

ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN BEGAWAN MALANG MENGGUNAKAN SRPM DAN DINDING GESER

Jeremy Irawan¹, Andrianus Agus Santosa², dan Deviany Kartika³

¹²³⁾ Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: jeremyirawan0505@gmail.com

ABSTRACT

Malang City is a city of education as well as a city of tourism. Therefore, apartment construction is one of the steps to support community needs. The construction of the Begawan Apartment is intended for students who study around the building and also for tourists visiting Malang City and Batu City. To minimize infrastructure damage and the increase in casualties due to earthquakes, the buildings in the Begawan Apartment at Tlogomas Malang, were designed to use the Dual System, Special Moment Resisting Frame System (SMRF) and Shear Walls. From the calculation results obtained beam B7 at Story 6 with dimensions 40/60 obtained longitudinal / bending reinforcement of left support: upper 14D22, bottom 8D22 and middle 4D22, field reinforcement: top 6D22, bottom 6D22 and middle 4D22, shear reinforcement of plastic hinge area: 4ø12-80 and outer plastic hinge: 4ø12-160. Column C4 at Story 1 with dimensions of 80/80 and total reinforcement of 16 D25, obtained plastic hinge area shear reinforcement: 5ø12-90, outer area of plastic hinge: 5ø12-120, column joint area: 5ø12-90. Control Design Capacity $\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$ with a value of 2205.400 KNm > 1953.461 KNm, it can be concluded that: "Strong Column Weak Beam" requirements have been fulfilled. At the beam-column joint, reinforcement for the vertical confinement are 16D25 and for the horizontal confinement are 5ø12 – 12 layers. The planned shear walls component is at Pier 1 with dimensions of 400 x 6550 with boundary elements as far as 1000 mm from the extreme compressive fiber. The transverse reinforcement of the boundary elements is 6ø12-80. Longitudinal reinforcement is attached to all sections of the shear wall, are 100D25. Transverse reinforcement in the area of the shear wall body for the X and Y directions of the plastic hinge region 2ø12-80, the outer area of the plastic hinge 2ø12-120 and in the column joint area 2ø12-80.

Keywords: *Shear Walls, Moment Bearer Frame Systems, Earthquake - Resistant Structures.*

ABSTRAK

Kota Malang merupakan kota pendidikan dan sekaligus merupakan kota wisata. Oleh karena itu, pembangunan apartemen menjadi salah satu langkah untuk mendukung kebutuhan masyarakat. Pembangunan Apartemen Begawan ini ditujukan bagi mahasiswa/mahasisiwi yang berkuliah di sekitar gedung dan juga bagi wisatawan yang berkunjung ke Kota Malang maupun ke Kota Batu. Untuk meminimalisir kerusakan infrastruktur serta bertambahnya korban jiwa akibat gempa bangunan pada Gedung Apartemen Begawan Tlogomas Malang didesain menggunakan Sistem Ganda, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser. Dari hasil perhitungan didapat balok B7 Lantai 6 dengan dimensi 40/60 diperoleh tulangan longitudinal/lentur tulangan tumpuan kiri : atas 14D22, bawah 8D22 dan tengah 4D22, tulangan lapangan : atas 6D22, bawah 6D22 dan tengah 4D22, tulangan geser daerah sendi plastis : 4ø12 - 80 dan luar sendi plastis : 4ø12 - 160. Kolom C4 Lantai 1 dengan dimensi 80/80 dan jumlah tulangan 16 D25, tulangan geser daerah sendi plastis : 5ø12-90, daerah luar sendi plastis : 5ø12-120, daerah sambungan kolom : 5ø12-90. Kontrol Desain Kapasitas $\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$ dengan nilai 2205.400 KNm > 1953.461 KNm, persyaratan "Strong Column Weak Beam" telah terpenuhi. Pada penulangan HBK untuk pengekanng vertikal digunakan 16D25 dan pengekanng horizontal 5ø12 – 12 lapis. Komponen dinding geser yang direncanakan adalah Pier 1 dengan dimensi 400 x 6550 dengan elemen batas sejauh 1000 mm dari serat tekan terluar, tulangan transversal pada elemen batas dipasang 6ø12-80. Tulangan longitudinal terpasang di seluruh bagian dinding geser yaitu 100D25. Tulangan transversal pada daerah badan dinding geser untuk arah X dan Y daerah sendi plastis 2ø12-80, daerah luar sendi plastis 2ø12-120 dan pada daerah sambungan lewatan 2ø12-80.

Kata kunci : *Dinding Geser, Sistem Rangka Pemikul Momen, Struktur Tahan Gempa.*

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik yang aktif yaitu Lempeng Eufasia, Lempeng Indo – Australia, dan Lempeng Pasifik. Oleh karena itu hal yang harus diperhatikan oleh perencana gedung bertingkat khususnya di Indonesia adalah bisa merencanakan bangunan bertingkat yang mampu gempa, sesuai dengan parameter perencanaan gempa yang ditinjau.

Perkembangan Kota Malang adalah salah satu kota yang setiap tahun masyarakatnya selalu meningkat. Hal ini dikarenakan Kota Malang dikenal sebagai Kota Pendidikan dan Kota Wisata, sehingga diperlukan pembangunan Gedung Apartemen Begawan di Kota Malang.

Karena gedung yang direncanakan adalah gedung bertingkat tinggi yang juga berlokasi pada daerah rawan gempa, sehingga dalam perencanaan bangunan tersebut perlu diperhitungkan juga beban – beban yang bekerja pada bangunan agar memberikan keamanan lebih dari bangunan itu sendiri. Dalam hal ini Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser (Sistem Ganda) dipilih karena dengan adanya dinding geser maka kerja rangka dapat menjadi lebih ringan dan dapat menambah kekakuan dari struktur itu sendiri sehingga kinerja struktur dalam menahan gaya lateral dapat dimaksimalkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Struktur Tahan Gempa

Struktur tahan gempa adalah suatu struktur mampu menahan gaya geser gempa rencana akibat gelombang gempa yang berasal dari dalam batuan dasar. Gelombang gempa tersebut akan merambat ke permukaan tanah dan memberikan gaya kepada bangunan tinggi. Struktur yang direncanakan diharapkan mampu bertahan oleh beban bolak-balik memasuki perilaku inelastik tanpa mengurangi kekuatan yang berarti. Karena itu, selisih energi beban gempa harus mampu disebarkan dan diserap oleh struktur yang bersangkutan dalam bentuk kemampuan berdeformasi secara inelastis. Kemampuan ini yang disebut sebagai kemampuan daktilitas struktur.

Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan struktur pada Gedung Apartemen Begawan Tlogomas Malang ini mengacu pada SNI 1727 - 2019 untuk perencanaan beban mati, beban hidup, dan beban angin. Sedangkan untuk pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726 - 2019. Metode analisa beban gempa dapat dengan analisa dinamik yang dipengaruhi oleh respon spektrum, atau juga dapat dengan analisa statik

ekuivalen untuk bangunan yang egular horizontal maupun vertikal. Untuk Gedung Apartemen Begawan Tlogomas Malang ini sendiri memiliki 9 lantai termasuk lantai atap yang memiliki tinggi total 32.40 m yang kemudian digunakan analisa respon spektrum.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk komponen struktur harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi dari beban terfaktor yang diatur menurut SNI 1726 - 2019 dan SNI 2847 - 2019.

Simpangan

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa tingkat dikali perpindahan tingkat (δx) seperti yang diatur dalam SNI 1726 - 2019.

Sistem Ganda / Dual System

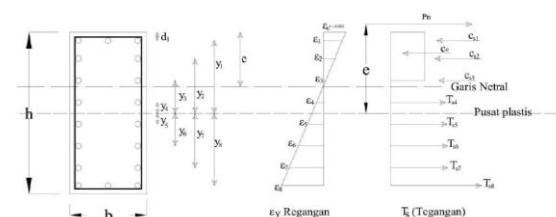
Menurut SNI 1726 : 2019 pasal 7.2.5.1 (Halaman 53), sistem ganda ialah struktur dengan rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh sistem rangka pemikul momen dan dinding geser. Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus dapat memikul beban lateral yang diakibatkan oleh gempa sekurang-kurangnya 25 % dari gempa desain. Factor reduksi gempa (R) = 7.

Perencanaan Dinding Geser Khusus

Berdasarkan SNI 2847 – 2019 Pasal 21.9 tentang Dinding struktur khusus, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam perencanaan Dinding struktur khusus. Adapun persyaratan pada SNI 2847 – 2019 yang harus dipenuhi dalam perencanaan dinding struktur khusus ini adalah sebagai berikut:

- Persyaratan tulangan dinding struktural khusus.
- Kekuatan geser dinding struktural khusus.
- Elemen pembatas dinding struktural khusus.

Perencanaan Dinding Geser Terhadap Aksial dan Lentur



Gambar 1. Diagram Regangan dan Tegangan Dinding Geser

3. METODOLOGI PENELITIAN

Data Geografis Proyek



Gambar 2. Lokasi Proyek Gedung Apartemen Begawan Malang

Data Teknis Proyek

- Nama Proyek : Apartemen Begawan.
- Lokasi Proyek : Malang.
- Fungsi Bangunan : Apartemen.
- Panjang Bangunan : 20.65 m.
- Lebar Bangunan : 30.5 m.
- Tinggi Bangunan : 33.9 m.
- Struktur Gedung : Beton bertulang.
- Tebal Plat Lantai : 12 cm.
- Tebal Plat Atap : 13 cm.
- Mutu Beton : 35 Mpa
- Mutu Baja Ulir : BJTD U – 40
- Mutu Baja Polos : BJTP U – 24

Teknik Pengumpulan Data

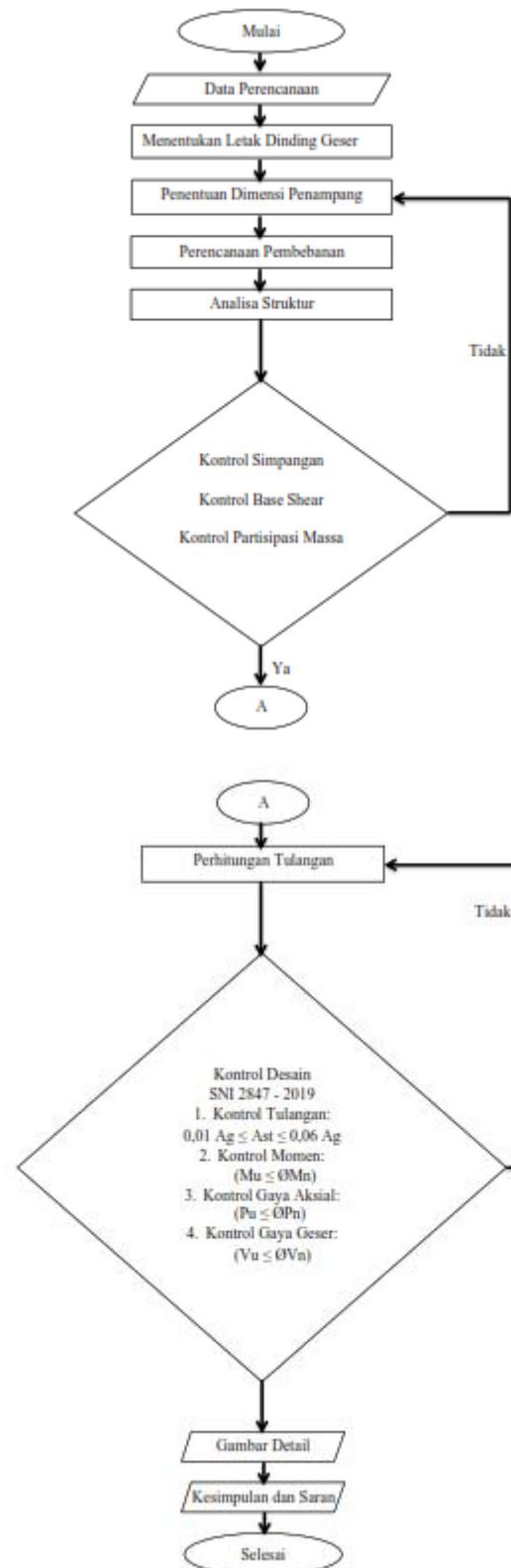
Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil data dari kontraktor yang bersangkutan kemudian data yang sudah ada diolah kembali.

Studi Literatur

Untuk perencanaan ini literatur - literatur yang digunakan oleh penulis sebagai pedoman meliputi:

- ✓ SNI 2847 - 2019 Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- ✓ SNI 1726 - 2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- ✓ SNI 1727 - 2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- ✓ SNI 2052 - 2017 Tentang Baja Untuk Tulangan Beton.

Diagram Alir Perencanaan



Gambar 3. Diagram Alir Perencanaan

4. PEMBAHASAN

Dimensi Balok

Pada SNI 2847 - 2019 pasal 18.6.2.1 (Halaman 377) di jelaskan bahwa lebar komponen, bw, tidak boleh kurang dari 0.3h dan 250 mm dan perbandingan antara lebar (b) dan tinggi balok (h) tidak boleh kurang dari 0.3.

Tabel 1. Dimensi Balok

No Balok	Panjang	Dimensi	
	mm	b (mm)	h (mm)
B1	6500	400	600
B2	4500	300	400
B3	5300	300	500
BA1	6500	300	500
BA2	4500	200	350
BA3	5300	250	400

Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847 - 2019 pasal 18.7.2.1 (Halaman 385) ukuran penampang terkecil tidak boleh kurang dari 300 mm dan rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0.4.

Tabel 2. Dimensi Kolom

No Kolom	Tinggi	Dimensi	
	mm	b (mm)	h (mm)
K1	4125	800	800
K2	4125	600	600

Dimensi Dinding Geser

Ketebalan dinding geser berdasarkan rumus empiris:

$$\begin{aligned} \text{Tebal Shear Wall} &\geq \frac{1}{25} h_w \\ &\geq \frac{1}{25} 4125 \text{ mm} \\ &\geq 170 \text{ mm} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} \text{Tebal Shear Wall} &\geq \frac{1}{25} l_w \\ &\geq \frac{1}{25} 6550 \text{ mm} \\ &\geq 262 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat kedua untuk tebal minimum elemen dinding geser berdasarkan pasal 18.8.5.1 (Halaman 396) pada SNI 2847 - 2019, yaitu untuk panjang penyaluran (l_{dh}):

$$\begin{aligned} l_{dh} &\geq 8 d_b \\ &\geq 8 \times 25 \\ &\geq 200 \text{ mm} \\ l_{dh} &\geq 150 \text{ mm} \\ l_{dh} &\geq \frac{f_y d_b}{5.4 \sqrt{f'c}} \\ &\geq \frac{400 \cdot 25}{5.4 \sqrt{30}} \\ &\geq 338.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan dimensi tebal dinding geser adalah **400 mm**.

Tabel 3. Dimensi Dinding Geser

No Pier	Tinggi	Dimensi	
	mm	b (mm)	h (mm)
Pier 1	4125	400	6550
Pier 2	4125	400	6550

Perhitungan Pembebanan

Dalam perhitungan pembebanan struktur terdiri dari beberapa jenis pembebanan, yaitu:

- 1) Beban Mati
 - Berat sendiri struktur
 - Beban mati tambahan pada pelat lantai
 - Beban mati tambahan pada pelat atap
 - Beban mati tambahan pada balok
- 2) Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan pada perencanaan ini mengacu pada SNI 1727 - 2013
- 3) Beban Gempa

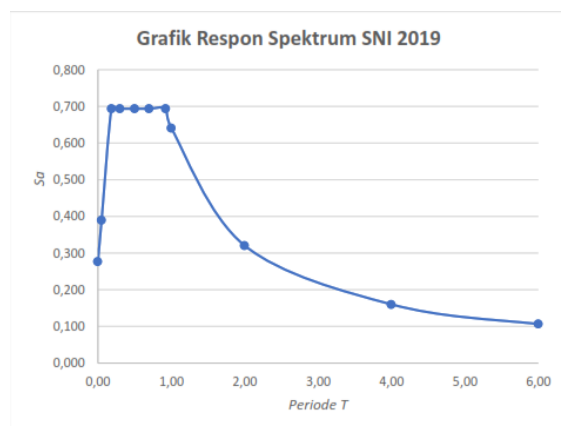
Beban gempa yang digunakan pada perencanaan ini mengacu pada SNI 1726 - 2019 dan peta gempa tahun 2017 dan PUSKIM tahun 2019 untuk menentukan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s), dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1).

Tabel 4 Rekapitulasi perhitungan parameter beban gempa

Kategori resiko	II
Faktor keutamaan gempa (I_e)	1.0
Kelas situs tanah	SE
Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) g	0.86
Parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) g	0.40
Parameter peta transisi periode panjang (TL) detik	20
Faktor amplifikasi periode pendek (F_a)	1.215
Faktor amplifikasi periode 1 detik (F_v)	2.40
Percepatan pada periode pendek (S_{MS}) g	1.040
Percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}) g	0.961
Percepatan desain pada periode pendek (S_{DS}) g	0.694
Percepatan desain pada periode 1 detik (S_{D1}) g	0.641
Kategori Desain Seismik (KDS)	D

Respon Spektrum

Perhitungan respon spektrum rencana dilakukan dengan menggunakan program bantu Microsoft Excel, dan diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik Respon Spektrum Apartemen Begawan Malang Zona A

Berat Seismik Efektif Struktur (W)

Setelah memasukan semua data pembebanan dengan menggunakan program bantu ETABS 2016 maka akan didapatkan berat seismic efektif struktur (W) sebagai berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi Berat Seismik Efektif Struktur

No	Lantai	Tinggi lantai (m)	Mass (Kg)
1	STORY 1 / B1	4.125	810860,48
2	STORY 2 / LG	8.25	813044,8
3	STORY 3 / GF	12.45	801921,6
4	STORY 4 / UG	16.65	538108,09
5	STORY 5 / LT 3	19.80	496151,32
6	STORY 6 / LT 5	22.95	476834,2
7	STORY 7 / LT 6	26.10	476834,2
8	STORY 8 / LT 7	29.25	478167,58
9	STORY 9 / LT 9	32.40	435522,68
Jumlah (Wt)			5327444.950

(Sumber: Center Of Mass and Rigidity ETABS 2016)

Gaya Gempa Lateral Statis Ekuivalen

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan gaya gempa lateral (F)

No	Lantai	F _x (KN)	F _y (KN)
1	9	891,331	891,331
2	8	864,338	864,338
3	7	750,577	750,577
4	6	642,072	642,072
5	5	558,46	558,46
6	4	490,787	490,787
7	3	513,918	513,918
8	2	316,167	316,167
9	1	135,924	135,924
Jumlah		5163,574	5163,574

Kombinasi Pembebanan

Sebagai mana yang telah di syaratkan pada SNI 1726 – 2019 pada pasal 7.4.2.2 (Halaman 65) bahwa terdapat pengaruh beban gempa secara vertikal dan vertikal. Beban gempa juga harus di modifikasi untuk memperhitungkan kuat lebih sistem, seperti yang ditetapkan SNI 1726 – 2019 pasal 7.4.3.1 (Halaman 66).

- Pengaruh beban gempa vertical:

$$E_v = 0.2 \times S_{DS} \times D$$

$$= 0.2 \times 0.605 \times D$$

$$= 0.121 D$$
- Pengaruh beban gempa horizontal:

$$E_{mh} = \rho_0 Q_e (100\% \text{ dan } 30\%)$$

$$= 1.3 (1 Q_x \pm 0.3 Q_y) \text{ atau } 1.3 (1 Q_y \pm 0.3 Q_x)$$

$$= (1.3 Q_x \pm 0.39 Q_y) \text{ atau } (1.3 Q_y \pm 0.39 Q_x)$$
- Beban Gempa

$$E = E_{mh} + E_v$$

$$= (1.3 Q_x \pm 0.39 Q_y) \text{ atau } (1.3 Q_y \pm 0.39 Q_x) + 0.121 D$$

Kontrol Perilaku Struktur

1) Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Tabel 7. Konfigurasi Base Shear

Arah	V _{dinamik}	V _{statik}	Keterangan
X	2762.3196	5163.574	Tidak Memenuhi
Y	2928.2830	5163.574	Tidak Memenuhi

Dari hasil di atas, maka syarat SNI 1726 - 2019 Pasal 7.9.1.4.1 (Halaman 78), yaitu $V_{dinamik} \geq V_{statik}$ (tidak terpenuhi) sehingga skala faktor dinamis harus

dikalikan dengan V/V_t . Dimana V adalah gaya geser dasar metode statik ekuivalen dan V_t adalah gaya geser dasar ragam (dinamis).

$$\begin{aligned}\text{Faktor skala X (lama)} &= 1401 \text{ mm/s}^2 \\ \text{Faktor skala Y (lama)} &= 1401 \text{ mm/s}^2 \\ \text{Faktor skala X (baru)} &= 1401 \times \frac{5163.574}{2762.3196} \\ &= 2618.781 \text{ mm/s}^2 \\ \text{Faktor skala Y (baru)} &= 1401 \times \frac{5163.574}{2928.2830} \\ &= 2470.359 \text{ mm/s}^2\end{aligned}$$

Tabel 8. Konfigurasi Base Shear Baru

Arah	Vdinamik	Vstatik	Keterangan
X	5163.574	5163.574	Memenuhi
Y	5163.574	5163.574	Memenuhi

Dari hasil di atas, maka syarat SNI 1726 - 2019 Pasal 7.9.1.4.1 (Halaman 78), yaitu $V_{\text{dinamik}} \geq V_{\text{statik}}$ (terpenuhi) sehingga perhitungan dapat dilanjutkan dengan menggunakan analisa gempa dinamis.

2) Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 9. Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY
Modal 1	1	1,276	0,6786	4,79E-06	0,6786	4,79E-06
Modal 2	2	1,138	2,21E-05	0,6365	0,6787	0,6365
Modal 3	3	0,751	0,0007	0,0082	0,6794	0,6448
Modal 4	4	0,339	0,1818	0,0001	0,8611	0,6449
Modal 5	5	0,247	0,0001	0,1975	0,8612	0,8424
Modal 6	6	0,188	0,0032	0,0039	0,8644	0,8463
Modal 7	7	0,149	0,0654	0,0002	0,9298	0,8465
Modal 8	8	0,1	4,08E-06	0,074	0,9298	0,9206
Modal 9	9	0,089	0,0316	0,0005	0,9615	0,9211
Modal 10	10	0,075	0,0067	0,0011	0,9682	0,9222
Modal 11	11	0,064	0,0163	2,37E-05	0,9845	0,9222
Modal 12	12	0,053	0,0001	0,0379	0,9846	0,9601
Modal 13	13	0,047	0,0089	1,52E-06	0,9935	0,9601
Modal 14	14	0,042	0,006	0,0001	0,9995	0,9603
Modal 15	15	0,04	0,0003	0,0002	0,9998	0,9605
Modal 16	16	0,036	3,87E-06	0,0224	0,9998	0,9828
Modal 17	17	0,033	3,29E-05	0	0,9998	0,9828
Modal 18	18	0,028	0,0001	0,0001	0,9999	0,9829
Modal 19	19	0,028	8,21E-06	1,18E-06	0,9999	0,9829
Modal 20	20	0,025	0	0,0112	0,9999	0,9941
Modal 21	21	0,022	4,85E-06	0,0051	0,9999	0,9993
Modal 22	22	0,021	0	1,27E-06	0,9999	0,9993
Modal 23	23	0,02	4,50E-05	0,0006	1	0,9999
Modal 24	24	0,017	5,22E-06	4,13E-06	1	0,9999
Modal 25	25	0,017	5,06E-06	0,0001	1	1
Modal 26	26	0,016	0	4,24E-06	1	1
Modal 27	27	0,015	0	0	1	1

Dari table di atas, dapat disimpulkan bahwa partisipasi massa telah terpenuhi pada Modal 8 minimal sebesar 90% dan 100% pada Modal 27 sesuai SNI 1726 - 2019 pasal 7.9.1.1 halaman 77 yang mana partisipasi masa mencapai 100% pada Modal ke 27 dan minimal 90% pada Modal 8.

3) Kontrol Simpangan Struktur

Kontrol desain struktur dilakukan terhadap pengecekan batas simpangan antar lantai yang diatur dalam SNI 1726 – 2019 pasal 7.8.6 Halaman 75 sedangkan besar batasan simpangan antar lantai tingkat tertera pada SNI 1726 – 2019 pasal 7.12.1 dan 7.12.2 Halaman 88.

Tabel 10. Simpangan Arah X

STORY	Hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
9	3150	81,318	447,249	43,730	63	Memenuhi
8	3150	73,367	403,519	47,201	63	Memenuhi
7	3150	64,785	356,318	50,386	63	Memenuhi
6	3150	55,624	305,932	51,788	63	Memenuhi
5	3150	46,208	254,144	54,709	63	Memenuhi
4	4200	36,261	199,436	69,108	84	Memenuhi
3	4200	23,696	130,328	62,238	84	Memenuhi
2	4125	12,38	68,090	47,064	82,5	Memenuhi
1	4125	3,823	21,027	21,027	82,5	Memenuhi
Base	0	0	0	0	0	

Tabel 11. Simpangan Arah Y

STORY	Hsx (mm)	δe (mm)	Δ (mm)	Δi (mm)	Δijin (mm)	KET
9	3150	86,896	477,928	57,156	63	Memenuhi
8	3150	76,504	420,772	58,300	63	Memenuhi
7	3150	65,904	362,472	59,098	63	Memenuhi
6	3150	55,159	303,375	59,054	63	Memenuhi
5	3150	44,422	244,321	57,591	63	Memenuhi
4	4200	33,951	186,731	70,917	84	Memenuhi
3	4200	21,057	115,814	58,861	84	Memenuhi
2	4125	10,355	56,953	40,805	82,5	Memenuhi
1	4125	2,936	16,148	16,148	82,5	Memenuhi
Base	0	0	0	0	0	

Berdasarkan Tabel 16 Simpangan antar lantai ijin SNI 1726 – 2019 Pasal 7.12.1 Halaman 88 untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori risiko I dan II, batas simpangan antar lantai ijin adalah **0,020 h_{sx}**, dimana h_{sx} merupakan tinggi antar tingkat. Sehingga dapat disimpulkan bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur adalah memenuhi/aman.

4) Kontrol Kontribusi Rangka dan Dinding Geser

Tabel 12. Kontrol Kontribusi Rangka dan Dinding Geser Arah X

SUM DINDING	4116,0866		
SUM KOLOM	1543,1805		
TOTAL	5659,2671		
RASIO RANGKA	28	%	

Tabel 13. Kontrol Kontribusi Rangka dan Dinding Geser Arah Y

SUM DINDING	1815,2977	
SUM KOLOM	645,8201	
TOTAL	2461,1178	
RASIO RANGKA	27	%

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa persentase dari SRPM untuk semua kombinasi pembebanan gempa rata-rata lebih besar dari 25 %, sehingga konfigurasi struktur Gedung telah memenuhi syarat sebagai struktur Dual System menurut SNI 1726 – 2019 Pasal 7.2.5.1 (Halaman 53).

Penulangan Struktur

Penulangan Balok B1 (40/60)

Data Perencanaan

- ✓ Lebar Balok (bw) = 400 mm
- ✓ Tinggi Balok (h) = 600 mm
- ✓ Selimut Beton (sb) = 40 mm
- ✓ Mutu Beton f_c' = 30 Mpa
- ✓ B1 = 0.84
- ✓ f_y Ulir = 400 Mpa
- ✓ f_y Polos = 240 Mpa
- ✓ Es Baja = 200000 Mpa
- ✓ Diameter Pokok = 22 mm (D22)
- ✓ Diameter Sengkal = 12 mm ($\phi 12$)
- ✓ Bentang balok (L balok) = 6550 mm
- ✓ Bentang bersih balok (L_n) = 6150 mm
- ✓ Tebal Plat (hf) = 120 mm
- ✓ M_u + Tumpuan = 474.701 KNm
- ✓ M_u - Tumpuan = 777.767 KNm
- ✓ M_u + Lapangan = 349.792 KNm
- ✓ V_u 1,2DL + 1L Tumpuan Kiri = 146.342 KN
- ✓ V_u 1,2DL + 1L Tumpuan Kanan = 146.342 KN
- ✓ Gaya Aksial (P_u) = 0 KN
- ✓ Momen Torsi = 59.2049 KN

Kontrol Momen Negatif Tumpuan

- As tulangan atas = 14 D22
- As tulangan bawah = 8 D22



Gambar 5. Diagram regangan tegangan penulangan tumpuan momen negatif

Cek apakah $\phi M_n > M_u$

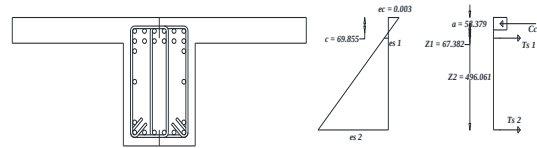
$$\phi M_n > M_u$$

$$847956339.140 \text{ Nmm} > 777766600 \text{ Nmm}$$

$$847.956 \text{ KNm} > 777.767 \text{ KNm (Aman)}$$

Kontrol Momen Positif Tumpuan

- As tulangan atas = 14 D22
- As tulangan bawah = 8 D22



Gambar 6. Diagram regangan tegangan penulangan tumpuan momen positif

Cek apakah $\phi M_n > M_u$

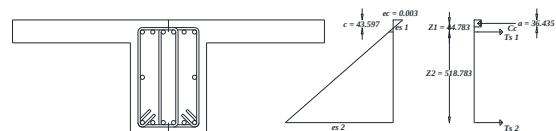
$$\phi M_n > M_u$$

$$617139543.027 \text{ Nmm} > 474700500 \text{ Nmm}$$

$$617.140 \text{ KNm} > 474.701 \text{ KNm (Aman)}$$

Kontrol Momen Positif Lapangan

- As tulangan atas = 6 D22
- As tulangan bawah = 6 D22



Gambar 7. Diagram regangan tegangan penulangan lapangan momen positif

Cek apakah $\phi M_n > M_u$

$$\phi M_n > M_u$$

$$450513055 \text{ Nmm} > 349792400 \text{ Nmm}$$

$$450.513 \text{ KNm} > 349.792 \text{ KNm (Aman)}$$

Penulangan Transversal Balok

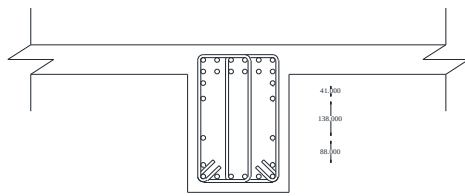
Daerah sendi plastis : 4 kaki $\phi 12$ - 80 mm

Daerah luar sendi plastis : 4 kaki $\phi 12$ - 160 mm

Penulangan Torsi Balok

Pada SNI 2847 – 2019 pasal 9.5.4.1 halaman 186 menyatakan bahwa pengaruh torsi untuk komponen struktur non prategang boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor, T_u , kurang dari:

$$\phi T_n = \phi 0.083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

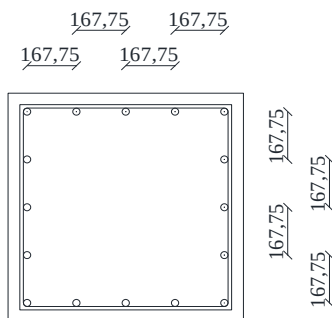


Gambar 8. Penulangan Torsi B1

Penulangan Kolom K1 (80/80)

Data Perencanaan

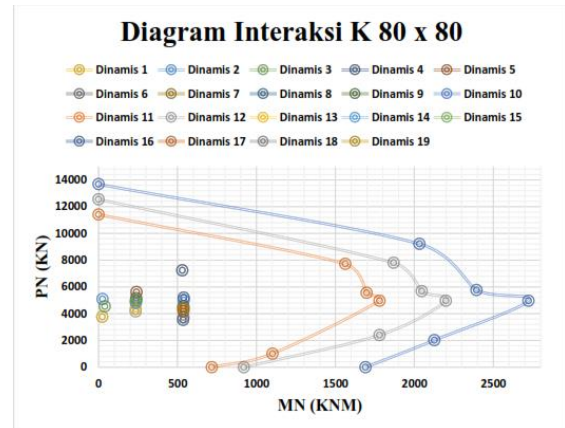
- ✓ Ukuran kolom = 800 mm x 800 mm
- ✓ Selimut beton (sb) = 40 mm
- ✓ Mutu beton f'_c = 35 Mpa
- ✓ β_1 = 0.80
- ✓ f_y ulir = 400 MPa
- ✓ f_y polos = 240 MPa
- ✓ Modulus Baja (E_s) = 200000 MPa
- ✓ Diameter Pokok = 25 mm
- ✓ Diameter Sengkang = 12 mm
- ✓ Tinggi Lantai = 4125 mm
- ✓ Tinggi Balok = 600 mm
- ✓ Tinggi bersih kolom = 3525 mm
- ✓ V_u Maks = 356.297 KN
- ✓ P_u Maks = 7234.107 KN
- ✓ N_u (P_n balance) = 5569.027 KN



Gambar 9. Penampang Kolom K1

Tabel 14. Diagram Interaksi Formasi Tulangan 16 D25

Kondisi	16 D 25	
	ϕP_n (KN)	ϕM_n (KNm)
Sentris	11412,161	0
Patah Desak	7721,174	1561,812
Balance	5569,027	1697,562
Balance 1,25 f_y	4968,410	1778,209
Patah Tarik	1012,303	1100,292
Lentur murni	0	716,755



Gambar 10. Diagram Interaksi Kolom Dengan Pembesaran Momen Kolom

Penulangan Transversal Kolom

Cek apakah $P_u > 0.3 \times A_g \times f'_c$ (SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.5.2 f Halaman 387)

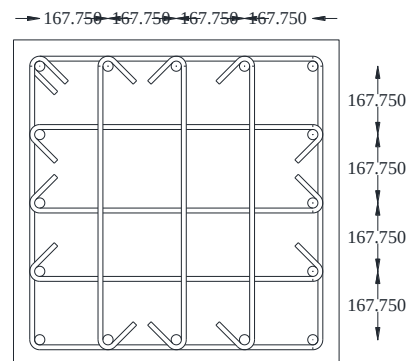
$$P_u > 0.3 \times A_g \times f'_c$$

$$P_u > 0.3 \times 800 \times 800 \times 35$$

$$7234.107 > 6720000 \text{ N}$$

$$7234.107 \text{ KN} > 6720 \text{ KN}$$

SNI 2847 - 2019 pasal 18.7.5.2 halaman 387 menyatakan, tulangan transversal harus disediakan dengan salah satu dari spiral tunggal atau saling tumpuk yang memenuhi 25.7.2.2, sengkang bulat atau sengkang persegi dengan atau tanpa pengikat silang. Pengikat silang dengan ukuran batang tulangan yang sama atau yang lebih kecil seperti begelnya diizinkan. Setiap ujung pengikat silang harus memegang batang tulangan longitudinal terluar. Pengikat silang yang berurutan harus diseling ujung-ujungnya sepanjang tulangan longitudinal. Spasi pengikat silang atau kaki-kaki sengkang persegi, h_x , dalam penampang komponen struktur tidak boleh melebihi 200 mm pusat ke pusat (Gambar R18.7.5.2.(f))



Gambar 11. Tulangan Transversal Kolom Hasil Perencanaan

Tulangan Transversal terpasang:

- Sendi Plastis = 5 ϕ 12 mm – 90 mm.
- Luar Sendi Plastis = 5 ϕ 12 mm – 120 mm.
- Sambungan Lewatan = 5 ϕ 12 mm – 90 mm.

Persyaratan Desain Kapasitas (SCWB)

$$\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$$

$$2205399932.625 \text{ Nmm} \geq 1953461176.223 \text{ Nmm}$$

$$2205.400 \text{ KNm} \geq 1953.461 \text{ KNm (Aman)}$$

Dari analisa di atas, kita tahu bahwa persyaratan desain kapasitas **“Strong Column Weak Beam”** terpenuhi.

Desain Hubungan Balok – Kolom (HBK)

- Pengekang Vertikal = 16 D25
- Pengekang Horizontal = 5 Kaki ϕ 12 (12 Lapis).

Penulangan Dinding Geser Pier 1 (400mm x 6550mm)

Data Perencanaan:

- ✓ Lebar dinding (bw) = 400 mm
- ✓ Panjang dinding (lw) = 6550 mm
- ✓ Selimut beton (sb) = 40 mm
- ✓ Mutu beton f_c' = 35 Mpa
- ✓ β_1 = 0.80
- ✓ f_y ulir = 400 Mpa
- ✓ f_y polos = 240 MPa
- ✓ Modulus Elastisitas Baja (E_s) = 200000 Mpa
- ✓ Diameter Tul. Pokok = 25 mm
- ✓ Diameter Tul. Sengkang = 12 mm
- ✓ P_u Maks = 8451.520 KN
- ✓ M_{ux} = 36624.3 KNm
- ✓ M_{uy} = 458.615 KNm
- ✓ V_{ux} = 4894.130 KN
- ✓ V_{uy} = 283.775 KN

Kebutuhan Elemen Pembatas Khusus (Boundary Element)

Menurut SNI 2847 – 2019 Pasal 18.10.6.2 Halaman 406, daerah tekan harus diberi komponen batas apabila persamaan berikut terpenuhi:

$$c > \frac{lw}{600 \times (1.5 \delta u / hw)}$$

dimana nilai $\delta u / hw$ tidak kurang dari 0.005.

Menurut SNI 2847 – 2019 Pasal 18.10.6.4 Halaman 408, elemen batas harus diperpanjang pada arah horizontal dari serat tekan terluar sejauh minimal nilai terbesar dari $c - 0.1lw$ dan $c/2$

$$c - 0.1 \times lw = 1652 - 0.1 \times 6550 = 997 \text{ mm}$$

$$c/2 = 1652/2 = 826 \text{ mm}$$

Maka elemen batas khusus dipasang sejauh 1000 mm dari serat tekan terluar (**$l_{be} = 1000 \text{ mm}$**)

Menurut SNI pasal 18.10.6.4 (c) Halaman 408 untuk $hw/lw \geq 2.0$ maka harus dicek:

$$\frac{c}{lw} \geq 3/8$$

$$\frac{1652}{6550} \geq 3/8$$

$0.252 \leq 0.375$ (dijinkan diambil $b \leq 300 \text{ mm}$ tetapi disarankan diambil $b \geq 300 \text{ mm}$)

Diambil lebar elemen batas sebesar 1000 mm (**$b = 1000 \text{ mm}$**).

Tulangan Transversal Elemen Batas

- Daerah kritis = 6 kaki ϕ 12 – 80 mm.
- Luar daerah kritis = 6 kaki ϕ 12 – 80 mm.

Tulangan Longitudinal Dinding Geser

Menurut SNI 2847 - 2019 pasal 18.7.4.1 halaman 386 luas tulangan memanjang (longitudinal), A_{st} , tidak boleh kurang dari 0.01 A_g atau lebih dari 0.06 A_g .

Periksa rasio tulangan memanjang (pg).

$$pg = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$pg = \frac{49087.385}{3820000} = 0.01285 = 1.285\%$$

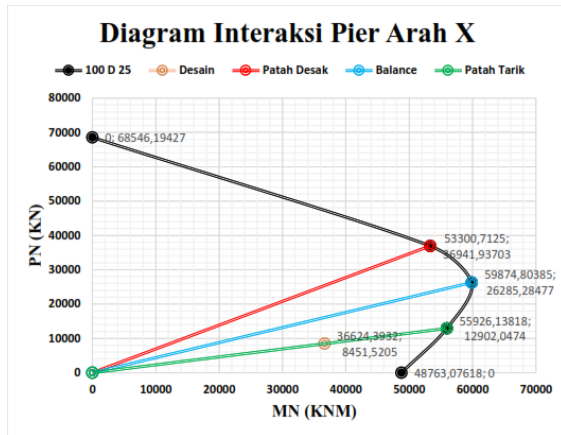
$$0.01 A_g < pg < 0.06 A_g$$

$$0.01 A_g < 0.01285 < 0.06 A_g \text{ (OK)}$$

Dipasang 100 D25 diseluruh bagian dinding

Tabel 15. Diagram Interaksi Formasi Tulangan 16 D25

Kondisi	100 D 25	
	ϕP_n (KN)	ϕM_n (KNm)
Sentris	68546,19427	0
Patah Desak	36941,93703	53300,7125
Balance	26285,28477	59874,80385
Balance 1,25 f_y	23083,27515	62926,31362
Patah Tarik	12902,0474	55926,13818
Lentur murni	0	48763,07618



Gambar 12. Diagram Interaksi Formasi Tulangan 16 D25

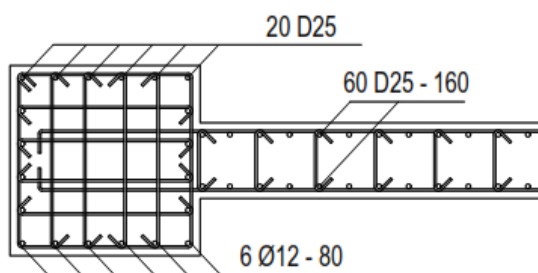
Tulangan Transversal Badan Dinding Geser

Arah X

- Sendi plastis = 2 Kaki Ø12 – 80 mm.
- Luar sendi plastis = 2 Kaki Ø12 – 120 mm.
- Sambungan lewatan = 2 Kaki Ø12 – 80 mm.

Arah Y

- Sendi plastis = 16 Kaki Ø12 – 80 mm.
- Luar sendi plastis = 16 Kaki Ø12 – 120mm.
- Sambungan lewatan = 16 Kaki Ø12 – 80 mm.



Gambar 13. Penampang Dinding Geser

5. PENUTUP

Kesimpulan

1. Komponen balok yang ditinjau adalah balok **B7 Story 6** dengan dimensi yaitu 400 mm × 600 mm, diperoleh:
 - a. Tulangan Longitudinal
 - Tumpuan kiri dan kanan Tarik = 14 D 22.
 - Tekan = 8 D 22.
 - Lapangan Tekan = 6 D 22.
 - Tarik = 6 D 22.

b. Tulangan Transversal

- Daerah sendi plastis = 4 Ø12 – 80.
- Daerah luar sendi plastis = 4 Ø12 – 160

2. Komponen kolom yang ditinjau adalah kolom **C4 Lantai 1** dengan dimensi yaitu 800 mm × 800 mm, diperoleh:

a. Tulangan longitudinal = 16 D25.

b. Tulangan transversal

- Sendi plastis = 5 Ø12 – 90.
- Luar sendi plastis = 5 Ø12 – 120.
- Sambungan lewatan = 5 Ø12 – 90.

Hasil dari perencanaan, kolom memenuhi konsep desain kapasitas “Strong Column Weak Beam” dengan nilai sebesar

$$\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$$

$$2205.400 \text{ KNm} \geq 1953.461 \text{ KNm.}$$

3. Pada hubungan balok kolom (joint), diperoleh:

- a. Pengekang vertikal = 16 D25.
- b. Pengekang horizontal = 5 Ø12 (12 Lapis).

4. Komponen Dinding Geser yang ditinjau adalah **Pier 1** dengan dimensi 400 mm x 6550 mm, diperoleh:

- a. Dibutuhkan elemen batas khusus (Boundary Element) dengan dimensi 1000 mm x 1000 mm dari serat tekan terluar.
- b. Tulangan Transversal pada daerah elemen batas khusus dipasang **6 kaki Ø12 – 80mm** pada daerah kritis maupun selain daerah kritis.
- c. Tulangan Longitudinal yang terpasang di seluruh bagian dinding baik badan maupun pada elemen batas khusus adalah **100 D 25**.
- d. Tulangan Transversal pada daerah badan dinding arah X terpasang:
 - Sendi plastis = 2 Ø12 – 80 mm.
 - Luar sendi plastis = 2 Ø12 – 120 mm.
 - Sambungan lewatan = 2 Ø12 – 80 mm.
- e. Tulangan Transversal pada daerah badan dinding arah Y terpasang:
 - Sendi plastis = 16 Ø12 – 80 mm.
 - Luar sendi plastis = 16 Ø12 – 120 mm.
 - Sambungan lewatan = 16 Ø12 – 80 mm.

Saran

1. Lebih memperdalam penggunaan SNI terbaru (1726 – 2019 dan 2847 – 2019).
2. Lebih melengkapi perhitungan seperti kontrol ketidakberaturan struktur dan lain sebagainya.
3. Menambah wawasan di lapangan agar lebih mudah memahami dan menggambarkan penulangan maupun detailing pada struktur yang ditinjau.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta : BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847 *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 1723 *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta : BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2017). SNI 2052 *Baja Untuk Tulangan Beton*. Jakarta : BSN.

Budiono, B. Dkk. (2017). *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Dan Sistem Dinding Struktur Khusus Di Jakarta*. Bandung: ITB.

Setiawan, A. (2017). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 2013*. Jakarta: Erlangga.

Tavio. Dkk (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Surabaya: C.V ANDI OFFSET.