PERENCANAAN ULANG STRUKTUR GEDUNG KANTOR CABANG BRI DIPONEGORO SURABAYA MENGGUNAKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN BRESING KONSENTRIK TIPE *INVERTED* V

Muhammad Donny Al Rizky[1], Muhammad Imaduddin[2]

[1,2]*Universitas Negeri Surabaya, Surabaya 60231, Indonesia*
Email : muhammaddonny.21015@mhs.unesa.ac.id[1], muhammadimaduddin@unesa.ac.id[2]

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah penduduk di kawasan perkotaan mendorong pembangunan gedung secara vertikal sehingga diperlukan sistem struktur yang mampu menjamin keamanan dan ketahanan terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan merencanakan ulang struktur Gedung Kantor Cabang BRI Diponegoro Surabaya dari 5 lantai menjadi 20 lantai menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) beton bertulang dengan perkuatan bresing konsentrik tipe *Inverted* V. Perencanaan mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan SNI 7860:2020. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS melalui pemodelan tiga dimensi dengan mempertimbangkan beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa respons spektrum. Hasil perencanaan menghasilkan pelat lantai setebal 12 cm, dimensi balok induk 50 × 70 cm, balok anak 30 × 50 cm, kolom 100 × 100 cm, serta bresing baja tipe *Inverted* V dengan profil 300.305.15.15 untuk arah X dan 250.255.14.14 untuk arah Y. Sambungan bresing direncanakan menggunakan baut berdiameter ¾ inci, las setebal 6mm, dan angkur "J" M24 yang memenuhi syarat desain kapasitas. Penggunaan bresing menghasilkan simpangan antar lantai maksimum sebesar 9,08 mm di bawah batas izin, sehingga struktur memenuhi persyaratan ketahanan terhadap beban gempa.

Kata Kunci : *SRPMK, Bresing Konsentrik Inverted V, ETABS, Desain Kapasitas, Ketahanan Gempa.*

ABSTRACT

The growing population in urban areas has driven the construction of high-rise buildings, necessitating structural systems capable of ensuring safety and resistance to seismic loads. This study aims to redesign the structure of the BRI Diponegoro Branch Office Building in Surabaya from 5 stories to 20 stories using a Special Moment-Resisting Frame System (SRPMK) made of reinforced concrete with Inverted V-type concentric bracing. The design complies with SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, and SNI 7860:2020. Structural analysis was performed using ETABS software through three-dimensional modeling, taking into account gravity loads, wind loads, and seismic response spectrum loads. The design results yielded a 12 cm thick floor slab, main beams measuring 50 × 70 cm, secondary beams measuring 30 × 50 cm, columns measuring 100 × 100 cm, and inverted V-type steel bracing with a profile of 300.305.15.15 in the X direction and 250.255.14. 14 for the Y-direction. The bracing connections are designed using ¾-inch bolts, 6 mm-thick welds, and M24 "J"-type anchors that meet the design capacity requirements. The use of bracing results in a maximum inter-story deflection of 9.08 mm, which is below the allowable limit; therefore, the structure meets the seismic resistance requirements.

Keywords : *SRPMK, Inverted V Concentric Bracing, ETABS, Design Capacity, Seismic Resistance*

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan dua pertiga wilayahnya terdiri dari perairan memiliki tantangan unik terkait kebutuhan lahan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia menempati peringkat ke empat negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia. Perkiraan jumlah penduduk Indonesia pada pertengahan tahun 2024 mencapai 281.603.310 jiwa atau sekitar 3,47% dari total penduduk dunia. Dengan situasi ini, keterbatasan lahan di wilayah perkotaan juga akan semakin meningkat dan mendorong pembangunan gedung secara vertikal untuk memenuhi kebutuhan lahan seperti hotel, perkantoran, dan fasilitas publik lainnya.

Seiring meningkatnya pembangunan gedung bertingkat, aspek ketahanan terhadap gempa harus diperhatikan dalam perencanaannya. Terletak di wilayah Cincin Api Pasifik, Indonesia sering mengalami gempa bumi, salah satunya gempa berkekuatan 6,5 magnitudo yang terjadi di 130 kilometer timur laut Tuban, Jawa Timur dan dirasakan hingga Surabaya pada Maret 2024. (Suarasurabaya, 2024). Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya penerapan desain bangunan tahan gempa sesuai SNI 1726:2019, khususnya di Surabaya yang memiliki banyak bangunan tinggi dan penting. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan perencanaan ulang struktur Gedung Kantor Cabang BRI Diponegoro Surabaya dari 5 lantai menjadi 20 lantai sebagai upaya efisiensi lahan sekaligus bentuk simulasi gedung tinggi.

Salah satu sistem struktur yang umum digunakan untuk desain tahan gempa yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) beton bertulang. Sistem ini memiliki daktilitas tinggi, ditandai dengan terbentuknya sendi plastis pada balok dan ujung kolom sehingga mampu menyerap energi gempa dan mencegah keruntuhan secara tiba-tiba. (Naratama *et al.*, 2014). Namun, pada gedung bertingkat tinggi, SRPMK sering memerlukan penampang dan tulangan besar untuk memenuhi batas simpangan antar lantai. Oleh karena itu, penambahan bresing baja menjadi alternatif untuk meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi simpangan tanpa membesarkan elemen struktur.(Tumpu *et al.*, 2023).

Bresing berfungsi menahan gaya lateral kibat gempa sekaligus berperan dalam mengurangi simpangan antar lantai (*drift*) yang berlebihan. Tanpa elemen pengaku seperti bresing, struktur cenderung mengalami simpangan yang besar. (Richard *et al.*, 2021). Salah satu tipe bresing yang umum digunakan yaitu Bresing Konsentrik atau *Concentrically Braced*, yaitu sistem bresing dengan sumbu elemen bertemu pada satu titik sehingga membentuk rangka batang yang efektif dalam menahan gaya lateral. (Supandi, 2021).

Efektifitas penggunakan bresing baja pada struktur beton telah dibuktikan melalui berbagai penelitian. Kalibhat *et al.* (2014) membandingkan struktur tanpa bresing dengan menggunakan bresing konsentrik tipe X dan *Inverted* V. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan bresing konsentrik X mampu menahan *base shear* lebih tinggi, sedangkan bresing *Inverted* V lebih baik dalam mengontrol *story drift* dan menghasilkan *displacement* yang lebih kecil. Selain itu, Aryandi dan Herbudiman (2017) menunjukkan bawa konfigurasi bresing konsentrik *Inverted* V memiliki perilaku yang lebih daktail dan fleksibel dalam dispasi energi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bresing konsentrik mampu meningkatkan kekakuan dan kinerja seismik struktur beton bertulang.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, bresing konsentrik dipilih karena efektif dalam mengendalikan *story drift*, sehingga sesuai diterapkan pada bangunan 20 lantai. Oleh karena itu dalam penelitian ini, dilakukan perencanaan ulang menggunakan SRPMK beton bertulang dengan

perkuatan bresing konsentrik tipe *Inverted* V untuk ketahanan terhadap beban lateral sekaligus mempertahankan stabilitas struktur.

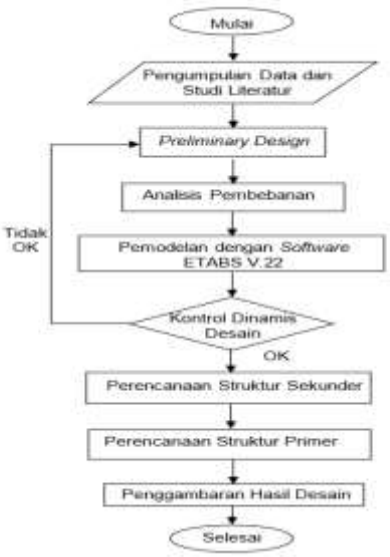
Meninjau dari pendahuluan dapat diambil rumusan masalah seperti berikut:

1. Bagaimana hasil perencanaan struktur atas gedung 20 lantai menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus beton yang diperkuat Bresing Konsentrik tipe *Inverted* V?
2. Bagaimana performa struktur akibat beban lateral seperti simpangan antar lantai (*drift*), gaya geser dasar, efek P-Delta, dan syarat sistem ganda pada struktur?

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu merencanakan struktur atas gedung 20 lantai menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus beton yang diperkuat Bresing Konsentrik *Inverted* V dan menganalisis performa respons dinamis struktur seperti simpangan antar lantai (*drift*), gaya geser dasar, efek P-Delta, dan syarat sistem ganda dalam menahan beban gempa berdasarkan hasil pemodelan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan analisis simulasi numerik. Pendekatan kuantitatif digunakan dalam bentuk pengolahan data numerik hasil pemodelan struktur menggunakan program bantu ETABS V22. Diagram alir penelitian ini sebagai berikut:

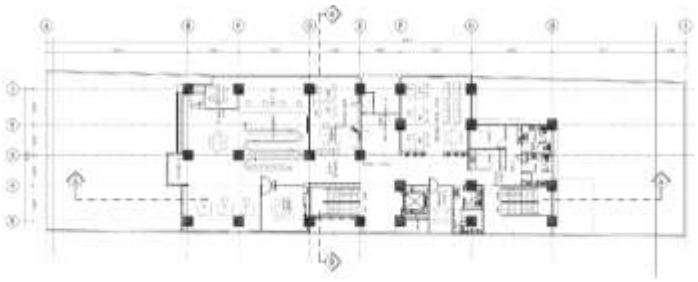


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

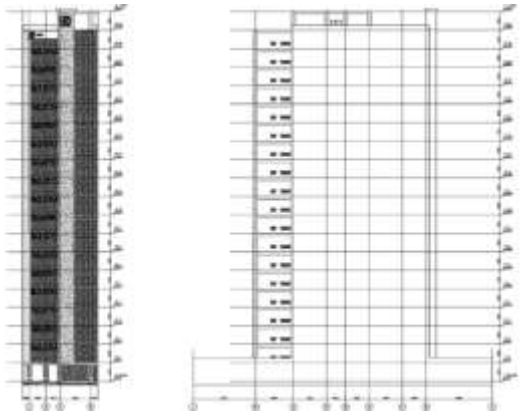
1. Pengumpulan data dan studi literatur
   Data dapat berupa gambar, data tanah, landasan acuan perhitungan, dan buku yang terkait. Adapun data perencanaan gedung yang digunakan yaitu:
   - Nama gedung : Kantor Cabang BRI Diponegoro Surabaya
   - Lokasi : Jl. Diponegoro No.174 Surabaya
   - Fungsi : Gedung perkantoran
   - Jumlah lantai : 19 lantai dan 1 *top roof*
   - Tinggi keseluruhan: 80 meter

- Mutu beton : Kolom *f'c* 30 MPa, Balok *f'c* 25 MPa, dan Pelat *f'c* 25 MPa
- Mutu penampang bresing: BJ37 (*fy* = 240 MPa, *fu* = 370 MPa)
- Mutu tulangan : 280 MPa (tulangan polos), 420 MPa (tulangan sirip)

2. Analisis pembebanan
   Pembebanan pada gedung ini digunakan standar pada SNI 1727:2020 dan data material terbaru.
3. Pemodelan struktur
   Struktur dimodelkan secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak ETABS dengan menerapkan standard pada SNI 1726:2019 serta memperhitungkan beban gravitasi, beban angin, dan beban gempa respons spektrum.
4. Kontrol dinamis pemodelan
   Tinjauan kontrol dinamis terdiri dari kontrol partisipasi massa, periode fundamental struktur, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, efek P-Delta, dan kontrol sistem ganda.
5. Analisis struktur
   Perhitungan kapasitas struktur sekunder dan struktur primer dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 untuk struktur beton bertulang dan SNI 1729:2020 untuk struktur baja setelah mendapatkan gaya dalam dari ETABS dan *SPColumn*.
6. Penggambaran *output* desain
   Pada tahap ini, penggambaran struktur sesuai dengan hasil perhitungan.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Denah Tipikal Gedung; (b) Tampak Gedung

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang perhitungan struktur dari penentuan dimensi, analisis pembebanan, analisis pemodelan, hingga analisis struktur.

Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahap awal untuk menentukan dimensi struktur yang digunakan dalam program analisis struktur seperti ETABS. *Preliminary design* pada penelitian ini yaitu:

1. Struktur sekunder
   - Pelat tangga dan bordes = 15 cm
   - Balok anak (BA) = 35 x 50 cm
   - Balok *lift* (BL) = 30 x 40 cm
   - Balok kantilever (BK) = 30 x 40 cm
   - Pelat lantai dan atap = 12 cm
2. Struktur primer
   - Balok induk (BI 1) = 50 x 70 cm
   - Balok induk (BI 3) = 40 x 60 cm
   - Kolom lt. 1-8 (K1) = 100 x 100 cm
   - Kolom lt. 9-20 (K2) = 85 x 85 cm
   - Bresing arah X = H-300.305.15.15
   - Bresing arah Y = H-250.255.14.14

Analisis Pembebanan

Beban yang digunakan pada pemodelan struktur, disajikan dalam tabel-tabel berikut:

Tabel 1. Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup

Beban Mati Tambahan	Nilai	Beban Hidup	Nilai
Total beban mati tambahan pada pelat lantai	1,11 kN/m^2	Koridor diatas lt. dasar	3,83 kN/m^2
Total beban mati tambahan pada pelat atap	0,44 kN/m^2	Ruang penyimpanan	6,00 kN/m^2
Berat dinding bata (h=4m)	3,03 kN/m	Ruang arsip	4,79 kN/m^2
Berat dinding partisi	0,19 kN/m^2	Panggung pertemuan	4,79 kN/m^2
Beban terpusat lift (Spesifikasi Hyundai)	132,75 kN	Jalur akses pemeliharaan	1,92 kN/m^2
		Ruang kantor	2,40 kN/m
		Atap datar	0,96 kN/m^2

Sumber: SNI 1727:2020

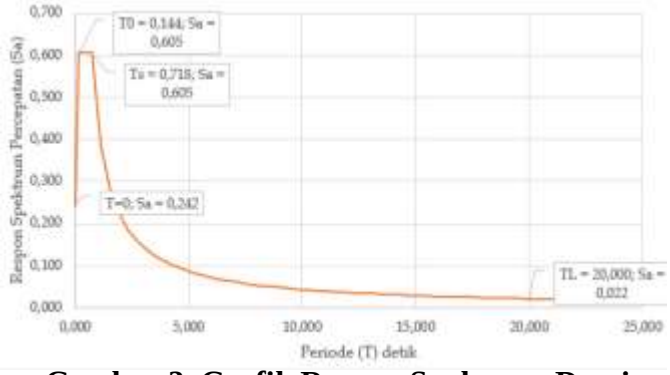
Tabel 2. Beban Gempa

Parameter Beban Gempa	Nilai	Parameter Beban Gempa	Nilai
Klasifikasi situs (data tanah, N=16,53)	SD	Faktor amplifikasi periode pendek (F_a)	1,196
Kategori risiko	II	Faktor amplifikasi periode 1 detik (F_v)	1,969

Faktor keutamaan (I_e)	1	Transisi peiode panjang (TL)	20 detik
Parameter respon spektrum MCER periode pendek (S_s)	0,759	Percepatan desain periode pendek (S_{DS})	0,605
Parameter respon spektrum MCER periode 1 detik (S_1)	0,331	Percepatan periode 1 detik (S_{D1})	0,435
		Kategori desain seismik	KDS D

Sumber: SNI 1726:2019

Penelitian yang dilakukan oleh Marcella dan Christianto (2022) menyebutkan nilai modifikasi respon (R) = 7,4; faktor kuat lebih (Ω_0) = 3; dan faktor pembesaran defleksi (C_d) = 1,2 untuk rangka struktur beton dengan bresing baja.



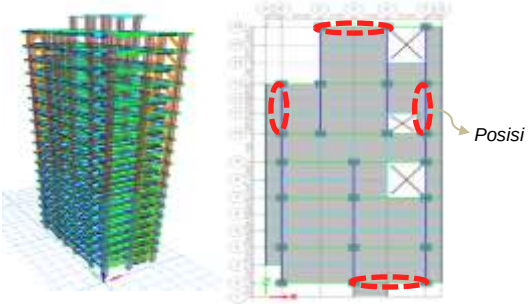
Gambar 3. Grafik Respon Spektrum Desain

Tabel 3. Beban Angin

Parameter Beban Angin	Nilai	Parameter Beban Angin	Nilai
Kategori risiko	II	Faktor tiupan angin (G)	0,85
Kecepatan angin Surabaya	23 m/s	Koef. tekanan internal (GC_{pi})	+0,18
			-0,18
Faktor arah angin (K_d)	0,85	Koef. tekanan eksternal (C_p)	
Kategori eksposur	B	C_p (untuk sisi angin datang)	+0,8
Faktor topografi (K_{zt})	1	C_p (untuk sisi angin pergi)	-0,5
		C_p (untuk sisi angin tepi)	-0,7

Sumber: SNI 1727:2020

Kontrol Dinamis Struktur



Gambar 4. Desain ETABS Pemodelan

1. Kontrol partisipasi massa
   Partisipasi massa terpenuhi pada modal ke-7 dan modal ke-8, dengan partisipasi massa arah X sebesar 0,9150 dan arah Y sebesar 0,9197. Hasil tersebut telah memenuhi syarat SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1, yang mana massa aktual masing-masing arah minimal 90%.
2. Periode fundamental struktur
   Gerak struktur pada mode pertama translasi arah X dengan periode 3,166 detik, mode kedua translasi arah Y dengan periode 2,542 detik , dan mode ketiga rotasi sebesar 0,7131.
   Kontrol gerak periode fundamental struktur:
   C_u = 1,4
   C_t = 0,0488
   x = 0,75
   h_n = 80 meter
   - $T_a = C_t \cdot h_n^x = 0{,}0488 \times 80^{0,75} = 1{,}305$ detik
   - $T_{max} = C_u \cdot T_a = 1{,}4 \times 1{,}305 = 1{,}828$ detik
   - Kontrol arah X
     $T_a < T_cX < T_{max}$
     1,305 < 3,166 < 1,828
     Dipakai 1,828 pada gaya geser dasar
   - Kontrol arah Y
     $T_a < T_cY < T_{max}$
     1,305 < 2,542 < 1,828
     Dipakai 1,828 pada gaya geser dasar

   Hasil dari pemodelan melebihi nilai T_{max}, hal ini diperbolehkan menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 dengan syarat simpangan antar lantai terpenuhi.
3. Gaya geser dasar (*base shear*)
   SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1.1, mensyaratkan gaya geser dasar dinamik pada setiap arah harus sama dengan gaya geser dasar statis (Vdinamik ≥ 100% Vstatik). Nilai Vstatik dicari dengan persamaan berikut:
   - $C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{Ie}\right)} = \frac{0{,}435}{1{,}828 \times \left(\frac{7{,}4}{1}\right)} = 0{,}0321$
   - Berat struktur (W) = 123541,58 kN (Didapat dari ETABS)
   - Vstatik = $C_s \cdot W$
     = 0,0321 x 123541,58 = 3969,15 kN
   - Vdinamik arah X = 3969,15 kN
   - Vdinamik arah Y = 3969,15 kN
   - Kontrol
     Vdinamik ≥ 100% Vstatik
     3969,15 kN ≥ 3969,15 kN .....OK

   Hasil Vdinamik dari analisis ETABS tersebut, sudah dilakukan *scale faktor*
4. Simpangan antar tingkat
   SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1 menjelaskan bahwa simpangan antar tingkat tidak boleh melebihi batas izin masing-masing arah. Batas izin dicari dengan persamaan berikut:
   h_x = 4000 mm (tinggi tiap lantai)

ρ = 1,3 (Untuk KDS D)

- $\Delta_a = 0{,}020h_x$ (Kategori risiko II)
  $= 0{,}020 \times 4000 = 80$ mm
- $\Delta_{izin} = \frac{\Delta_a}{\rho} = \frac{80}{1{,}3} = 61{,}54$ mm

Tabel 4 *Kontrol Simpangan Antar Tingkat*

Lt.	H	*Displacement*		*Elastic Drift*		*Inelastic Drift*		*Limit*	Cek
		δ_{ex}	δ_{ey}	δ_{xe}	δ_{ye}	Δ_x	Δ_y	Δ_{izin}	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
20	4000	130,10	86,30	4,20	3,98	5,04	4,78	61,54	OK
19	4000	125,90	82,31	4,77	2,83	5,72	3,40	61,54	OK
18	4000	121,13	79,48	5,78	3,07	6,94	3,69	61,54	OK
17	4000	115,35	76,41	6,28	3,45	7,53	4,14	61,54	OK
16	4000	109,07	72,96	6,63	3,77	7,96	4,52	61,54	OK
15	4000	102,44	69,19	6,91	4,04	8,30	4,85	61,54	OK
14	4000	95,52	65,15	7,13	4,28	8,55	5,13	61,54	OK
13	4000	88,39	60,87	7,29	4,48	8,74	5,38	61,54	OK
12	4000	81,11	56,39	7,40	4,65	8,88	5,58	61,54	OK
11	4000	73,71	51,74	7,47	4,79	8,96	5,75	61,54	OK
10	4000	66,24	46,95	7,51	4,92	9,01	5,90	61,54	OK
9	4000	58,74	42,03	7,57	5,07	9,08	6,08	61,54	OK
8	4000	51,17	36,96	7,47	5,04	8,96	6,05	61,54	OK
7	4000	43,70	31,92	7,45	5,14	8,94	6,16	61,54	OK
6	4000	36,25	26,78	7,40	5,20	8,88	6,24	61,54	OK
5	4000	28,85	21,58	7,28	5,21	8,74	6,25	61,54	OK
4	4000	21,56	16,38	7,03	5,13	8,44	6,16	61,54	OK
3	4000	14,53	11,25	6,53	4,89	7,84	5,87	61,54	OK
2	4000	8,00	6,36	5,39	4,21	6,47	5,05	61,54	OK
1	4000	2,61	2,15	2,61	2,15	3,13	2,58	61,54	OK

5. Kontrol efek P-Delta

Efek P-Delta terhadap momen, gaya geser, dan simpangan dapat diabaikan apabila pada masing-masing arah memiliki koefisien kestabilan (θ) < 0,10.

Tabel 5. Kontrol Efek P-Delta

Lt.	Inelastic Drift		Story Force			Koef. Stabilitas		Limit	Cek
	Δ_x (mm)	Δ_x (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)	θ_x	θ_y	θ	
20	130,10	86,30	575,59	139,3	117,84	0,004	0,005	0,10.	OK
19	125,90	82,31	5176,78	664,5	597,48	0,009	0,006	0,10.	OK
18	121,13	79,48	12514,5	1176,52	1094,72	0,015	0,009	0,10.	OK
17	115,35	76,41	19858,3	1558,01	1490,13	0,020	0,012	0,10.	OK
16	109,07	72,96	27202,1	1832,31	1796,88	0,025	0,014	0,10.	OK

15	102,44	69,19	34545,9	2026,63	2030,95	0,030	0,017	0,10.	OK
14	95,52	65,15	41889,7	2166,86	2209,50	0,034	0,020	0,10.	OK
13	88,39	60,87	49233,5	2276,29	2348,55	0,039	0,024	0,10.	OK
12	81,11	56,39	56577,4	2372,06	2463,55	0,044	0,027	0,10.	OK
11	73,71	51,74	63921,2	2466,97	2568,10	0,048	0,030	0,10.	OK
10	66,24	46,95	71265	2569,27	2673,80	0,052	0,033	0,10.	OK
9	58,74	42,03	78608,8	2684,05	2788,92	0,055	0,036	0,10.	OK
8	51,17	36,96	85910,6	2821,13	2924,81	0,057	0,037	0,10.	OK
7	43,70	31,92	93813,3	2986,09	3086,89	0,058	0,039	0,10.	OK
6	36,25	26,78	101716	3173,19	3266,40	0,059	0,041	0,10.	OK
5	28,85	21,58	109618,6	3375,05	3453,75	0,059	0,041	0,10.	OK
4	21,56	16,38	117522,8	3578,82	3636,45	0,058	0,042	0,10.	OK
3	14,53	11,25	125427,0	3762,60	3795,91	0,054	0,040	0,10.	OK
2	8,00	6,36	133459,2	3904,75	3916,20	0,046	0,036	0,10.	OK
1	2,61	2,15	141491,4	3969,15	3969,15	0,023	0,019	0,10.	OK

6. Kontrol sistem ganda

   SNI 1726:2019 Pasal 7.2.5.1 memiliki syarat spesifik dimana struktur rangka memikul beban lateral paling sedikit 25%, dan struktur pengaku maksimal 75%. Perhitungannya sebagai berikut:

   - Gaya geser yang diterima bresing
     Fx = 2791,05 kN
     Fy = 2553,94 kN
   - Gaya geser SRPMK + Bresing
     Fx = 4369,64 kN
     Fy = 4050,35 kN
   - Persentase gaya geser Bresing
     Gempa x = $\frac{2791,05}{4369,64}$ x 100% = 63,88% ≤ 75 % OK
     Gempa y = $\frac{2553,94}{4050,35}$ x 100% = 63,05% ≤ 75% OK
   - Persentase gaya geser SRPMK
     Gempa x = 1 – 63,88% = 36,12% ≥ 25% .... OK
     Gempa y = 1 – 63,05% = 36,95% ≥ 25% .... OK

   Hasil ini membuktikan bahwa interaksi kekakuan bresing dan daktilitas SRPMK beton berfungsi efektif sebagai sistem ganda. Tujuan SRPMK masih memikul 25% beban gempa yaitu menjaga stabilitas struktur agar tidak runtuh secara tiba-tiba ketika bresing *inverted* V mengalami kegagalan.

Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder merupakan struktur yang tidak dirancang menahan beban gempa.

1. Desain pelat tangga dan bordes

   Dari pemodelan ETABS, didapatkan gaya dalam pelat tangga dan bordes sebagai berikut:

Tabel 6. Gaya Dalam Pelat Tangga dan Bordes

	Momen arah X (kNm)		Momen arah Y (kNm)	
	Max	**Min**	**Max**	**Min**
Pelat tangga	9,56	-20,42	9,56	-20,42
Pelat bordes	5,71	-12,32	5,71	-12,32

Hasil perhitungan pelat tangga diperoleh menggunakan tulangan D13-250 pada tumpuan dan lapangan untuk arah X dan Y. Pada pelat bordes digunakan tulangan D13-300 pada tumpuan dan lapangan untuk arah X dan Y. Sedangkan pada balok bordes dipasang tulangan 4D16 dan tulangan geser Ø10-125 untuk area tumpuan dan lapangan.

2. Desain balok sekunder

Balok sekunder dalam penelitian ini diambil contoh data balok anak (BA1). Sebelum diambil gaya dalam pada balok sekunder dilakukan langkah *View Revies Overwrites>>Framing Type – Nonsway* agar gaya dalam tidak dipengaruhi beban gempa.

Tabel 7. Gaya Dalam Terbesar Balok Anak

Tipe Balok	(-) atau (+)	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Gaya Geser (kN)
BA 1	(-)	105,51	9,96	130,56
	(+)	65,59	63,15	101,73

Hasil perhitungan pelat sekunder (BA1) diperoleh menggunakan tulangan tumpuan tarik 4D16, tumpuan tekan 3D16, lapangan tarik dan tekan 4D16, serta tulangan tengah 2D13. Tulangan geser tumpuan dan lapangan dipasang Ø10-150.

3. Desain pelat lantai dan atap

Dari pemodelan ETABS, didapatkan gaya dalam pelat lantai dan pelat atap sebagai berikut:

Tabel 8. Gaya Dalam Terbesar Pelat Lantai dan Atap

	Momen arah X (kNm)		Momen arah Y (kNm)	
	Max	**Min**	**Max**	**Min**
Pelat Lantai	5,81	-10,57	4,27	-9,47
Pelat Atap	2,64	-5,35	1,73	-3,02

Hasil perhitungan pelat lantai diperoleh menggunakan tulangan D10-200 pada tumpuan dan D10-250 pada lapangan untuk arah X dan Y. Pada pelat atap digunakan tulangan D10-200 pada tumpuan dan D10-300 pada lapangan untuk arah X dan Y.

Perencanaan Struktur Primer

Struktur primer merupakan struktur paling utama dalam rangka bangunan. Struktur primer ini didesain mampu menahan gaya gempa desain.

1. Desain balok induk

Balok induk terpakai dalam perhitungan digunakan data balok induk dengan dimensi 500/700 mm. Tebal selimut beton 40 mm, dengan tulangan pokok rencana D22, tulangan sengkang 2D13, tinggi efektif 636 mm, dan panjang bersih 7000 mm. Gaya dalam balok induk adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Gaya Dalam Balok Induk

Tipe Balok	(-) atau (+)	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Gaya Geser (kN)
BI 1	(-)	371,82	73,57	236,82
	(+)	182,17	202,03	207,29

a. Tulangan yang dibutuhkan
   - Tulangan tumpuan tarik (-)
     $A_{s\ perlu}$ = 1620,57 mm^2
     n tulangan = $\frac{A_{s\ perlu}}{1/4\pi D^2} = \frac{1620,57}{1/4\pi(22)^2} \approx$ 5 buah
   - Tulangan tumpuan tekan (+)
     $A_{s\ perlu}$ = 1065 mm^2 ($A_{s\ min}$)
     n tulangan = $\frac{A_{s\ perlu}}{1/4\pi D^2} = \frac{1065}{1/4\pi(22)^2} \approx$ 3 buah
   - Tulangan lapangan tarik (+)
     $A_{s\ perlu}$ = 1065 mm^2
     n tulangan = $\frac{A_{s\ perlu}}{1/4\pi D^2} = \frac{1065}{1/4\pi(22)^2} \approx$ 3 buah
   - Tulangan lapangan tekan (-)
     $A_{s\ perlu}$ = 1065 mm^2
     n tulangan = $\frac{A_{s\ perlu}}{1/4\pi D^2} = \frac{1065}{1/4\pi(22)^2} \approx$ 3 buah

   Syarat SRPMK: tulangan tekan ≥ 50% tulangan tarik

b. Cek momen nominal (ΦM_n)
   Untuk analisis mencari momen nominal, balok dianalisis tulangan rangkap dengan mengasumsikan daerah tekan belum luluh dan daerah tarik telah luluh. Didapatkan nilai:
   - Tumpuan tarik (-)
     430,53 kNm ≥ 371,82 kNm...OK
   - Tumpuan tekan (+)
     265,41 kNm ≥ 182,17 kNm...OK
   - Lapangan tarik (+)
     264,55 kNm ≥ 202,03 kNm...OK
   - Lapangan tekan (-)
     264,55 kNm ≥ 73,57 kNm.....OK

c. Momen probable balok (M_{pr})
   Nilai M_{pr} hanya terdapat pada ujung balok (tumpuan), dihitung dengan asumsi baja mencapai 1,25 *fy*. Didapatkan nilai:
   - Daerah tarik (M_{pr}-) = 591,74 kNm
   - Daerah tekan (M_{pr}+) = 363,80 kNm

d. Tulangan geser balok tumpuan
   Selain gaya dalam dari ETABS, pada area tumpuan juga terdapat gaya geser akibat beban gravitasi maksimum (V_g) sebesar 133,83 kN.

- Gaya geser akibat goyangan (V_{sway})
  $V_{sway} = \frac{M_{pr}^{-} + M_{pr}^{+}}{l_n} = \frac{591,74 + 363,80}{7} = 136,51$ kN
- Gaya geser desain (V_e)
  $V_e = V_{sway} + V_g = 136,51 + 133,83 = 270,34$ kN
- Panjang sendi plastis (l_o)
  Panjang sendi plastis diambil sebesar 2h = 1400 mm
- Syarat kuat geser beton (V_c)
  Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 menjelaskan, nilai V_c diambil sebesar 0 jika syarat berikut terpenuhi:
  Cek 1 = $V_{sway} > 0,5V_e$
  $= 136,51$ kN $> 135,17$ kN
  Cek 2 = $Pu < \frac{A_g \cdot f'c}{20}$
  $= 0 < 437500$ N
  Maka V_c tidak diperhitungkan = 0
- Kuat geser tulangan (V_s)
  Direncanakan 2 kaki tulangan D13 dengan spasi 125 mm
  $A_v = 2 \times \frac{\pi \times 13^2}{4} = 265,46$ mm^2
  $V_s = \frac{A_v \cdot f_{yv} \cdot d}{s} = \frac{265,46 \times 420 \times 636}{125} = 567,28$ kN
- Batas spasi
  $s_{max\ 1} = 0,25\ dt = 0,25 \times 636 = 159$ mm
  $s_{max\ 2} = 6db = 6 \times 22 = 132$ mm
  $s_{max\ 3} = 150$ mm
- Kuat geser nominal (ΦV_n)
  $\Phi V_n = 0,75\ (V_c + V_s)$
  $= 0,75\ (0 + 567,27) = 425,46$ kN
- Cek
  $\Phi V_n \geq$ Nilai max. (V_u . V_e)
  425,46 kN $\geq$ 270,34 kN.....OK

e. Tulangan geser balok lapangan
- Batas spasi maksimum untuk sengkang luar sendi plastis yaitu:
  $s_{max} = d/2 = 636/2 = 318$ mm

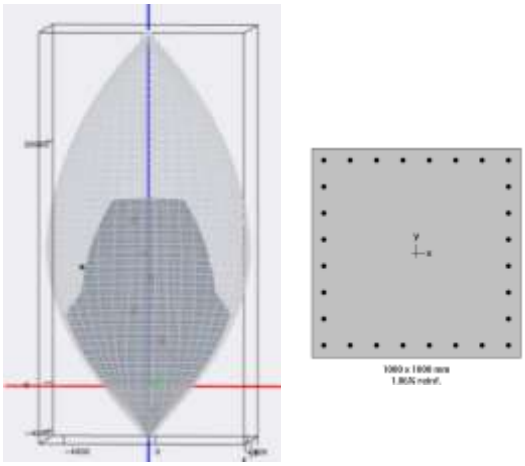
Direncanakan sengkang 2 kaki tulangan D13 dengan spasi 200 mm pada area lapangan.

2. Desain kolom
   Rencana kolom terpakai dalam perhitungan memiliki dimensi 1000/1000 mm. Tebal selimut beton 40 mm. Dalam perencanaan kolom menggunakan *software SPColumn* dibutuhkan gaya dalam dari ETABS berupa gaya aksial (P_{min} dan P_{max}), momen sumbu lemah ($M2_{min}$ dan $M2_{max}$), momen sumbu kuat ($M3_{min}$ dan $M3_{max}$) seperti tabel berikut.

Tabel 10. Gaya Dalam Kolom

Kondisi saat	P (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)
P_{max}	2035,89	236,67	816,44
P_{min}	-13758,62	-651,30	-234,50
$M2_{max}$	-3837,35	622,91	296,49
$M2_{min}$	-6263,68	-642,48	-256,45
$M3_{max}$	-9012,56	227,85	838,38
$M3_{min}$	-10951,29	-265,07	-754,45

Dari gaya dalam tersebut yang diinput ke perangkat lunak *SPColumn*, didapatkan tulangan 28D22 dengan rasio tulangan (ρ) 1,06%. Syarat pada SNI 2847:2019 Pasal 18.7.4.1, rasio tulangan minimum kolom yaitu 1% dan maksimal 6%.



Gambar 5. Diagram Biaxial dan Output Tulangan Kolom

a. Kolom kuat balok lemah (SCWB)
   SNI 2847:2019 Pasal 18.7.3.1, desain kapasitas lentur kolom harus memenuhi syarat berikut:
   $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$
   Nilai $\sum M_{nb}$= (430,53 + 265,41) yaitu dari momen nominal balok daerah tumpuan tarik dan tekan. Nilai $\sum M_{nc}$=1333,54 kNm yaitu momen nominal kolom dari *SPColumn*.
   1333,54 ≥ 1,2 x (430,53 + 265,41)
   1333,54 kNm ≥ 835,13 kNm .....OK
b. Tulangan geser kolom
   - Panjang sendi plastis (l_o)
     Panjang sendi plastis diambil sebesar h = 1000 mm
   - Untuk memenuhi syarat pengekangan kolom, maka dipasang 4D16-100 sepanjang area sendi plastis (l_o). Pada area luar sendi plastis dipasang tulangan geser 2D16-125.

Penambahan bresing baja sebagai pengaku lateral terbukti efektif mereduksi gaya dalam kolom. Hal ini didukung oleh penelitian Haris Pradono (2019) yang menyatakan bahwa bresing mampu menyerap sebagian gaya lateral. Meskipun dimensi kolom cenderung besar karena akumulasi gaya aksial, namun menghasil rasio tulangan (ρ) kolom yang efisien yaitu sebesar 1,06%.

3. Desain hubungan balok kolom (HBK)
   Gaya geser yang terjadi pada HBK tidak terkekang oleh 4 balok. Menurut SNI 2847:2019 Tabel 18.8.4.1 menjelaskan bahwa balok tang tidak mengekang di ke empat sisi kolom menggunakan rumus $V_n = 1\lambda\sqrt{fc}\ A_j$.
   - Kuat geser nominal (ΦV_n)
     $\Phi V_n = 0{,}85\ (1 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000000)$
     $= 4655641{,}74\ N = 4655{,}64\ kN$
   - Kuat geser ultimit *joint* (V_u)
     Kuat geser ultimit *joint* diperoleh dari selisih kuat geser bersih balok terhadap kolom, yaitu:
     $V_u = 1225{,}073\ kN$
   - Cek
     $4655{,}64\ kN \geq 1225{,}073\ kN$ .....OK
4. Desain penampang bresing
   Rencana bresing terpakai dalam perhitungan ditinjau bresing arah X dengan gaya dalam sebagai berikut:

Tabel 11 *Gaya Dalam Bresing Arah X*

	Aksial Tekan (kN)	Aksial Tarik (kN)
Bresing Arah X	1545	1290,53

Data profil bresing arah X:

- d = 300 mm
- bf = 305 mm
- tw = 15 mm
- tf = 15 mm
- W = 105 kg/m
- Ag = 13340 mm^2
- Ix = 213 x 10^6 mm^4
- Iy = 71 x 10^6 mm^4
- r = 13 mm
- Zx = 1420 x 10^3 mm^3
- Zy = 466 x 10^3 mm^3
- rx = 126 mm
- ry = 73 mm
- E = 2 x 10^5 MPa
- *fy* = 240 MPa
- *fu* = 370 MPa
- h = 244 mm

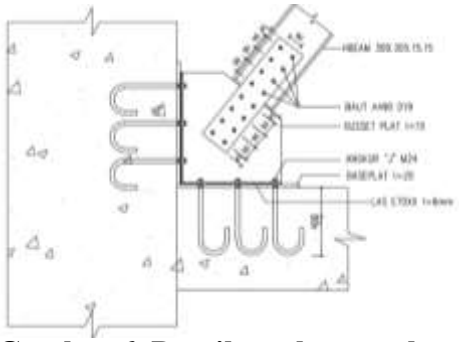
a. Batas rasio lebar terhadap tebal
   - Pelat sayap
     $\lambda = \frac{0{,}5bf}{tf} = \frac{0{,}5 \times 305}{15} = 10{,}17$
     $\lambda p = 0{,}56\sqrt{\frac{E}{fy}} = 0{,}56\sqrt{\frac{200000}{240}} = 16{,}17$
     $\lambda p < \lambda$ .. Penampang tidak langsing
   - Pelat badan
     $\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{244}{15} = 16{,}27$
     $\lambda p = 1{,}49\sqrt{\frac{E}{fy}} = 1{,}49\sqrt{\frac{200000}{240}} = 43{,}01$
     $\lambda p < \lambda$ .. Penampang tidak langsing

Maka, dicek tekuk lentur dan tekuk torsi pada kuat tekan. Dari kedua nilai tersebut diambil nilai terkecil untuk kontrol tekan penampang

a. Kuat tekan (tinjau tekuk lentur)
   - Kelangsingan
     Panjang bresing (L) = 3125 mm
     Faktor tekuk (K) = 1
     $\frac{K \cdot L}{iy} = \frac{1 \times 3125}{73} = 42{,}89$ mm
   - Cek tegangan kritis (F_{cr})
     $\frac{K \cdot L}{iy} \leq 4{,}71\sqrt{\frac{E}{fy}} = 42{,}89 \leq 135{,}97$ Digunakan rumus $F_{cr} = \left(0{,}658^{\frac{fy}{Fe}}\right) fy$
   - Tegangan tekuk elastis (F_e)
     $F_e = \frac{\pi^2 . E}{\left(\frac{K \cdot L}{iy}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000}{(42{,}89)^2} = 1073{,}04$ MPa
   - Tegangan kritis (F_{cr})
     $F_{cr} = \left(0{,}658^{\frac{fy}{Fe}}\right) fy = \left(0{,}658^{\frac{240}{1073{,}04}}\right) 240 = 218{,}32$ MPa
   - Kuat nominal tekan lentur (ΦP_n)
     $\Phi c P_n = 0{,}9 (F_{cr} . A_g)$
     $= 0{,}9 (218{,}32 \times 13340) = 2621{,}10$ kN
b. Kuat tekan (tinjau tekuk torsi)
     $F_e = 277{,}24$ MPa
   - Tegangan kritis (F_{cr})
     $F_{cr} = \left(0{,}658^{\frac{fy}{Fe}}\right) fy = \left(0{,}658^{\frac{240}{277{,}24}}\right) 240 = 167{,}05$ MPa
   - Kuat nominal tekan lentur (ΦP_n)
     $\Phi c P_n = 0{,}9 (F_{cr} . A_g)$
     $= 0{,}9 (167{,}05 \times 13340) = 2005{,}64$ kN (Menentukan)
   - Cek
     2005,64 kN ≥ 1545 kN.....OK
c. Kuat tarik
   - Luas bersih penampang (A_n)
     n = 2 (rencana baris baut)
     dh = asumsi baut 19 mm, maka diameter lubang (dh) =21 mm
     $A_n = A_g - (n.dh.tw) = 13340 - (2 \times 21 \times 15) = 12710$ mm^2
   - Faktor *shear lag* (U)
     Untuk pemasangan baut dengan 4 pengencang di badan, U=0,7
   - Luas penampang efektif (A_e)
     $A_e = A_n . U = 12710 \times 0{,}7 = 8897$ mm^2
   - Kuat tarik kondisi leleh
     $\Phi t P_n = 0{,}9 . fy . Ag = 0{,}9 \times 240 \times 13340 = 2881{,}44$ kN
   - Kuat tarik kondisi fraktur
     $\Phi t P_n = 0{,}75 . fu . A_e = 0{,}75 \times 370 \times 8897 = 2468{,}92$ kN (Menentukan)

- Cek
  2468,92 kN ≥ 1290,53 kN.....OK

5. Desain sambungan
   Pada sambungan bresing terdapat tiga jenis sambungan yaitu sambungan baut, las, dan angkur baja. Sambungan baut untuk menyambungkan profil HBeam dengan *gusset plat*, sambungan las untuk menyambungkan *gusset plat* dengan *baseplat*, dan angkur untuk menyambungkan dudukan *baseplat* ke struktur balok beton.



Gambar 6. Detail sambungan bresing

a. Perhitungan sambungan baut
   Direncanakan menggunakan 8 baut berdiameter ¾ inci atau 19 mm mutu A490 (F_{nv} = 490 MPa; F_{nt} = 780 MPa), dengan jarak baut antar baut 90 mm dan jarak tepi 45 mm. Kapasitas baut ditinjau terhadap 5 kegagalan, kemudian diambil nilai terkecil yang harus melebihi gaya aksial tarik.

Tabel 12 *Hasil analisis sambungan baut*

Kondisi	Rumus	Hasil (kN)
Baut putus	ΦF_{nv}.Ab.m.n *(SNI 1729:2020 ps.J3-6)*	1595,7
Fraktur	Φ.fu.A_e *(SNI 1729:2020 ps. D2-1)*	2881,4
Leleh	Φ.fy.A_g *(SNI 1729:2020 ps. D2-1)*	2468,9
Tumpu plat	1,2.lc.tw.fu ≤ 2,4.db.tw.fu *(SNI 1729:2020 ps. J3.10)*	1483,5
Geser blok	0,60.fy.Agv + Ubs.fu.Ant *(SNI 1729:2020 ps. J4)*	1307,8

- Cek
  1307,8 kN ≥ 1290,53 kN.....OK

b. Perhitungan sambungan las
   Digunakan las sudut 2 sisi SMAW E70XX (F_{nw} = 482 MPa). Tebal *gusset plat* 15 mm dan *base plat* 20 mm. Menurut SNI1729:2020 Tabel J4, digunakan tebal las minimum sebesar 6 mm.
   - Panjang jalur las (lw) = 2530 mm
   - Tebal efektif las (t_e)
     t_e = 0,707 x 6 = 4,242 mm

- Luas efektif las (A_{we})
  $A_{we} = t_e \cdot lw = 4{,}242 \times 2530 = 10732{,}26\ mm^2$
- Kuat geser nominal (ΦR_n)
  $\Phi R_n = 0{,}75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = 0{,}75 \times 482 \times 10732{,}26 = 2372{,}83\ kN$
- Cek
  2372,83 kN ≥ 1290,53 kN.....OK

c. Perhitungan sambungan angkur
Direncanakan menggunakan 12 angkur "J" M24 atau 1 inci mutu A36 (*fy* = 250 MPa; *fu* = 400 MPa). Kapasitas kuat tarik angkur ditinjau terhadap empat kondisi, diantaranya:

Tabel 13. Hasil analisis sambungan angkur

Kondisi	Rumus	Hasil (kN)
Kuat angkur	$\Phi A_{se,N} \cdot fu$ *(SNI 2847:2019 ps.17.4.1.2)*	1584,8
Breakout	$\Phi \frac{A_{NC}}{A_{NCO}} . \Psi_{eC,N} . \Psi_{ed,N} . \Psi_{c,N} . \Psi_{cP,N} . Nb$ *(SNI 2847:2019 ps.17.4.2.1.b)*	2487,7
Pullout	$\Phi \Psi_{c,P} . N_p . n$ *(SNI 2847:2019 ps.17.4.3.1)*	3016,4
Blowout	$\Phi \left(1 + \frac{S}{6C_{a1}}\right) N_{sbg}$ *(SNI 2847:2019 ps.17.4.1.2)*	2051,7

- Cek
  1584,8 kN ≥ 1290,53 kN.....OK

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rekapitulasi perencanaan struktur gedung KC BRI Diponegoro yaitu:
   a. Struktur sekunder
      - Tangga dan bordes
        Memiliki tebal 15 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Digunakan tulangan pelat tangga D13-250 dan pelat bordes D13-300. Pada balok bordes dipasang tulangan longitudinal 4D16 dan tulangan geser Ø10-125.
      - Balok Anak (BA 1)
        Memiliki dimensi 35 x 50 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Tulangan tumpuan tarik 4D16, tumpuan tekan 3D16, lapangan tarik dan tekan 3D16, serta tulangan tengah 2D13. Tulangan geser tumpuan dan lapangan menggunakan Ø10-150.
      - Pelat lantai dan atap
        Memiliki tebal 12 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Digunakan tulangan tumpuan D10-200 dan lapangan D10-250. Sedangkan tulangan pelat atap tumpuan D10-200 dan lapangan D10-300.

      Dengan prosedur perhitungan yang sama, diperoleh hasil desain elemen struktur sekunder lainnya yaitu:
      - Balok Kantilever (BK)

Memiliki dimensi 30 x 40 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Tulangan tumpuan tarik 3D16, tumpuan tekan 2D16, dan tulangan tengah 2D13. Tulangan geser tumpuan dan lapangan menggunakan Ø10-125.

- Balok Penggantung *Lift* (BL)
  Memiliki dimensi 30 x 40 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Tulangan tumpuan tarik dan lapangan tarik 3D16, tumpuan tekan dan lapangan tekan 2D16, serta tulangan tengah 2D13. Tulangan geser tumpuan dan lapangan menggunakan Ø10-125

b. Struktur primer

- Balok induk (BI 1)
  Memiliki dimensi 50 x 70 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Tulangan tumpuan tarik 5D22, tumpuan tekan 3D22, lapangan tarik dan tekan 3D22, serta 2D19 untuk tulangan tengah. Tulangan geser menggunakan 2D13-125 untuk area tumpuan dan 2D13-200 pada area lapangan.
- Kolom (K1)
  Memiliki dimensi 100 x 100 cm dengan mutu beton (*f'c*) 30 MPa. Menggunakan tulangan pokok 28D22 dengan rasio 1,06%. Tulangan geser menggunakan 4D16-100 untuk area sendi plastis dan luar sendi plastis 2D16-125.
- Bresing arah X
  Menggunakan penampang profil H-300.305.15.15 dengan mutu BJ37. Sambungan menggunakan 8 baut (A490) diameter ¾ inci, las SMAW E70XX tebal 6 mm, dan 12 buah angkur "J" M24.

Dengan prosedur perhitungan yang sama, diperoleh hasil desain elemen struktur primer lainnya yaitu:

- Balok induk (BI 3)
  Memiliki dimensi 40 x 60 cm dengan mutu beton (*f'c*) 25 MPa. Tulangan tumpuan tarik menggunakan 4D22, tumpuan tekan 3D22, lapangan tarik 3D22, ,lapangan tekan 2D22, dan 2D19 untuk tulangan tengah. Tulangan geser menggunakan 2D13-125 untuk area tumpuan dan 2D13-200 pada area lapangan.
- Kolom (K2)
  Memiliki dimensi 85 x 85 cm dengan mutu beton (*f'c*) 30 MPa. Menggunakan tulangan pokok 20D22 dengan rasio 1,05%. Tulangan geser menggunakan 4D13-100 untuk area sendi plastis dan luar sendi plastis 2D13-125.
- Bresing arah Y
  Menggunakan penampang profil H-250.255.14.14 dengan mutu BJ37. Sambungan menggunakan 6 baut (A490) diameter ¾ inci, las SMAW E60XX tebal 6 mm, dan 16 buah angkur "J" M20.

2. Performa struktur terhadap beban gempa berdasarkan hasil pemodelan menggunakan ETABS telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019. Struktur memiliki partisipasi massa lebih dari 90%, mode pertama translasi arah X, mode kedua translasi arah Y, dan mode ketiga rotasi. Gaya geser dasar dinamik telah memenuhi syarat (Vdinamik = 100% Vstatik), simpangan antar lantai maksimum sebesar 9,08 mm masih di bawah batas izin, efek P-Delta dapat diabaikan ($\theta < 0,1$), serta sistem ganda memenuhi ketentuan karena rangka pemikul momen menahan lebih dari 25% gaya geser dasar.

DAFTAR PUSTAKA

Aryandi, D., & Herbudiman, B. (2017). Pengaruh Bentuk Bracing terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang. RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 3(1), 48–58.

Badan Standardisasi Nasional. 2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727 2020. BSN, Bandung.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726-2019. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, SNI 1729-2020. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, SNI 2847-2019. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. Ketentuan Seismik Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural dan Penjelasan, SNI 7860 2020. Jakarta.

Kalibhat, M. G., Kamath, K., K, P. S., Pai, R. R., & Professor, A. (2014). Seismic Performance of Concentric Braced Steel Frames from Pushover Analysis. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 67–73.

Lesmana, Y. (2021). Handbook Analisa dan Desain Struktur Tahan Gempa Beton Bertulang (SRPMB, SRPMM, SRPMK) Berdasarkan SNI 2847-2019 & 1726-2019. Yogyakarta: CV. Nas Media Pustaka.

Marcella, V. & Christianto, D. (2022) Analisis R, Ω0, Cd Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Multystroy X dan V bracing menggunakan metode pushover. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 457-468

Naratama, Sutarja, I. N., & Dana, I. W. (2014). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Bertingkat Menggunakan SRPMK (Studi Kasus : Gedung Laboratorium Bersama Universitas Udayana). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 18(1), 8–19.

Richard, Y., Hanson, H., Tanojo, E., & Santoso, H. (2021). Perbandingan Kinerja Struktur Baja Sistem Tunggal Rangka Terbreis Konsentris Khusus Dan Rangka Terbreis Penahan Tekuk Tipe Multi-Story X Dan Zipper Inverted V Dengan 3 Bentang Bresing Pada Bangunan 12 Dan 18 Lantai. 180–187.

Salmon C.G. & Jhonson, J.E. (1997). Struktur Baja Desain dan Perilaku Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga.

Supandi, D. (2021). Analisis struktur Baja Bangunan Industri Akibat Gaya Gempa Menggunakan Sistem *Concentrically Braced Frame* (Cbf)–Studi Kasus: Bangunan Pabrik Pupuk Cargill, Pandaan, Jawa Timur. Seminar Nasional Ketekniksipilan, Infrastruktur Dan Industri Jasa Konstruksi (KIIJK) , 1(1), 9–15.

Tumpu, M., Jamal, M., Syahrir, M., Pasanda, O. S., Lapian, F. E. P., Rustam, M. S. P. A., & Muliawan, I. W. (2023). Infrastruktur berbasis mitigasi bencana. TOHAR MEDIA.