140,5 \text{ ton} < Q_{ijin} = 252,7 \times 0,65 = 165,7 \text{ ton}$$

(OK)

2. Perencanaan Poer

Untuk penulangan lentur, poer dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Dan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer.

Berikut adalah hasil perhitungan untuk dimensi poer :

Tabel 14.
Rekapitulasi Dimensi Poer

Tipe	Dimensi	Jumlah tiang	Diameter Pancang	Tulangan X		Tulangan Arah Y	
				Atas	Bawah	Atas	Bawah
PC 1	3,6x3,6x1	9	60	D16-150	D22-150	D16-150	D22-150
PC 2	4,8x2,4x1,5	8	60	D22-250	D29-250	D22-250	D29-250
PC 3	2,4x4,8x1,5	8	60	D22-250	D29-250	D22-250	D29-250

3. Perencanaan Kolom Pedestal

Besarnya gaya – gaya dalam kolom diperoleh dari hasil analisis ETABS 2016 adalah:

- Mu = 20180,6 kg.m
- Pu = 795617,9 kg = 7797056 N
- Vu = 15854,96 kg = 158549,6 N

Dimensi kolom pedestal 1000 mm x 1000 mm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sesuai dengan tujuan penulisan studi ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan pada struktur sekunder telah memenuhi syarat terhadap kontrol kuat penampang, kontrol geser dan lendutan yang mengacu kepada SNI 1729-2015.
2. Dari kontrol yang dilakukan, kontrol partisipasi massa, kontrol waktu getar alami fundamental, kontrol nilai akhir respon spektrum, kontrol simpangan (drift) struktur yang direncanakan berada di kota Bekasi telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1729-2015 (analisis struktur dapat digunakan)
3. Hasil analisa struktur primer yang dilakukan telah memenuhi syarat terhadap kontrol kuat penampang, kontrol geser, kontrol sudut rotasi link, kontrol interaksi geser lentur dan lendutan.
4. Perhitungan pada struktur bawah telah memenuhi persyaratan dimensi dan kontrol akibat pons.

B. Saran

Diharapkan dilakukan studi yang mempelajari tentang perencanaan struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) lebih dalam dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomis, dan estetika dengan tetap mengacu kepada aturan yang berlaku. Diharapkan perencanaan dapat dimodelkan semirip mungkin dengan kondisi sesungguhnya di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fauzi, "Modifikasi Perencanaan menggunakan Sistem Rangka B्रेसing Konsentris Khusus pada Gedung Apartemen Metropolitan," Surabaya, 2013.
- [2] E. P. Popov and C. W. Roeder, "Design of an Eccentrically Braced Steel Frame," *AISC Eng. Journal. 3rd Quart.*, vol. 15, no. 3, 1978.
- [3] I. Fihari, "Analisis Pelat Buhul Struktur Rangka Baja Berpengaku Eksentrik," Yogyakarta, 2010.
- [4] American Institute of Steel Construction, "Seismic Provision for Structural Steel Buildings," 2010.
- [5] E. P. Popov and E. M. D., "Seismic Eccentrically Braced Frames," *J. Constr. Steel Res.*, 1988.
- [6] Engelhardt and D. Michael, "Design Of Seismic Resistant Steel Building Structures," USA, 2007.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)," Bandung, 2002.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan

- [9] Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012),” Bandung, 2012.
Badan Standarisasi Nasional, “Spesifikasi untuk Bangunan Baja
- [10] Struktural (SNI 03-1729-2015),” Bandung, 2015.
H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS, 1999.