

Evaluasi Desain Struktur Gedung Pengadilan Agama Sendawar Terhadap Beban Gempa

***Pramadi Atmajaya, Noviyanthy Handayani, Ridho Saleh Silaban**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palangka Raya, Kota Palangka Raya

*yianthy84@yahoo.com

Abstract

Kalimantan Island currently has a lower earthquake risk compared to other islands in Indonesia due to its greater distance from tectonic plate boundaries. However, there are several active faults that can cause earthquakes at any time. Therefore, it is important to design building structures that can withstand earthquakes during and after they occur. The newly constructed Sendawar Religious Court building in West Kutai, East Kalimantan, is located in earthquake zone 1, adjacent to earthquake zone 2, but it was not designed to account for earthquake loads. This study was conducted to reevaluate the building structure using earthquake loads according to SNI-03-1726-2019. The research stages include preparation, secondary data collection, data analysis using SAP2000 software and validation with ETABS, as well as presentation of results and discussion. The analysis using dynamic earthquake loads from the response spectrum of earthquake zones 1 and 2 includes checks on mass participation, comparison of static and dynamic shear forces, inter-story drift, and cross-sectional strength checks. The results indicate that there are no significant changes in normal forces, shear forces, and maximum moments among the non-earthquake zone, earthquake zone 1, and earthquake zone 2. The structure is within safe limits against the earthquake loads of zones 1 and 2, with no overstress. However, the cross-sections of the structure may be categorized as wasteful or inefficient.

Keywords: Building Structure, Earthquake Risk, ETABS, SAP 2000, SNI-03-1726-2019

Abstrak

Pulau Kalimantan saat ini memiliki risiko gempa yang lebih rendah dibandingkan dengan pulau-pulau lain di Indonesia karena jaraknya yang lebih jauh dari titik pertemuan lempeng tektonik. Meskipun demikian, terdapat beberapa aktif yang dapat menyebabkan gempa sewaktu-waktu. Oleh karena itu, penting untuk merencanakan struktur bangunan yang mampu bertahan selama dan setelah gempa. Gedung Pengadilan Agama Sendawar, yang baru dibangun di Kutai Barat, Kalimantan Timur, berada di zona gempa 1, bersebelahan dengan zona gempa 2, namun tidak dirancang dengan beban gempa. Karena itulah penelitian ini dilaksanakan untuk mengevaluasi kembali struktur gedung tersebut menggunakan beban gempa yang sesuai dengan SNI-03-1726-2019. Tahapan penelitian meliputi persiapan, pengumpulan data sekunder, analisis data menggunakan perangkat lunak SAP2000 dan validasi dengan ETABS, serta penyajian hasil dan pembahasan. Analisis menggunakan beban gempa dinamis respons spektrum zona gempa 1 dan zona gempa 2 mencakup cek partisipasi massa, perbandingan gaya geser statis dan dinamis, simpangan antar lantai, dan cek kekuatan penampang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perubahan signifikan pada gaya normal, lintang, dan momen maksimal antara zona non-gempa, zona gempa 1, dan zona gempa 2. Struktur berada dalam batas aman terhadap beban gempa zona 1 dan zona 2, tanpa overstress. Namun, penampang struktur dapat terkategori boros atau kurang efisien.

Kata Kunci: Struktur Bangunan, Risiko Gempa, ETABS, SAP 2000, SNI-03-1726-2019

PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan dianggap memiliki risiko gempa yang lebih rendah dibandingkan dengan pulau-pulau lain di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh posisi Indonesia yang berada di cincin Pasifik yang aktif, di mana empat lempeng tektonik bertemu yaitu Asia, Australia, Samudra Hindia, dan Samudra Pasifik. Pulau Kalimantan dianggap lebih aman karena jaraknya yang lebih jauh dari titik pertemuan lempeng-lempeng tersebut, dibandingkan dengan pulau-pulau lainnya.

Meskipun Pulau Kalimantan dikatakan memiliki potensi gempa yang rendah, namun tetap terdapat beberapa aktif atau patahan yang bisa menyebabkan gempa sewaktu-waktu. Oleh karena itu, kita tidak boleh mengabaikan kemungkinan terjadinya gempa yang bisa terjadi kapan saja. Sehubungan dengan itu, disarankan untuk melakukan perencanaan struktur bangunan utama yang mampu bertahan selama maupun setelah terjadinya gempa, sehingga memberikan kesempatan bagi penghuni bangunan untuk melakukan evakuasi saat terjadi gempa. Apalagi baru-baru ini sering terjadi getaran di Kalimantan

meskipun jarak pusat gempa berada jauh dari Pulau Kalimantan.

Pengadilan Agama Sendawar memiliki gedung baru yang berlokasi di Jalan Paulus Doy Lambeng, Kutai Barat, Kalimantan Timur. Berdasarkan data proyek, diasumsikan gedung Pengadilan Agama Sendawar tidak diberikan beban gempa padahal daerah tersebut berada di zona gempa 1 dan bersebelahan dengan daerah zona gempa 2. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kembali struktur gedung baru Pengadilan Agama Sendawar menggunakan beban gempa rencana untuk daerah zona gempa 1 dan zona gempa 2 menggunakan acuan SNI-03-1726-2019.

Aplikasi Perhitungan Struktur

Dalam melakukan analisis struktur, kita dapat menggunakan 2 aplikasi perhitungan struktur, yaitu SAP2000 dan ETABS

1. SAP2000

SAP merupakan kependekan dari Structural Analysis Programs (Program Analisis Struktur) atau dikenal dengan program mekanika teknik, yang

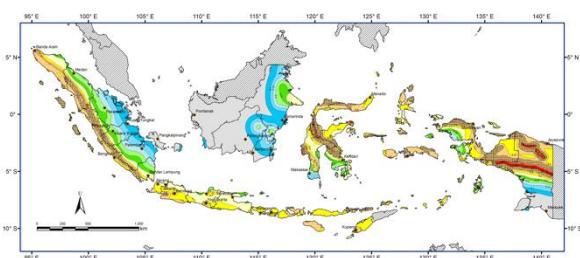
merupakan analisis terhadap gaya-gaya yang beroperasi dalam struktur untuk bidang teknik. Program SAP2000 adalah salah satu perangkat lunak yang dikenal secara luas dalam bidang teknik sipil, terutama dalam menangani masalah analisis struktural dan elemen hingga (finite element), (Faqih, 2008). Program SAP2000 merupakan salah satu program analisis dan perancangan struktur yang telah dipakai secara luas di seluruh dunia, program ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan oleh tim dari University of California, yang dipimpin Prof. Edward L. Wilson selama lebih dari 25 tahun.

2. ETABS

Seperti halnya SAP2000, ETABS yang merupakan singkatan dari Extended Three Dimensional Analysis Building Systems, merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh CSI Berkeley. Program ini memiliki kemampuan yang sangat kuat dalam melakukan pemodelan struktur analisis dan desain, (Dewi, 2018). Berawal dari penemuan dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di Universitas of California, Berkeley, Amerika Serikat. Maka pada tahun 1975 didirikan perusahaan CSI oleh Ashraf Habibullah. Software ETABS merupakan perangkat lunak yang banyak digunakan untuk analisis struktur/gedung bertingkat. Pemanfaatan aplikasi ini signifikan dalam menyederhanakan tugas perancang struktur, memungkinkan mereka menganalisis hasil dengan akurasi tinggi, sambil mengoptimalkan efisiensi waktu dalam menyelesaikan analisis struktural.

Parameter Perhitungan

Letak geografis Indonesia melintasi jalur pertemuan lempeng tektonik, menyebabkan Indonesia memiliki tingkat kerentanan gempa yang tinggi di wilayahnya (Ente, 2023). Indonesia terbagi menjadi enam zona gempa, dengan zona gempa 1 memiliki tingkat risiko gempa paling rendah, sementara zona gempa 6 memiliki tingkat risiko gempa paling tinggi, (Rifandi, 2021).



Gambar 1 Peta Wilayah Gempa Indonesia
(Sumber: Desain Spektra Indonesia, 2024)

- Jumlah ragam atau partisipasi massa, berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing

masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

- Perbandingan gaya geser dasar statik dan dinamik, berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, untuk gaya geser dasar dinamik harus lebih besar atau sama dengan 100% dari gaya geser statik.
- Simpangan antar lantai, berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 20, simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin.

Berdasarkan standar gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019, struktur gedung harus dianalisis dengan melakukan kontrol dengan parameter yang sudah ditentukan.

a. Partisipasi Massa

Partisipasi massa atau jumlah ragam adalah besaran yang menunjukkan seberapa besar bagian dari massa total struktur yang terlibat dalam respons dinamis terhadap beban gempa. Seperti yang dijelaskan dalam SNI 1726-2019, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

b. Gaya Geser Statik dan Dinamik

Beban statik adalah beban yang bekerja pada struktur secara konstan dan tidak berubah seiring waktu, seperti berat bangunan dan perabot didalamnya. Beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah seiring waktu dan sering kali bersifat sementara, seperti beban angin, gempa bumi. Berdasarkan syarat yang dijelaskan dalam SNI 1726-2019 untuk gaya geser yang dihasilkan akibat beban dinamik harus lebih besar atau sama dengan 100% dari gaya geser yang dihasilkan akibat beban statik.

c. Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai adalah jarak atau pergeseran horizontal relatif antara satu lantai dengan lantai lainnya dalam suatu struktur bangunan. berdasarkan SNI 1726-2019, simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin. Apabila tidak memenuhi, maka penampang struktur terlalu plastis atau fleksibel sehingga penampang struktur harus diperbesar.

METODE

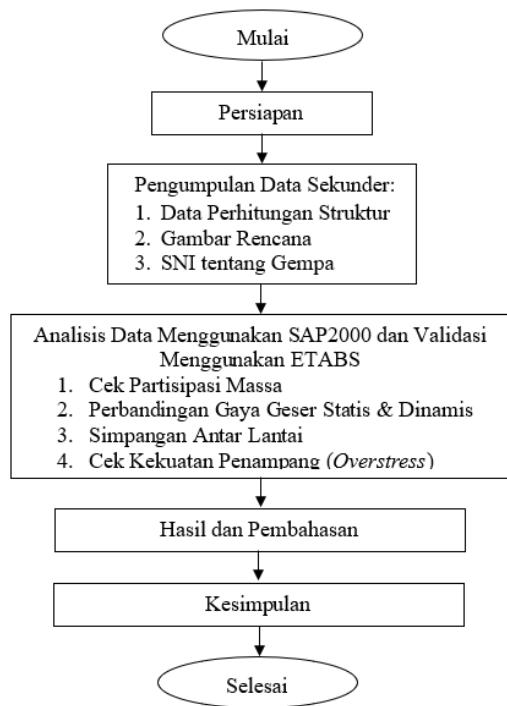
Pengadilan Agama Sendawar terletak di Jalan Paulus Doy Lambeng, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. Hadirnya Pengadilan Agama Sendawar merupakan jawaban dari sulitnya akses masyarakat muslim Kutai Barat untuk menyelesaikan permasalahan hukum yang sedang dihadapi, khususnya terkait perkara perdata keluarga dan perdata Islam yang harus menempuh perjalanan darat menuju Pengadilan Agama Tenggarong dengan jarak sekitar 286,3 kilometer melalui jalan Lintas Kalimantan

Poros Tengah dengan kondisi jalan yang tidak bisa dikatakan layak.



Gambar 2 Lokasi penelitian

Bagan Alir Penelitian



Gambar 3 Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Gaya-Gaya Dalam Maksimal

Sebelum melakukan pengecekan terhadap perbandingan gaya-gaya dalam, maka harus dipastikan beban dan input penampang pada *software* SAP2000 dan ETABS sudah sama. Cara mengeceknya adalah melakukan perbandingan hasil gaya aksial dari *joint* di pondasi bangunan. Berikut ini hasil perbandingan antara *software* SAP2000 dan ETABS.

Pada umumnya, data hasil perhitungan COMB1 dan COMB2 dari SAP2000 dan ETABS menunjukkan hasil yang cukup konsisten dengan selisih yang relatif kecil. Sebagian besar selisih berkisar antara 0% hingga 4%, menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara kedua *software*. Ada beberapa *joint* yang menunjukkan selisih yang lebih besar, seperti *joint* 607, 626, 627, 628, dan 629

dengan selisih mencapai hingga 11% pada COMB2. Joint 597 dan 598 juga memiliki selisih yang cukup tinggi yaitu 7% hingga 9%. Secara keseluruhan, perbedaan antara SAP2000 dan ETABS dalam kombinasi COMB1 dan COMB2 menunjukkan bahwa kedua *software* tersebut memiliki performa yang mirip dalam menganalisis struktur yang diuji. Selanjutnya adalah pengecekan perbandingan gaya-gaya dalam yang diambil dari beban terbesar di setiap *section* balok dan kolom,

a) Gaya Normal Maksimal

Pada bagian B1 30/60 (6 m), perbedaan antara SAP2000 dan ETABS adalah 8% pada beban negatif dan sekitar 21-22% pada beban positif. Kedua *software* menunjukkan konsistensi yang tinggi dalam perubahan dari zona non gempa ke zona gempa 1 dan 2. Pada bagian K1 50/50, perbedaan antara SAP2000 dan ETABS adalah sekitar 1% pada beban negatif dan 8-9% pada beban positif. Tidak ada perubahan signifikan dari zona non gempa ke zona gempa. Ada variasi signifikan dalam hasil gaya normal antara SAP2000 dan ETABS untuk beberapa bagian dan kondisi beban. Perubahan dari zona non gempa ke zona gempa menunjukkan perbedaan yang bervariasi tergantung pada bagian dan jenis beban. Kedua perangkat lunak cenderung menunjukkan konsistensi yang baik dalam beberapa bagian, namun menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam beberapa bagian lain, terutama dalam beban positif.

b) Gaya Lintang Maksimal

Pada bagian B1 30/60 (6 m), Perbedaan antara SAP2000 dan ETABS adalah 0% pada beban negatif dan sekitar 1% pada beban positif. Tidak ada perubahan signifikan dari zona non gempa ke zona gempa. Pada bagian K1 50/50, Perbedaan antara SAP2000 dan ETABS adalah sekitar -5% pada beban negatif dan -5% pada beban positif. Ada perubahan dari Zona Non Gempa ke Zona Gempa, yaitu 9% pada beban negatif dan 8% pada beban positif. Ada variasi signifikan dalam hasil gaya lintang antara SAP2000 dan ETABS untuk beberapa bagian dan kondisi beban. Perubahan dari zona non gempa ke zona gempa menunjukkan perbedaan yang bervariasi tergantung pada bagian dan jenis beban. Kedua *software* cenderung menunjukkan konsistensi yang baik dalam beberapa bagian, namun menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam beberapa bagian lain, terutama dalam beban positif.

c) Gaya Momen Maksimal

Untuk *section* B1 30/60 (6 m), baik untuk zona gempa 1 maupun zona gempa 2, tidak ada perbedaan momen antara zona non-gempa dan gempa (0% perubahan). Untuk *section* K1 50/50, perbedaan momen antara SAP2000 dan ETABS mencapai sekitar 27% hingga 31%, dengan adanya perubahan kecil pada zona gempa. *Section* K3 40/40 menunjukkan perbedaan momen sekitar 31% hingga 39% antara SAP2000 dan ETABS, dan terdapat peningkatan momen yang signifikan di zona gempa (6% hingga 12%). Pada *section* tertentu seperti K4 20/20, gempa menyebabkan peningkatan nilai momen hingga 21% dibandingkan dengan kondisi non-gempa. Secara umum, nilai momen negatif dan positif yang dihasilkan oleh SAP2000 lebih besar dibandingkan dengan ETABS. Perbandingan menunjukkan bahwa perbedaan momen

antara kedua perangkat lunak bervariasi dari sekitar 5% hingga 79%. Dalam sebagian besar kasus, perbedaan antara nilai momen di zona non-gempa dan zona gempa 1 serta zona gempa 2 adalah 0%. Ini menunjukkan bahwa gempa tidak mempengaruhi hasil momen pada beberapa section. Namun, pada beberapa section seperti B2 40/70 dan K1 50/50 di mana terdapat perubahan signifikan pada nilai momen, terutama di zona gempa 2.

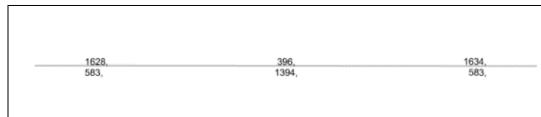
Rekomendasi Balok dan Kolom

Dasar melakukan rekomendasi balok dan kolom ini adalah karena semua nilai rentang lendutan di balok relatif jauh lebih kecil dibanding lendutan izinnya. Sama halnya dengan kolom yang memiliki kapasitas rasio terbesar yaitu 0,488 yang mana angka tersebut masih cukup jauh dibawah angka 1. Artinya penampang dan tulangan terlalu boros atau kurang efisien.

a) Balok B2 (35/60)

1) Tulangan Lentur Balok

b	= 350
h	= 600
T. selimut	= 40 mm
F'c beton	= 20,75 MPa
Fy tulangan	= 390 MPa
Tinggi Efektif Balok	
d	= h balok – tebal selimut
	= 600 – 40 = 560 mm



Gambar 3 Luas Tulangan B2 (35/60)
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

$$As_{Perlu} = 1634 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000)}$$

$$As_{min1} = \frac{\sqrt{fc}}{4 \times fy} \times b \times d$$

$$= \frac{\sqrt{20,75}}{4 \times 390} \times 350 \times 560$$

$$= 572,322 \text{ mm}^2$$

$$As_{min2} = \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$= \frac{1,4}{390} \times 350 \times 560 = 703,59 \text{ mm}^2$$

Direncanakan tulangan 6D19

$$\text{Luas diameter tul} = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 19^2$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

$$As_{terpasang} = \text{Luas} \times \text{Jumlah Tul.}$$

$$= 283,53 \times 6$$

$$= 1701,172 \text{ mm}^2$$

Jarak bersih =

$$\frac{b - 2 \times 40 - 2 \times 10 - Jumlah Tulangan \times D}{Jumlah Tulangan - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 6 \times 19}{6 - 1}$$

$$= 27 \text{ mm}$$

Jarak bersih tulangan \geq nilai terbesar antara D tulangan atau 25 mm

$27 \geq 25$, Maka digunakan 1 lapis tulangan

Kontrol:

$As_{Tepasang} \geq$ Nilai terbesar antara As_{min1} atau

As_{min2}

$1701,172 \text{ mm}^2 \geq 703,59 \text{ mm}^2$, syarat sudah terpenuhi.

$As_{Tepasang} \geq As_{perlu}$

$1701,172 \text{ mm}^2 \geq 1634 \text{ mm}^2$, syarat sudah terpenuhi.

Maka dipasang 6 D19 untuk tulangan daerah tumpuan atas. Dengan perhitungan yang sama, untuk tulangan daerah tumpuan dan lapangan dapat dilihat pada tabel berikut.

2) Tulangan Geser

$$Av_{perlu} = 0,921 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000)}$$

$$Av_{min} = \frac{0,35 \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,35 \times 350}{390} = 0,314$$

Direncanakan tulangan geser D12, dengan 2 jumlah kaki

$$\text{Luas} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \text{Jumlah kaki}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 12^2 \times 2 = 226,19 \text{ mm}^2$$

$$S_{Perlu} = \frac{\text{Luas}}{Av_{Perlu}}$$

$$= \frac{226,19}{0,921} = 245,60 \text{ mm}$$

Syarat spasi max sesuai SNI 2847-2019

$$\text{Spasi max 1} = \frac{d}{4} = \frac{560}{4} = 140 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 6 \times D \text{ tulangan lentur}$$

$$= 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 150 \text{ mm}$$

Jika $S_{perlu} \leq$ Spasi max, maka gunakan S_{perlu} .

Jika tidak terpenuhi maka gunakan spasi max.

Karena $245,60 \leq 140$ tidak terpenuhi, maka digunakan spasi max.

Dipasang tulangan geser 2 D12 – 140

3) Tulangan Susut

$$B = 350 \text{ mm}$$

$$H = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Daerah tanpa tul.} = h - (2 \times 60)$$

$$= 600 - (2 \times 60)$$

$$= 480 \text{ mm}$$

Syarat tulangan susut adalah daerah tanpa tulangan $\geq 300 \text{ mm}$

$480 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$, maka perlu tulangan susut.

Direncanakan tulangan susut D16

$$\text{Luas diameter tul} = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 201,06$$

$$\text{Koef. Asst} = 0,0018 \leq fy 400 \text{ MPa}$$

$$= 0,002 \geq fy 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Asst} = b \times h \times \text{Koef. Asst}$$

$$= 350 \times 600 \times 0,0018$$

$$= 378 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\text{Asst}}{\text{Luas D tulangan}}$$

$$= \frac{378}{201,06}$$

$$= 1,88 \approx 2 \text{ buah.}$$

Maka digunakan tulangan susut 2 D16.

- b) Kolom K1, K2 (40/40) & K3 (35/35)
- 1) Desain Tulangan Utama Kolom
- | | |
|-------------|-------------|
| b | = 400 mm |
| h | = 400 mm |
| T. Selimut | = 40 mm |
| F'c beton | = 20,75 MPa |
| Fy tulangan | = 390 Mpa |



Gambar 4 Luas Tulangan K1, K2 & K3
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

$$As_{Perlu} = 1600 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000)}$$

Direncanakan tulangan utama kolom 8 D19

$$\begin{aligned} \text{Luas diameter tul} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_{terpasang} &= \text{Luas} \times \text{Jumlah Tul.} \\ &= 283,53 \times 8 \\ &= 2268 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat, $As_{terpasang} \geq As_{Perlu}$

$2268 \text{ mm}^2 \geq 1600 \text{ mm}^2$, maka syarat sudah terpenuhi.

$$\begin{aligned} \text{Cek rasio tulangan} &= \frac{As_{terpasang}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{2268}{450 \times 450} \times 100\% \\ &= 1,42\% \end{aligned}$$

Karena rasio tulangannya adalah 1,42%, maka syarat sudah terpenuhi.

Dipasang tulangan 8D19 untuk tulangan utama kolom.

2) Desain Tulangan Geser Kolom

$$AV_{Perlu} = 0,575 \text{ mm}^2 \text{ (SAP2000)}$$

$$\begin{aligned} AV_{min} &= \frac{0,35 \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,35 \times 450}{390} = 0,359 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser D12, dengan 2 jumlah kaki

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \text{Jumlah kaki} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 12^2 \times 2 = 226,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{Perlu} &= \frac{\text{Luas}}{AV_{Perlu}} \\ &= \frac{226,2}{0,575} = 393,4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tinggi Efektif Kolom

$$\begin{aligned} d &= b - t. \text{ selimut} - D \text{ tul. Geser} - 0,5 \\ \times D \text{ tul. Utama} &= 400 - 40 - 12 - 0,5 \times 19 \\ &= 338,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat spasi max,

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 1} &= 6 \times D \text{ tul Utama} \\ &= 6 \times 19 = 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Spasi max 2} &= \frac{d}{2} = \frac{338,5}{2} \\ &= 169,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika $S_{Perlu} \leq \text{Spasi max}$, maka gunakan S_{Perlu} .

Jika tidak terpenuhi, maka digunakan spasi max.

Karena $393,4 \text{ mm}^2 \leq 169,25 \text{ mm}$ tidak terpenuhi, maka digunakan spasi max.

Dipasang tulangan 2D12 – 160

Dengan perhitungan yang sama, untuk menghitung tulangan geser K2 dan K3 bisa dilihat hasilnya pada tabel berikut.

Setelah dilakukan desain ulang penampang kolom, selanjutnya penulangan dan dimensi di *input* pada *software* SAP2000 untuk mengecek kapasitas rasio. Berikut tabel kapasitas rasio dengan dimensi dan penulangan baru.

Tabel 1 Penulangan Balok

Section	Kombinasi	Rasio	Kontrol
K1 40/40	COMB6	0,709	OK
K2 40/40	COMB2	0,778	OK
K3 35/35	COMB6	0,488	OK

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

c) Perbandingan Penampang Balok dan Kolom

Berikut gambar perbandingan desain awal dan rekomendasi desain.

	Desain Awal Balok	Rekomendasi Desain Balok
Desain B2 Tumpian		
Desain B2 Lapangan		

Gambar 5 Perbandingan Desain Awal & Rekomendasi Balok

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

	Desain Awal Kolom	Rekomendasi Desain Kolom
Desain K1		
Desain K2		
Desain K3		

Gambar Perbandingan Desain Awal & Rekomendasi Kolom

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perbandingan gaya-gaya dalam maksimal di setiap zona gempa tidak menunjukkan perubahan yang signifikan.

a. Gaya Normal

Gaya normal terbesar terjadi di K1 (50/50) dengan nilai 925,728 kN, sementara di balok terjadi di B atap dengan nilai 80,119 kN. Tidak ada perubahan dari zona non gempa, zona gempa 1 dan zona gempa 2.

b. Gaya Lintang

Gaya lintang terbesar terjadi di B2 40/70 dengan nilai 217,966 kN, sementara di kolom terjadi pada K2 50/50 dengan nilai 76,087 kN. Pada balok tidak terjadi perubahan di zona non gempa, zona gempa 1 dan zona gempa 2, sedangkan di kolom terjadi perubahan sekitar 1 % di zona gempa 2.

c. Gaya Momen

Gaya momen terbesar terjadi pada B2 40/70 dengan nilai 328,558 kN, sementara di kolom terjadi di K2 50/50 dengan nilai 164,292 kN. Tidak ada perubahan dari zona non gempa, zona gempa 1 dan zona gempa 2.

2. Berdasarkan parameter lendutan dan kapasitas rasio, bahwa struktur balok dan kolom masih dalam batas aman terhadap beban gempa zona 1 dan zona 2. Untuk lendutan terbesar balok berada di B2 40/70 dengan jarak lendutan 12,8 mm sedangkan pada kolom, kapasitas rasio terbesar berada di K2 50/50 dengan rasio 0,488.
3. Semua balok dan kolom pada struktur bangunan bekerja jauh di bawah kapasitas maksimumnya, sehingga tidak terjadi *overstress*. Artinya, bagian dari struktur bangunan tidak mengalami tegangan melebihi batas yang telah ditentukan oleh standar desain, sehingga struktur tersebut aman dan stabil dalam kondisi beban yang diberikan. Kontrol lendutan balok dan rasio kolom (Pu/Pn) yang terbilang cukup jauh dari batas aman, maka penampang struktur bisa terkategori boros atau kurang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Afandi, N. R. (2010). Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton dengan Analisis Pushover Menggunakan Program SAP 2000 Studi Kasus: Gedung Rumah Sakit di Surakarta. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

BADAN STANDARISASI NASIONAL. (2013). SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

BADAN STANDARISASI NASIONAL. (2017). SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton.

BADAN STANDARISASI NASIONAL. (2019). SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan.

BADAN STANDARISASI NASIONAL. (2019). SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan

Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nonggedung.

BADAN STANDARISASI NASIONAL. (2020). SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.

Dewi, S. U., & Pratama, M. I. (2018). Analisa Perencanaan Struktur Beton Gedung Kuliah Kampus 2 IAIN Kota Metro Menggunakan Program ETABS (Extended Three Analysis Building Systems). TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 7(2), 176-197.

Ente, A. A. G., Sumajouw, M. D. J., & Wallah, S. E. (2023). STUDI KOMPARASI KINERJA GEDUNG BERTINGKAT SISTEM GANDA RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS DAN MENENGAH DI KOTA MANADO. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 12(1), 53-65.

Faqih, N. (2008). Analisis Desain Konstruksi dengan Perhitungan Manual dan Program SAP 2000 Versi 9 (Studi Kasus Konstruksi Portal Dengan Permodelan 3 Dimensi).

Kurniawan, W. (2023). Evaluasi Desain Keruntuhan Pada Gedung Bertingkat Berdasarkan Beban Gempa Rencana Dengan SNI-03-1726-2002 dan SNI-23-1726-2012 (Studi Kasus: Gedung BPKP Perwakilan Kalimantan Tengah)

Novyeremia, D., Baru, F. H. R. H., & Meilawaty, O. (2023). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Terhadap Gempa Dengan Analisis Time History (Studi Kasus: Sekolah Nasional Global Nusantara Sampit Kab. Kotawaringin Timur). Jurnal Serambi Engineering, 8(4).

PERATURAN PEMBEBANAN INDONESIA UNTUK GEDUNG. (1983). PPIUG 1983 tentang Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

Rifandi, I. (2020). Analisis Beban Gempa dengan Metode Statik Ekuivalen Berdasarkan SNI 1726-2019 pada Gedung IPAL. Jurnal Konstruksi, 18(2), 72-82.

Setiawan, D., Handayani, N., & Saputra, N. A. (2021). Evaluasi Struktur Gedung Pasca Sarjana IAIN Palangka Raya terhadap Potensi Gempa di Kota Palangka Raya. Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil, 14(2), 63-68.

Tanjung, D. (2013). Simulasi Analisa Struktur Sap2000 7.4 Versi Student Dengan Metode Elemen Hingga. Al Ulum Seri Saintek, 1(2), 222-37.