

Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Pusat Perbelanjaan *Jogja Town Square* Menggunakan Baja dengan Sistem *Eccentrically Braced Frames (EBF)*

Apriansyah, Priyo Suprobo, dan Budi Suswanto

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: budi_suswanto@ce.its.ac.id

Abstrak—Baja merupakan salah satu material yang bersifat daktail, yaitu baja dapat mengalami deformasi yang besar dibawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tanpa hancur dan putus. Adanya sifat daktail tersebut menjadikan baja lebih efektif menahan beban gempa. Salah satu sistem tahan gempa yang terdapat pada baja adalah sistem *Eccentrically Braced Frames (EBF)* yang merupakan konsep desain gabungan antara konsep daktilitas dan disipasi energi yang baik dari desain MRF dengan kekakuan elastik yang tinggi dari desain CBF. Kelebihan dari sistem EBF ini adalah daktilitas struktur yang baik dengan mekanisme kelelahan geser yang terjadi pada link. Link merupakan bagian yang terletak antara joint pengaku diagonal dengan joint kolom – balok dan elemen yang diharapkan dapat menyerap energi gempa dan mengalami proses plastisifikasi pada elemen yang rusak tersebut. Pada modifikasi perencanaan struktur gedung pusat perbelanjaan *Jogja Town Square* ini digunakan sistem *Eccentrically Braced Frames (EBF)*. Perhitungan struktur yang dilakukan pada sistem struktur ini mengacu pada, SNI 03-1729-2002 “Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung”, SNI 1729:2015 “Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural”, SNI 1727:2013 “Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain” PPUG 1983, SNI 1726:2012 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung”, dan SNI 2847:2013 “Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung”. Pemodelan dan analisa struktur menggunakan program ETABS. Dari analisa yang telah dilakukan diperoleh, tebal pelat atap 9 cm, lantai hotel 10 cm, lantai lobi hotel 13 cm, lantai pusat perbelanjaan 12 cm, dimensi balok anak lantai atap WF 250.175.7.11, balok anak lantai hotel WF 300.200.8.12, dimensi balok anak lantai lobi hotel dan pusat perbelanjaan WF 350.250.8.12, dimensi balok induk lantai 2-5 WF 500.200.11.19, dimensi balok induk lantai 6-9 WF 450.200.9.14, dimensi balok induk lantai atap WF 450.200.8.13 dimensi kolom lantai 1-5 CFT 650.650.25.25, kolom lantai 6-9 CFT 550.550.25.25, kolom lantai 10-12 CFT 500.500.25.25, dimensi bresing lantai 1-5 WF 300.300.12.12, dimensi bresing lantai 6-12 WF 250.250.14.1. Panjang element link yang direncanakan 100 cm. Sambungan struktur utama direncanakan dengan baut A325. Dinding penahan tanah direncanakan menggunakan solder pile diameter 60 cm dengan kedalaman 9 m dengan tulangan utama 16 D16 dan tulangan geser D13-120. Pondasi menggunakan bored pile diameter 100 cm dengan kedalaman 24 m dengan tulangan utama 26 D22 dan tulangan geser D16-100.

Kata Kunci—*Eccentrically Bracing Frames, Jogja Town Square, Gempa, Struktur baja.*

I. PENDAHULUAN

PERMASALAHAN utama dalam merencanakan struktur bangunan pada era modern ini adalah struktur harus mempunyai sifat yang fleksibel dan mempunyai daktilitas tinggi untuk mencegah rentannya terjadi keruntuhan disebabkan oleh kegagalan struktur. Dalam merencanakan suatu struktur gedung harus memperhatikan kekuatan, kekakuan, daktilitas, serta kemampuan untuk mereduksi energi gempa. Untuk struktur bangunan beton diperlukan sistem *base isolation* sebagai struktur tambahan untuk mereduksi energi gempa. Sebagaimana kita ketahui bahwa struktur bangunan beton memiliki daktilitas yang rendah. Oleh karena itu pada studi ini penulis melakukan modifikasi terhadap gedung pusat perbelanjaan *Jogja Town Square* yang awalnya merupakan struktur beton bertulang, dimodifikasi menjadi struktur yang lebih daktail yaitu menggunakan struktur baja dengan menambah jumlah lantai bangunan dari 7 lantai dengan menjadi 12 lantai (pada lantai 1 – 4 merupakan pusat perbelanjaan, lantai 5 – 12 difungsikan sebagai hotel), gedung ini juga dilengkapi dengan 1 lantai basement, yang difungsikan sebagai area parkir, dengan kedalaman 1 m dibawah permukaan tanah.

Sistem yang umum untuk struktur baja tahan gempa adalah *Momen Resisting Frame (MRF)* dan *Concentrically Braced Frame (CBF)*. MRF bersifat daktail tetapi kurang kaku untuk memenuhi persyaratan *drift control* sedangkan CBF bersifat kaku tetapi memiliki kemampuan menyalurkan energi yang terbatas [1]. Untuk mengatasi kekurangan dari MRF dan CBF maka digunakan suatu sistem yang disebut EBF (*Eccentrically Braced Frames*). EBF merupakan konsep desain gabungan antara konsep daktilitas dan disipasi energi yang baik dari desain MRF dengan karakteristik kekakuan elastik yang tinggi dari desain CBF. EBF memiliki daktilitas yang tinggi seperti halnya pada sistem rangka pemikul momen tetapi juga memiliki kekakuan yang tinggi seperti CBF [2].

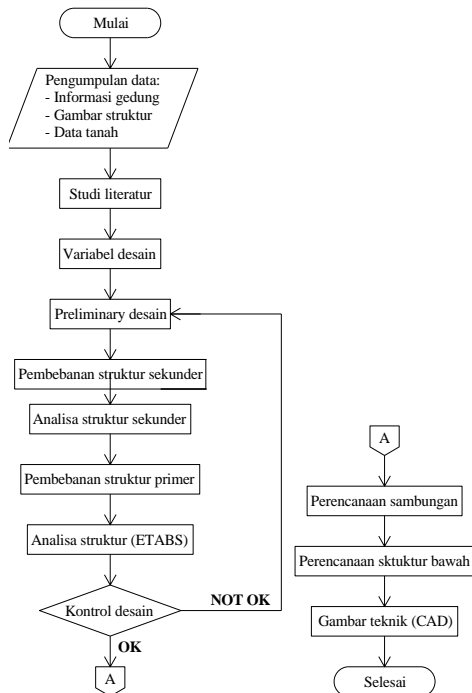
II. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep desain tahan gempa EBF adalah elemen *link* merupakan elemen yang kritis yang berpengaruh terhadap perilaku inelastik pada desain EBF. Perilaku inelastik pada link dipengaruhi oleh panjangnya mekanisme kelelahan *link*, kapasitas energi disipasi dan mode kegagalan sangat erat hubungannya dengan faktor panjang *link*. Untuk *link* pendek, perilaku inelastik dominan terhadap gaya geser, sebaliknya untuk *link* panjang perilaku inelastik didominasi

oleh lentur. Untuk *link* antara (intermediate), kelelahan dipengaruhi oleh geser dan lentur [3].

III. METODOLOGI

Urutan pekerjaan penyelesaian studi dilakukan dengan tahapan- tahapan sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram alir Penyelesaian studi.

Direncanakan sebuah gedung pusat perbelanjaan 12 lantai dengan data- data sebagai berikut:

- Nama Bangunan : *Jogja Town Square*
- Lokasi Rencana : Yogyakarta
- Fungsi : Pusat Perbelanjaan dan hotel
- Struktur Utama : Baja
- Struktur Struktur : *Eccentrically Braced Frames*
- Jumlah Lantai : 12 Lantai
- Rencana Pondasi : *Bored pile*

Data material:

- Beton : f_c 30 MPa
- Baja : BJ-41

IV. PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER

A. Pelat Atap dan Pelat Lantai

Pelat lantai atap dan lantai perkantoran direncanakan menggunakan bondek dari PT.BRC LYSAGHT INDONESIA dengan tebal 0,75 mm. Hasil perhitungan struktur pelat ini tersaji pada tabel 1

Tabel 1. Dimensi dan penulangan pelat

Elemen Pelat	Tebal Pelat (cm)	Tulangan Negatif (cm ² /m)	Tulangan Negatif pakai	Tulangan susut pakai
Lantai 12	9	2,51	Ø8-150	Ø8-350
Lantai 6-9	10	3,25	Ø10-200	Ø8-300
Lantai 5	9	3,75	Ø10-180	Ø8-200
Lantai 2-4	10	3,39	Ø10-200	Ø8-250

B. Perencanaan Balok Sekunder

Fungsi dari balok sekunder adalah menerima beban dari pelat lantai lalu meneruskan serta membagi beban yang dipikul ke balok utama. Balok sekunder direncanakan menggunakan wide flange (WF) BJ-41. Hasil perhitungan balok sekunder tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Balok Sekunder

No.	Posisi	Bentang (m)		Profil dipakai	Kontrol									
		X	Y		Momen			Persamaan Interaksi		Geser		Lendutan		
					Øb . Mn	Mu	ket	Mux + Muy ≤ 1	Ø Vn	Vu	Ø Vn	fijin	fmax	ket
1	Lantai 12 (Atap)	6	3	WF 250 x 175 x 7 x 11	12037,500	6664,578	Ok	0,554	23058	4443,052	Ok	1,667	1,567	Ok
		6	2,7	WF 250 x 175 x 7 x 11	12037,500	5914,827	Ok	0,491	23058	3943,218	Ok	1,667	1,391	Ok
		6	2	WF 250 x 175 x 7 x 11	12037,500	4522,432	Ok	0,376	23058	3014,955	Ok	1,667	1,065	Ok
2	Lantai 6-11 (Hotel)	6	3	WF 300 x 200 x 8 x 12	18517,500	12160,376	Ok	0,657	31752	8106,917	Ok	1,667	1,535	Ok
		6	2,7	WF 300 x 200 x 8 x 12	18517,500	10777,449	Ok	0,582	31752	7184,966	Ok	1,667	1,361	Ok
		6	2	WF 300 x 150 x 6,5 x 9	11745,000	7666,794	Ok	0,653	26325	5111,196	Ok	1,667	1,509	Ok
3	Lantai 5 (Lobby Hotel)	6	3	WF 350 x 250 x 8 x 12	26167,500	19715,161	Ok	0,753	36288	13143,440	Ok	1,667	1,442	Ok
		6	2,7	WF 350 x 250 x 8 x 12	26167,500	17458,655	Ok	0,667	36288	11639,103	Ok	1,667	1,278	Ok
		6	2	WF 350 x 175 x 7 x 11	18922,500	13162,160	Ok	0,696	33075	8774,774	Ok	1,667	1,310	Ok
4	Lantai 2-4 (Pusat Perbelanjaan)	6	2,7	WF 350 x 250 x 8 x 12	26167,500	19469,413	Ok	0,744	36288	12979,609	Ok	1,667	1,398	Ok
		6	2	WF 350 x 175 x 7 x 11	18922,500	14420,514	Ok	0,762	33075	9613,676	Ok	1,667	1,404	Ok

C. 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 = 400 cm
- Tinggi bordes = 200 cm
- Panjang tangga = 450 cm
- Lebar tangga = 130 cm
- Lebar bordes = 150 cm
- Lebar injakan (i) = 30 cm
- Lebar pegangan tangga = 20 cm

Tabel 3. Dimensi tangga

Elemen	Jenis Profil	Mu (kg.m)		Lendutan	
		Mu	ØMn	fijin	f max
Tangga	Pelat t= 3 mm	12,455	60,813	0,125	0,076
Bordes	Pelat t= 7 mm	50,505	358,313	0,313	0,260
Pengaku Anak Tangga	L50.50.7	71,754	220,579	0,54	0,337
Balok Bordes	WF100.50.5.7	90,135	945	0,361	0,028
Balok Utama Tangga	WF200.100.4.5.7	3825	1845,46	1,386	1,002
Balok Penumpu Tangga	WF200.100.4.5.7	2416,35	4250	0,833	0,520

V. KONTROL HASIL ANALISIS STRUKTUR

a. Kontrol Partisipasi Massa

Partisipasi massa harus menyertakan jumlah ragam terkombinasi minimal 90% dari massa aktual yang berasal dari masing-masing arah horizontal orthogonal yang ditinjau.

Tabel 4. Kontrol nilai partisipasi massa

OutputCase	Steptype	StepNum	SumUX	Sum UY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
Modal	Mode	7	0,9252	0,8849
Modal	Mode	8	0,9252	0,9295

b. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

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

$T_a = C_t \cdot h_n^x$; $C_t = 0,0731$; $x = 0,75$; $h_n = 46,5$; $C_u = 1,4$

$T_a = 0,0731 \cdot 546,5^{0,75} = 1,302$ detik

Sehingga periode struktur yang diijinkan adalah :
 $T = T_a \cdot C_u = 1,302 \cdot 1,4 = 1,822$ detik

Tabel 6.
 Kontrol waktu getar alami fundamental

Output Case Text	Step Type Text	Step Num Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec
MODAL	Mode	1	1.815	0.551
MODAL	Mode	2	1.605	0.623
Tabel ini sengaja dikosongkan				
MODAL	Mode	24	0.06	16.739
MODAL	Mode	25	0.059	16.86

Dari tabel diatas $T_c = 1,815$ s, maka berdasarkan kontrol aktu getar alami fundamental, nilai T masih lebih kecil dari $C_u \cdot T$. Jadi analisis memenuhi syarat.

c. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Kombinasi respons untuk gaya geser dasar ragam dinamik (V_t) harus lebih besar 85% dari gaya geser dasar statik (V) atau ($V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$).

Tabel 5.
 Kontrol nilai akhir respon spektrum

Ket	$V_{dinamik}$ (kg)	V_{statik} (kg)	$V_{dinamik} \geq V_{statik}$
RSX	888.499,33	865.134,78	OK
RSY	999.910,70		OK

d. 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.

Tabel 7.
 Kontrol simpangan arah-X

Lantai	hi	δx_e (mm)	δx (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	$\Delta a / \rho$ (mm)	$\Delta \leq \Delta a / \rho$ (mm)
Lantai Atap	4000	58,9	147,25	6,25	80	80	OK
Lantai 11	4000	56,4	141,00	9,50	80	80	OK
Lantai 10	4000	52,6	131,50	11,50	80	80	OK
Lantai 9	4000	48	120,00	13,00	80	80	OK
Lantai 8	4000	42,8	107,00	14,50	80	80	OK
Lantai 7	4000	37	92,50	15,50	80	80	OK
Lantai 6	4000	30,8	77,00	15,00	80	80	OK
Lantai 5	4500	24,8	62,00	17,25	90	90	OK
Lantai 4	4500	17,9	44,75	18,00	90	90	OK
Lantai 3	4500	10,7	26,75	16,50	90	90	OK
Lantai 2	5000	4,1	10,25	10,25	100	100	OK

Tabel 8.
 Kontrol simpangan arah-Y

Lantai	hi	δx_e (mm)	δx (mm)	Δ (mm)	Δa (mm)	$\Delta a / \rho$ (mm)	$\Delta \leq \Delta a / \rho$ (mm)
Lantai Atap	4000	53	132,50	5,00	80	80	OK
Lantai 11	4000	51	127,50	8,00	80	80	OK
Lantai 10	4000	47,8	119,50	10,00	80	80	OK
Lantai 9	4000	43,8	109,50	11,25	80	80	OK
Lantai 8	4000	39,3	98,25	13,00	80	80	OK
Lantai 7	4000	34,1	85,25	13,75	80	80	OK
Lantai 6	4000	28,6	71,50	13,25	80	80	OK
Lantai 5	4500	23,3	58,25	15,50	90	90	OK
Lantai 4	4500	17,1	42,75	16,50	90	90	OK
Lantai 3	4500	10,5	26,25	16,00	90	90	OK
Lantai 2	5000	4,1	10,25	10,25	100	100	OK

VI. PERHITUNGAN STRUKTUR PRIMER

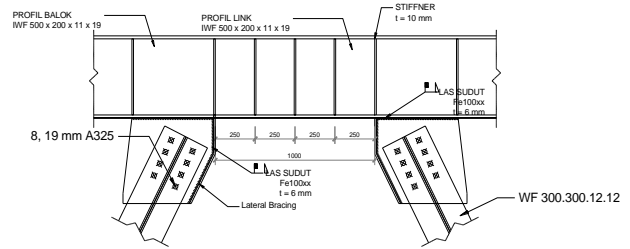
A. Link

Balok link direncanakan menggunakan profil WF 500 x 200 x 11 x 19. Hasil dari output ETABS 2013 diperoleh gaya dalam sebesar:

$e = 100 \text{ cm} < 1,6 \cdot M_p / V_p = 127,53 \text{ cm}$
 $\alpha = 0,024 \text{ radian} < \alpha_{maks} = 0,08 \text{ radian}$
 $V_u = 56005,17 \text{ kg} < \phi V_n = 68498 \text{ kg}$

Untuk pengaku dengan panjang $link < 1,6 \cdot M_p / V_p$, harus direncanakan memiliki pengaku antara. Untuk $\alpha = 0,024$ radian maka:

Dipasang pengaku antara dengan jarak 25 cm.



Gambar 5. Elemen link dan pengaku

B. Balok diluar Link

Balok link direncanakan menggunakan profil WF 500 x 200 x 10 x 16. 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 $R_y \cdot V_n$.

Kontrol interaksi geser lentur yang terjadi:

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi \cdot V_n} \leq 1,375$$

1,012 \leq 1,375 (OK)

C. B्रेसing

B्रेसing direncanakan menggunakan profil WF 300 x 300 x 12 x 12. Berdasarkan SNI 03-1729-2002 Pasal 15.13.6.1, kuat kombinasi- aksial- dan lentur perlu pada batang b्रेसing harus sebesar 1,25 $R_y \cdot V_n$.

$V_u = 1,25 \cdot R_y \cdot V_n$
 $= 1,25 \cdot 1,5 \cdot (0,6 \cdot 2500 \cdot (50,6 - 2 \cdot 1,9) \cdot 1,1)$
 $= 144787,50 \text{ kg}$

$P_u \text{ tekan} = \frac{V_u}{\sin \alpha} = \frac{144787,5}{\sin 60,95^\circ} = 165630,95 \text{ kg}$
 $P_u \text{ tarik} = \frac{V_u}{\cos \alpha} = \frac{29144787,5}{\sin 60,95^\circ} = 298135,71 \text{ kg}$

B्रेसing tarik

$\phi_c P_n = 0,9 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_g$
 $= 0,9 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 107,7 = 363487,5 \text{ kg}$
 $\phi_c P_n > P_u \rightarrow 363487,5 \text{ kg} > 298135,71 \text{ kg}$ (OK)

B्रेसing tekan

$\phi_c P_n = 0,85 \cdot 1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot A_g / F_{cr}$
 $= 0,85 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 107,7 / 1,35$
 $= 328571,57 \text{ kg}$
 $\phi_c P_n > P_u \rightarrow 328571,57 \text{ kg} > 165630,95 \text{ kg}$ (OK)

D. Balok

Balok direncanakan menggunakan profil WF 500 x 200 x 11 x 19. Dari output ETABS 201300 diperoleh gaya dalam yang dipakai dalam desain adalah:

$M_u = 40151,19 \text{ kg.m} \geq \phi M_n = 55395 \text{ kg.m}$
 $V_u = 31399,88 \text{ kg} \geq \phi V_n = 129789 \text{ kg}$
 $f^0 = 0,9 \text{ cm} \leq f_{ijin} = 2,22 \text{ cm}$

E. Kolom

Kolom lantai 1 direncanakan menggunakan CFT profil HSS 650x650x25x25, seperti pada gambar 6 berikut:

Momen nominal:

$\phi_b \cdot M_n > M_u = 261000 \text{ kg.m} \geq 51990,53 \text{ kg.m}$ (OK)

Kontrol Interaksi:

$\frac{P_r}{P_c} + \frac{P_r}{\phi \times P_n} = \frac{858072,344}{0,9 \times 240800} = 0,396 \geq 0,2$

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

$$\frac{858072,344}{2167200} + \frac{8}{9} \times \left(\frac{19113,47}{261000} + \frac{84860,89}{261000} \right) = 0,75 \leq 1$$



Gambar 6. Penampang kolom CFT Profil 650.650.25.25.

Hasil seluruh perhitungan struktur primer akan disajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitungan struktur primer

Elemen	Dimensi
Link balok luar link Lt.2-5	WF 500.200.11.19
Link balok luar link Lt.6-59	WF 450.200.9.14
Link balok luar link Lt.10-12	WF 450.200.8.13
Bresing Lt.2-5	WF 300.300.12.12
Bresing Lt.6-12	WF 250.250.14.14
Balok Induk Lt.2-5	WF 500.200.11.19
Balok Induk Lt.6-9	WF 450.200.9.14
Balok Induk Lt.10-12	WF 450.200.8.13
Kolom Lt 1-5	HSS 650.650.25.25
Kolom Lt 6-9	HSS 550.550.25.25
Kolom Lt 10-12	HSS 500.500.25.25

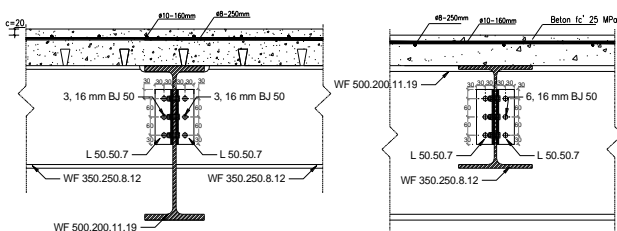
6.1 Sambungan

6.1.1 Sambungan Struktur Sekunder

Pada perencanaan sambungan, direncanakan baut dengan mutu $f_u^b = 5000 \text{ kg/cm}^2$ dan $f_u^b = 5500 \text{ kg/cm}^2$, pelat penyambung profil siku dengan mutu BJ-41. Hasil perhitungan sambungan struktur sekunder tersaji pada tabel 10.

Tabel 10. Sambungan struktur sekunder

Elemen	Profil Siku	D (mm)	f_u^b (kg/cm ²)	n (bh)	
BA1-BI 1	Badan BA1	L50.50.7	16	5000	3
(It 2-4)	Badan BI 1	L50.50.7	16	5000	6
BA1-BI 1	Badan BA1	L50.50.7	12	5500	4
(It 5)	Badan BI 1	L50.50.7	16	5500	8
BA1-BI 1	Badan BA1	L50.50.7	12	5000	3
(It 6-9)	Badan BI 1	L50.50.7	16	5000	6
BA1-BI 1	Badan B.A	L50.50.5	12	5000	2
(It 10-12)	Badan B.I	L50.50.5	12	5000	4
Balok utama	B.Utama	L45.405.4	12	5000	1
tangga - penumpu	Tangga				
tangga - penumpu	Badan				
tangga - penumpu	B.Penumpu	L40.40.4	12	5000	1
tangga - penumpu	Tangga				
tangga - penumpu	Badan				
tangga - penumpu	B.Penumpu	L40.40.4	8	5000	2
tangga - penumpu	Tangga				
kolom	Sayap kolom	L40.40.4	8	5000	2



Gambar 7. Sambungan balok anak & balok induk.

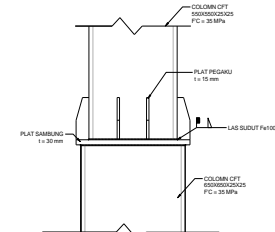
6.1.2 Sambungan Struktur Primer

Pada perencanaan sambungan, direncanakan baut dengan mutu $f_u^b = 8250 \text{ kg/cm}^2$, Mutu las FE100XX, dan pelat

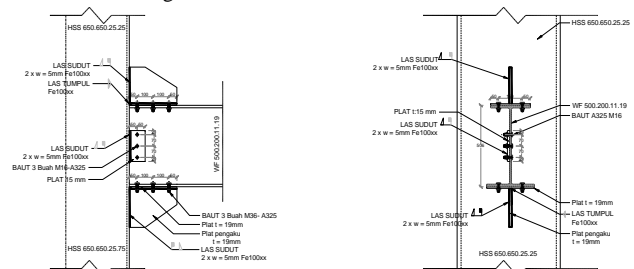
penyambung mutu BJ-41. Sambungan pada struktur primer direncanakan dengan sambungan kaku (*rigid connection*) dimana sambungan memikul beban geser P_u dan momen M_u . Hasil perhitungan sambungan struktur primer tersaji pada tabel 11.

Tabel 11. Sambungan struktur primer

Elemen	Jenis Profil	D (mm)	n (buah)	Las (mm)
Kolom CFT 650.650.25.25	Pelat t =30 mm, pelat pengaku t =15 mm	-	-	5
Kolom CFT 550.550.25.25	Pelat t =.30 mm, pelat pengaku 15 mm	-	-	5
BI lt 2-4 - kolom	Pelat t : 15 mm dan 19 mm	Badan: 16 Sayap: 36	Badan: 3 Sayap:6	5
BI lt.5-kolom	Pelat t: 10 mm dan 15 mm	Badan:16 Sayap: 30	Badan: 3 Sayap:8	5
BI lantai 6 -12 kolom	Pelat t : 10 mm dan 14 mm	Badan: 16 Sayap: 24	Badan: 2 Sayap:12	5
Kolom-Basplate	BMK-17	22	8	6
Bressing WF 300.300.12.12	Pelat t :18 mm	19	8	6
Bressing WF 250.250.14.14	Pelat t :18 mm	19	6	6



Gambar 8. Sambungan kolom HSS 650x650x25x25.



Gambar 9. Sambungan balok utama dengan kolom.

VII. PERHITUNGAN STRUKTUR BAWAH

Perencanaan dinding penahan tanah (*Retaining Wall*)

Pada studi ini karakteristik *solder pile* yang dipakai adalah sebagai berikut:

- Diameter tiang : 600 mm
- Kuat tekan beton (f'c) : 30 MPa
- Kuat leleh tul geser : 400 MPa
- Kuat leleh tul lentur : 16 MPa
- Diameter tul geser : 13 mm
- Decking : 75 mm

Pengecekan luas penampang minimum profil

Pengecekan tulangan menggunakan alat bantu spColumn, didapat:

$$M_{uX} = 169,39 \text{ kN.m}$$

Perhitungan geser *solder pile*

Nilai $V_u = 31,86 \text{ ton} = 318,6 \text{ kN}$

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (\text{SNI } 2847:2013 \text{ Ps } 11.1.1)$$

Cek terhadap keperluan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$318,6 \text{ kN} \leq 49825,61 \text{ kN}$$

$Vu \leq \phi Vc$, tidak perlu tulangan geser

Spasi maksimum tulangan spiral

digunakan spasi = 120 mm.

Maka, pada perencanaan *solder pile* dengan diameter 0,6m ini digunakan tulangan geser D13 – 120 mm

7.1 Perencanaan pondasi *bored pile*

Perencanaan pondasi pusat perbelanjaan *Jogja Town Square* ini menggunakan data-data sebagai berikut:

- Q_w : 5187,42 kN
- Mutu beton ($f'c$) : 35 MPa = 35000 kN/m

Perencanaan diameter tiang

$$Ds = 2,257 \sqrt{\frac{Q_w}{f'c}} = 2,257 \sqrt{\frac{5187,42}{35000}} = 0,87$$

D_s yang digunakan untuk perencanaan = 1m

$$D_{bell} = 2,5 D_s = 2,5 \text{ m}$$

Perhitungan daya dukung *bored pile*

Tabel 12.
Data tanah proyek *Jogja Town Square*

H m	Jenis tanah	NSPT				Perkiraan harga ϕ
		rata-rata	Cu	γ_{sat}	γ'	
		m	t/ m ²	t/ m ²	t/ m ²	°
0-12	Pasir sedang hingga kasar, berlanau, berkerkil agak menyudut terdapat boulder, warna abu-abu kecokelatan	41,17	0	1,8	0,8	38
12-19	Pasir kasar berkerkil menyudut tanggung, warna keabu-abuan	49	0	1,9	0,9	40
19-24	Pasir halus hingga sedang warna abu-abu kehitaman.	53,6	0	2,2	1,2	41
24-30	Pasir kasar berkerkil menyudut.	60	0	2,3	1,3	41

Menghitung daya dukung :

$$Q_u = Q_e + Q_s$$

a. Daya dukung diujung tiang (Q_e)

Direncanakan titik ujung *bored pile* berada di tanah pasir dengan kedalaman -21,00, dengan nilai $Cu = 0 \text{ t/m}^2$

$$Q_{e \text{ pasir}} = AP \times Q' \times (NQ - 1)$$

$$= 4,91 \times 40,85 \times 150 = 30063,05 \text{ kN}$$

b. Daya dukung pada selimut tiang (Q_s)

- Untuk kedalaman 1 m s.d. -12 m
 $Q_{s \text{ pasir 1}} = \pi Ds (1 - \sin \Phi) \gamma v' \text{tg} \delta dz$
 $= \pi \times 1 \times (1 - \sin 38^\circ) \times 324 \times \tan 38^\circ = 185,11 \text{ kN}$
- Untuk kedalaman -12 m s.d. -19 m
 $Q_{s \text{ pasir 2}} = \pi Ds (1 - \sin \Phi) \gamma v' \text{tg} \delta dz$
 $= \pi \times 1 \times (1 - \sin 40^\circ) \times 232,75 \times \tan 40^\circ = 131,11 \text{ kN}$
- Untuk kedalaman -19 m s.d. -24 m
 $Q_{s \text{ pasir 3}} = \pi Ds (1 - \sin \Phi) \gamma v' \text{tg} \delta dz$
 $= \pi \times 1 \times (1 - \sin 41^\circ) \times 150 \times \tan 41^\circ = 83,73 \text{ kN}$

$$Q_{s \text{ total}} = Q_{s \text{ pasir 1}} + Q_{s \text{ pasir 2}} + Q_{s \text{ pasir 3}}$$

$$= 185,11 + 131,11 + 83,73 = 399,95 \text{ kN}$$

Maka, $Q_u = Q_e + Q_{s \text{ total}}$
 $= 30063,05 \text{ kN} + 399,95 \text{ kN} = 30463 \text{ kN}$

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{30463}{3} = 10154,33 \text{ kN}$$

$$Q_{ijin} > Q_w$$

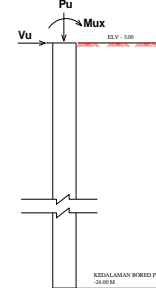
$$10154,33 \text{ kN} > 5187,42 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

Perhitungan tulangan *bored pile*

A. Base reaction pada perletakan *bored pile*

Dari permodelan menggunakan ETABS dengan kombinasi tegangan ijin 1D+ 1L+ 1E pada faktor reduksi (R) sebesar 1,6 didapatkan reaksi pada perletakan *bored pile* sebagai berikut (gambar 10)

$$P_u: 5187,42 \text{ KN} \quad M_{u_x}: 1815,34 \text{ KN.m} \quad V_u: 660,3 \text{ KN}$$



Gambar 10. Reaksi yang terjadi pada *bored pile*.

B. Permodelan *bored pile*

Bored pile dimodelkan dengan SAP 2000, dengan memasukkan nilai K_{spring} sesuai jenis tanah pada lokasi yang ditinjau. Nilai K_{spring} horizontal 256000 kN/m. (Sumber: Bowles, 1960)

Tabel 13.

Nilai K_{sv} , K_v , K_{sh} , K_H pada perencanaan pondasi *bored pile*

Depth (m)	N	Soil Type	Consistency	k_{sv} (kN/m ³)	k_v (kN/m)	k_{sh} (kN/m ³)	k_H (kN/m)
1	41	Pasir	dense	128000,0	402123,9	256000,0	256000,0
2	41	Pasir	dense	128000,0	402123,9	256000,0	256000,0

Menentukan letak titik jepit

Posisi titik jepit tiang terhadap sebuah tiang pondasi (z_f) dicari dengan memasukkan gaya lateral akibat gempa sehingga didapatkan titik *inflexion* (titik momen = 0) seperti pada gambar berikut:



Gambar 11. Diagram momen akibat gaya lateral dan nilai z_f pada kedalaman 6,93 m hasil program bantu SAP 2000

C. Perhitungan momen dan aksial yang terjadi pada *bored pile*

Berdasarkan output program bantu SAP 2000 didapatkan nilai : Momen maksimum pada *bore pile* sebesar 37,5 ton.m, gaya aksial sebesar 537,38 ton.

D. Perhitungan tulangan longitudinal *bored pile*

Tulangan longitudinal di hitung menggunakan program bantu *spColumn*. *Bored pile* diameter 1m dengan tulangan longitudinal 26D22 dengan rasio 1,28%.

E. Perhitungan tulangan geser *bored pile*

Tulangan geser direncanakan menggunakan tulangan spiral D16.

Cek terhadap keperluan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{0,29 N_u}{A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$86,06 \text{ kN} \leq 148060,5 \text{ kN}$$

$V_u \leq \phi V_c$, tidak perlu tulangan geser

Spasi maksimum tulangan spiral

Maka, pada perencanaan *bored pile* dengan diameter 1 m ini digunakan tulangan geser D16 – 100mm

Kontrol kuat tarik (cabut) bored pile

Pada perencanaan pondasi *bored pile* ini memperhitungkan beban cabut pondasi dari melihat nilai fz pada *joint reaction* pada permodelan struktur yang menggunakan program bantu ETABS terlihat pada tabel berikut:

Story	Joint Label	Load Case/Combo	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Base	26	1D + 1L + 1EX Max	66.0327	25.188	518.7418	54.4671	181.5743	0.2198

Gambar 12. Output ETABS *Joint Reaction*.

Berdasarkan hasil output program bantu ETABS diatas didapat bahwa semua nilai fz dari *joint reaction* tidak ada yang bertanda minus (-), artinya tidak terjadi beban cabut pada pondasi, sehingga tidak diperlukan kontrol:

- Daya dukung *bored pile* akibat beban tarik.
- Perhitungan tulangan akibat beban tarik.

Maka perencanaan pondasi *bored pile* diameter 1 m dengan tulangan longitudinal 26D22, tulangan geser ØD16 – 100 mm memenuhi syarat.

Kontrol kuat nominal kolom dan pondasi bored pile

Dengan program bantu Spcolumn di input beban yang sama sebesar:

$$P_u = 5187,42 \text{ KN} ; \quad M_{u_x} = 1815,34 \text{ KNm}$$

Berdasarkan output program bantu Spcolumn didapat data: Mn Pondasi > Mn Kolom

$$2291,77 \text{ KNm} > 2266,11 \text{ kN.m} \quad (\text{OK})$$

Dapat disimpulkan bahwa pondasi lebih kuat dibanding kolom

7.2 Perencanaan pile cap

Pada perencanaan *pile cap* dalam studi ini, *pile cap* hanya berfungsi sebagai penyalur beban yang diterima oleh *bored pile*. Kolom hanya ditumpu oleh satu *bored pile*, sehingga pada *pile cap* tidak ada momen yang terjadi. Untuk penulangan *pile cap* hanya menggunakan tulangan susut saja perhitungan penulangan sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1.

$$\text{Gaya pada } P_u \text{ kolom} = 732126,60 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 2574658,99 \text{ kg} > P_u = 732126,60 \text{ kg} \dots \text{OK!}$$

Jadi ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser pons akibat kolom.

Penulangan arah X

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{minimum}} = 0,0018$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times d_{\text{eff}} \times b$$

$$= 0,0018 \times 500 \times 414 = 372,6 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan D22-300 ($A_s = 1900 \text{ mm}^2$)

Penulangan arah Y

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{minimum}} = 0,0018$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \times d_{\text{eff}} \times b$$

$$= 0,0018 \times 892 \times 500 = 802,8 \text{ mm}^2$$

Maka, digunakan tulangan D22-300 ($A_s = 1900 \text{ mm}^2$)

7.3 Perencanaan kolom pedestal

1. Data perencanaan kolom :

Dimensi kolom pedestal 900 mm x 900 mm.

$$A_g = 810000 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 24 D22, sengkang D13- 100.

$f'_c = 35 \text{ MPa}$; Selimut beton = 40 mm

2. Data perencanaan pelat lantai *basement*:

Tebal pelat = 25 cm; $f'_c = 35 \text{ MPa}$; $f_y = 400 \text{ MPa}$

Dipasang tulangan D19-250.

Tabel 14 :
Hasil perhitungan struktur bawah

Elemen	Dimensi	Tulangan
Retaining wall	Solder pile Ø 60 cm	Tul.Utama 16D16 Sengkang D13-130
Pondasi	Bored pile Ø 100 cm	Tul.Utama 26D22 Sengkang D16-100
Poer	1,5 m x 1,5 m x 0,5 m	Arah X D22-300 Arah Y D22-300
Pedestal	0,9 m x 0,9 m	Tul.Utama 36D25 Sengkang 2Ø12-300
Pelat basement	Tebal pelat : 25 cm	Tulangan D19-250

VIII. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

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

1. Hasil perhitungan yang dilakukan pada struktur sekunder telah memenuhi syarat SNI 1729:2015.
2. Dari kontrol yang dilakukan (kontrol nilai akhir respon spektrum, kontrol partisipasi massa, kontrol waktu getar alami fundamental, kontrol simpangan (*drift*)) struktur yang direncanakan berada di kota Yogyakarta memenuhi syarat
3. Hasil analisa struktur primer yang dilakukan telah memenuhi syarat SNI 1729:2015..
4. Hasil perhitungan yang dilakukan pada struktur bawah telah memenuhi syarat SNI 2387:2013.

B. Saran

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gideon, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings," Chicago, 1993.
- [2] Budiono, "Perilaku link panjang dengan pengaku diagonal badan pada pada sistim struktur rangka baja tahan gempa," Ban dun g, 2011.
- [3] R. Becker and M. Ishler, "Seismic Design Practice for Eccentrically Braced Frames," 1996.