

ANALISIS DAN PEMODELAN STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT PADA WILAYAH GEMPA TINGGI

I Putu Adi Sadu Gunawan, I Wayan Giatmajaya, I Gede Gegiranang Wiryadi

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar

Email: wayangiati@gmail.com

ABSTRAK: Pemodelan struktur gedung rumah sakit ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang teknik pemodelan dan analisis struktur sebuah gedung dengan material beton serta sistem rangka pemikul momen khusus. Gedung yang dirancang bertingkat rendah (*low rise*) dirancang memiliki empat tingkat, berfungsi sebagai rumah sakit, kondisi tanah sedang, dan terletak di wilayah gempa tinggi. Perancangan berpedoman pada peraturan yang berlaku sehingga menghasilkan bangunan yang aman dan nyaman. Pemodelan dan analisis struktur dibantu dengan *software* SAP2000 versi 19 untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur, lendutan dan simpangan. Lingkup teknik pemodelan meliputi estimasi dimensi, pembebanan, material, kontrol lendutan dan simpangan, dan dimensi akhir. Dimensi pendahuluan ditentukan berdasarkan pendekatan praktis untuk balok, kolom dan pelat berdasarkan ketentuan SNI 2847:2013. Lendutan atau deformasi dikontrol pada setiap balok dan pelat untuk setiap lantai yang maksimum terjadi sebesar 5,4mm lebih kecil dari lendutan ijin yaitu 22mm. Simpangan maksimum ditinjau pada masing-masing lantai dari beban gempa rencana berdasarkan SNI 1726:2012. Simpangan antai lantai maksimum yang terjadi lebih kecil dari simpangan antarlantai ijin. Dimensi akhir yang didapatkan yaitu tebal pelat 15cm, kolom K1 60/60 cm, K2 55/55 cm, K3 50/50 cm K4 45/45cm Dimensi balok B1 40/60 cm, B2 35/50 cm, B3 30/50 cm. Lendutan dan simpangan telah memenuhi kriteria dari SNI 2847-2013, 1726-2012, SNI 1727-2013.

Kata Kunci: Pemodelan Struktur, Analisis Struktur, SAP2000, Lendutan, Simpangan

ABSTRACT: *This hospital building structure modeling for providing information about modeling techniques and analysis of the structure of a building with concrete materials and a special moment frame system. The lowrise building is designed to have four levels, function as a hospital, moderate site class conditions, and is located in high seismic areas. The design following the standard code so as to produce a safe and comfortable building. Modeling and structural analysis are using SAP2000 software version 19 to obtain the forces acting on the structure, deflection and deformation. The scope of modeling techniques includes dimension estimation, loading, material, deflection and deformation control, and final dimensions. The preliminary dimensions are determined based on a practical approach for beams, columns and plates based on the provisions of SNI 2847: 2013. The deflection or deformation is controlled for each beam and slab for each floor which is a maximum of 5.4mm less than the allowable deflection of 22mm. The maximum deformation is viewed on each floor for earthquake load based on SNI 1726: 2012. The maximum deformation floor to floors that occurs is smaller than the allowable deformation. The final dimensions obtained are 15cm plate thickness, column K1 60/60 cm, K2 55/55 cm, K3 50/50 cm and K4 45/45cm, beam dimensions B1 40/60 cm, B2 35/50 cm, B3 30/50 cm. Deflection and deformation are following the criteria of SNI 2847-2013, 1726-2012, SNI 1727-2013.*

Keywords: *Structural Modelling, Structural Analysis, SAP2000, Deflection, Deformations*

PENDAHULUAN

Konstruksi gedung bertingkat banyak digunakan tipe sistem struktur baik beton bertulang, beton prategang, baja dan komposit. Setiap tipe sistem struktur mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Sistem struktur juga dibedakan berdasarkan elemen seperti rangka terbuka (pelat-balok-kolom), pelat datar (pelat-kolom), dinding pengisi, dan lainnya. Semua sistem struktur dirancang untuk mampu menahan beban-beban yang ada termasuk beban lateral SNI 1726 2012). Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan mengenai sistem struktur sebagai

penahan beban lateral (Sudarsana et al., 2014; Wiryadi and Sudarsana, 2019).

Pemilihan dan penentuan sistem struktur dalam menahan beban gempa diatur dalam SNI 1726 2012). Posisi atau wilayah berpotensi gempa, material, tinggi bangunan serta fungsi bangunan menjadi dasar dalam menentukan sistem struktur yang dipilih. Ketinggian, metode analisis beban gempa, dan sistem strukkur itu sendiri tidak diijinkan melewati batas-batas yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan keamanan, keselamatan penghuni dan pencegahan timbulkan kerusakan serta korban jiwa. Sistem

struktur berdasarkan wilayah gempa rendah, sedang, dan tinggi dibedakan menjadi tiga juga yaitu sistem pemikul momen biasa, menengah, dan khusus. Pemilihan material juga didasarkan pada dukungan sekitar lokasi pembangunan, biaya, ketersediaan SDM, dan biaya.

Penggunaan beton bertulang biasa memiliki kelemahan pada besarnya dimensi struktur yang digunakan berbanding lurus dengan bentang struktur. Penggunaan balok dan pelat dengan sistem prategang dapat mengeliminasi kekurangan tersebut. Sistem prategang pada beton sendiri memungkinkan untuk struktur memiliki dimensi yang lebih langsing dan dengan tahanan terhadap beban. Sehingga kolom-kolom struktural ataupun penggunaan balok anak berkurang yang memungkinkan bentuk desain yang tipikal sehingga memudahkan proses produksi dan juga keberaturan strukturnya.

Menurut ACI 318, 2014 (*American Concrete Institute*) beton prategang adalah beton struktural yang diberi tegangan internal dengan besar dan distribusi tertentu sehingga dapat mengurangi potensi tegangan tarik akibat beban eksternal. Pada balok dan pelat *precast* dapat digunakan sistem *pretensioning* dimana tendon ditarik terlebih dahulu sebelum dicetak. Karena balok telah diberi gaya dalam untuk menahan gaya eksternal maka pada balok dan pelat prategang memiliki daya dukung lentur (*flexural strength*) yang lebih baik dibandingkan beton bertulang biasa (Nawy, 2001).

Kebutuhan akan gedung dengan berbagai fungsi semakin meningkat termasuk untuk wilayah terpencil yang sedang berkembang. Pembangunan wilayah terpencil saat ini digalakkan oleh pemerintah untuk meratanya kesejahteraan di masyarakat. Oleh karena itu teknologi beton prategang sangat berpotensi mempercepat pembangunan karena dapat diproduksi di pabrik dan pengerjaan sangat cepat. Bangunan-bangunan pendukung seperti rumah sakit, dan gedung sekolah, perkantoran dan lainnya disamping fungsinya juga mempunyai nilai investasi yang cukup tinggi. Untuk itu perlu direncanakan dengan baik dan memenuhi kaidah-kaidah berdasarkan peraturan yang berlaku. Rumah sakit merupakan bangunan yang diprioritaskan harus selamat dari bencana dan masuk sebagai bangunan dengan kategori desain seismic

(KDS) IV. Maka dari itu perihungan beban-beban, lokasi dan penggunaan material serta sistem struktur sangat penting diperlukan.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan kajian terhadap teknik pemodelan sebuah gedung rumah sakit yang berada pada wilayah gempa tinggi termasuk pulau Nusa Penida. Tujuan kajian ini untuk mendapatkan teknik praktis dan umum yang diperlukan dalam pemodelan dan analisis struktur hingga mendapatkan dimensi yang memenuhi persyaratan. Material direncanakan menggunakan beton bertulangan dan mengadopsi sistem beton prategang pada balok dan pelat. Namun pada tahap pemodelan diasumsikan semua pertemuan balok-kolom-pelat diasumsikan menyatu sempurna, dan desain pondasi tidak dilakukan. Kajian desain balok rategang sistem sambungan dan perencanaan pondasi akan ditinjau pada kajian berikutnya.

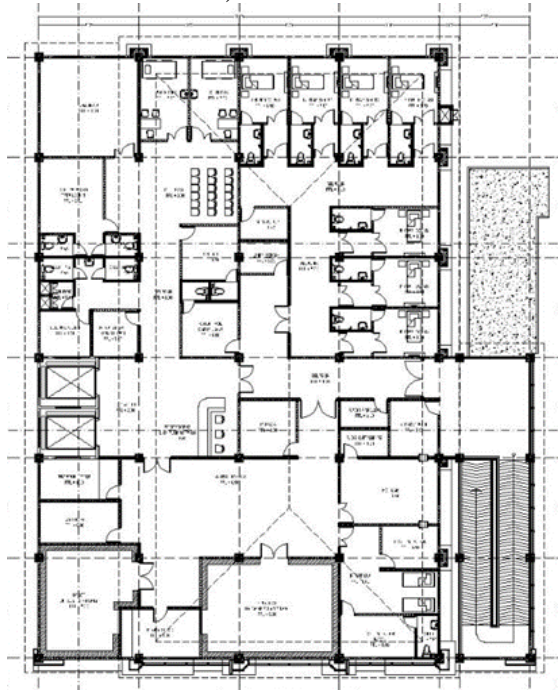
METODE

Struktur Gedung

Bangunan yang dikaji dan alasan pemilihan sebagai bahan studi adalah sebagai berikut berikut:

- a) Fungsi gedung adalah sebagai rumah sakit karena kebutuhan masyarakat akan fasilitas kesehatan sangat penting, bangunan termasuk KDS IV, dan memiliki nilai investasi yang tinggi.
- b) Lokasi bangunan direncanakan dibangun di Nusa Penida Klungkung karena fasilitas kesehatan di daerah tersebut hanya sebatas klinik atau puskesmas sehingga perlu dibangun sebuah rumah sakit guna memudahkan masyarakat untuk mendapatkan pelayanan kesehatan yang lebih baik.
- c) Kondisi tanah didasarkan pada hasil pengujian tanah yang sebenarnya yang terdiri dari hasil boring dan hasil test sondir. Hasil tersebut menunjukkan kondisi tanah sedang atau termasuk kelas situs D.
- d) Kondisi lahan bangunan diambil mengikuti perencanaan yang sebelumnya dilakukan oleh (Maharani et al., 2020). Bangunan memiliki luas lahan: 5890 m² dan luas bangunan: 1920 m² dengan jumlah tingkat empat.
- e) Pemodelan dan analisis struktur menggunakan software komersial SAP2000 v.19.

- f) Struktur diasumsikan terjepit pada level sloof dan analisis terfokus pada struktur atas.
 g) Pembebanan dan desain struktur mengacu pada SNI 1726 2012, SNI 1727 2013 dan SNI 2847 2013).



Gambar 1. Layout Gedung

Pembebanan

Beban hidup untuk rumah sakit adalah ruang operasi $2,87 \text{ kN/m}^2$, ruang pasien: $1,92 \text{ kN/m}^2$, dan loby/ruang tunggu: $4,79 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan beban mati meliputi berat sendiri struktur dan beban tambahan. Berat sendiri struktur dihitung oleh program dengan fitur *self weigh multiply* diberikan faktor nilai 1, sehingga program menghitung berdasarkan dimensi dan berat jenis materialnya. Beban tambahan yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

- Beban plesteran: $3,64 \text{ kN/m}^2$
- Beban plafond: $0,177 \text{ kN/m}^2$
- Beban MEP: $0,245 \text{ kN/m}^2$
- Beban spesi: $0,824 \text{ kN/m}^2$
- Beban keramik: $0,235 \text{ kN/m}^2$
- Beban lantai: $1,059 \text{ kN/m}^2$

Khusus beban gempa dihitung berdasarkan lokasi bangunan yang dititikkan sesuai dengan peta wilayah gempa dengan parameter diambil dari Puskim PU (2011) melalui laman puskim.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. Pada program SAP2000, definisi

beban gempa menggunakan *autoload* dengan input data seagai berikut:

- Periode struktur (sesuai hasil pemodelan)
- Faktor keutamaan ($I_e = 1,5$ kategori resiko IV)
- Amplifikasi defleksi ($C_d = 5,5$)
- Site class D
- $S_S = 0,979$
- $S_1 = 0,370$
- Long Period Transition : 4 detik

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi dan faktor beban yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada SNI 1847-2013. Kombinasi beban yang menentukan desain adalah yang memberikan nilai maksimum dari kombinasi beban hidup (L), beban hidup beban mati (D), beban gempa (E), beban angin (W), maupun beban air hujan (R). Beberapa kombinasi tersebut diantaranya:

- $1,4D$
- $1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- $1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
- $1,2D + 1,0E + L$
- $0,9D + 1,0W$
- $0,9D + 1,0E$

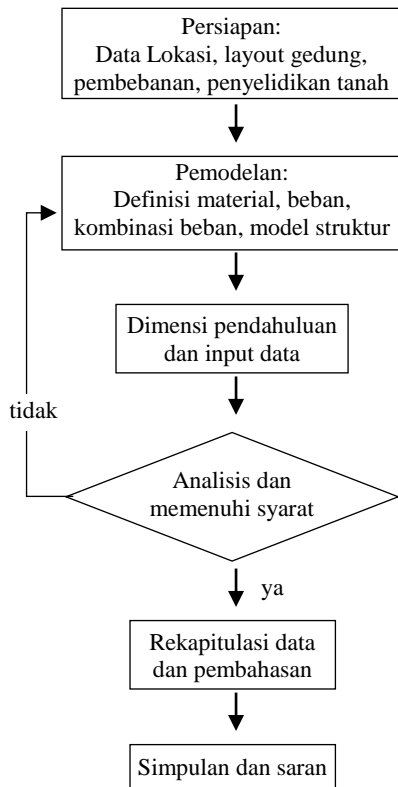
Alur Analisis

Kajian diawali dengan pembuatan model struktur rencana berdasarkan gambar rencana pada program SAP2000. Setelah itu dilanjutkan dengan mendefinisikan material yang mengacu pada ketentuan penggunaan material pada sistem beton prategang. Mutu beton f'_c 25 MPa, mutu baja tulangan f_y 360 MPa (*longitudinal*) dan f_y 240 MPa (*confinement*), serta tendon prategang f_t 1860 MPa. Estimasi dimensi atau dimensi pendahuluan elemen struktur mengacu pada ketentuan dari SNI 2847 2013 untuk menentukan dimensi awal pelat, balok, dan kolom. Definisi beban gravitasi mengacu pada SNI 1727 2013 dan beban gempa sesuai SNI 1726 2012 yang diinput fitur *load pattern* dan *load case*. Setelah definisi beban, dilanjutkan dengan mendefinisikan kombinasi pembebanan pada fitur *load combination*.

Setelah semua material, dimensi pendahuluan, dan pembebanan, kemudian dilanjutkan dengan menginput data pada model struktur yang telah dibuat. Kemudian dilanjutkan dengan menjalankan analisis (*run analysis*). Hasil analisis direkapitulasi berupa

data lendutan, simpangan, dan hasil desain dimensi dan penulangan. Jika kriteria lendutan, simpangan dan dimensi dan penulangan tidak terpenuhi, maka dilakukan perbaikan dimensi kembali. Desain balok dan pelat prategang tidak dilakukan pada tahap ini, tetapi dilakukan pada kajian berikutnya.

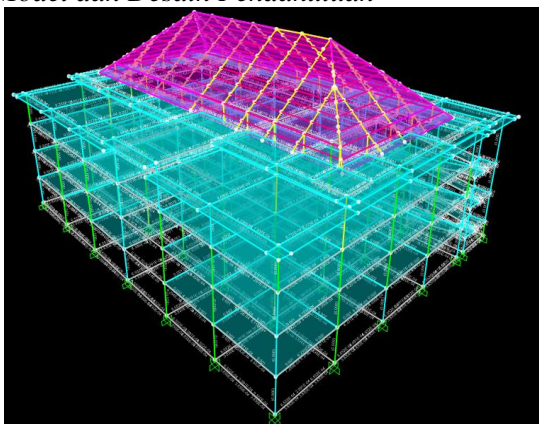
Alur kajian ini dapat disimak pada bagan berikut:



Gambar 2. Bagan Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model dan Desain Pendahuluan



Gambar 3. Model 3D Struktur

a. Dimensi Pelat

Untuk menentukan tebal pelat mengacu pada SNI 2847-2013. Dengan mutu tulangan 360 MPa, tebal pelat dihitung dari panjang bentang dibagi dengan 36 ($L_n/36$). Dengan bentang 800 cm maka digunakan tebal pelat 20 cm, karena menggunakan sistem perategang maka tebal pelat 15 cm.

b. Dimensi Balok

Perhitungan balok digunakan rumus $\frac{1}{20} - \frac{1}{30} \times$ bentang. Dalam perencanaan struktur gedung rumah sakit ini menggunakan $\frac{1}{20} \times$ bentang untuk balok induk dan $\frac{1}{30} \times$ bentang untuk balok anak. Berdasarkan hasil analisis dengan panjang bentang 800 cm, diperoleh dimensi balok induk 25/40 cm. Untuk dimensi sloof menggunakan $\frac{1}{15} \times$ bentang dengan dimensi hasil 30/50 cm.

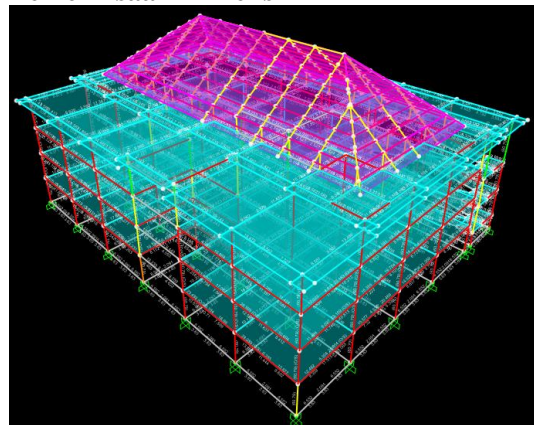
c. Dimensi Kolom

Dimensi pendahuluan kolom digunakan rumus $P = 1,2D + 1,6L$ dan luas penampang kolom ditentukan sebesar $A = P/0,3f'_c$. Berdasarkan hasil perhitungan dan pembulatan dimensi, diperoleh dimensi kolom sebagai berikut:

Tabel 1. Dimensi pendahuluan kolom

Tingkat	Beban total (KN)	Parameter penampang		
		Luas, A (mm)	Lebar C1 (mm)	Panjang C2 (mm)
1	2462	202500	450	450
2	1821	160000	400	400
3	1180	122500	350	350
4	539	90000	300	300

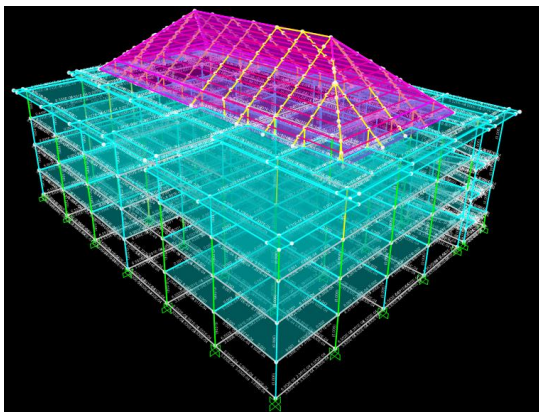
Pemeriksaan Dimensi



Gambar 4. Pemeriksaan dimensi pendahuluan

Setelah menjalankan analisis langsung dapat dilakukan pemeriksaan dimensi dengan fitur *start design/check of structure*. Dengan fitur ini program akan mendesain luas tulangan yang diperlukan pada setiap elemen balok dan kolom berdasarkan besar gaya-gaya dalam yang diterimanya. Adapun luas tulangan yang diperlukan akan ditunjukkan dengan angka kebutuhan luas tulangan untuk lentur, geser, dan torsi. Jika elemen struktur tidak memenuhi syarat atau kapasitasnya lebih kecil dari kebutuhan, maka akan muncul kode *o/s* (*overstress*) yang diikuti dengan warna balok atau kolom berwarna merah.

Berdasarkan gambar diatas, masih terlihat beberapa elemen struktur yang berwarna merah dan muncul kode *o/s*, maupun pada kolom yang batas melebihi rasio tulangan yaitu 6%. Sehingga perlu dilakukan perbaikan dimensi balok dan kolom dilakukan dengan memperbesar dimensinya setelah itu jalankan kembali analisisnya dan periksa dimensinya. Cara ini beberapa kali melakukan (*trial and error*) hingga mendapatkan dimensi yang sesuai dengan persyaratan dan tidak muncul lagi kode *o/s* atau warna batang tidak ada yang merah.



Gambar 5. Hasil pemeriksaan dimensi akhir

Dimensi balok dan kolom diperbesar setelah dilakukan dengan cara *trial and error* didapatkan dimensi akhir yang memenuhi syarat adalah sebagai berikut:

- a. Dimensi balok induk : 40/60 cm
- b. Dimensi balok pelat talang : 35/55 cm
- c. Dimensi balok pelat atap : 30/50 cm
- d. Dimensi kolom lt dasar : 60/60 cm
- e. Dimensi kolom lt 1 : 55/55 cm
- f. Dimensi kolom lt 2 : 50/50 cm
- g. Dimensi kolom lt 3 : 45/45 cm

Lendutan dan Simpangan

a) Lendutan

Lendutan diukur pada bagian tengah bentang setiap balok akibat beban layan ($D+L$). Syarat lendutan atau lendutan ijin berdasarkan SNI 2817 – 2013 yaitu sebesar $l/360$. Panjang bentang (l) merupakan bentang total balok dihitung dari as-as kolom yang berdekatan. Panjang balok adalah 8,0 m, maka lendutan maksimum yang diijinkan adalah sebesar $8000/360 = 22$ mm. Perbandingan lendutan yang terjadi dan lendutan ijin disajikan dalam bentuk lendutan maksimum masing-masing lantai yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Lendutan pada balok

Tingkat	Dimensi Balok (b/h) mm	Lendutan Maks (mm)	Lendutan Ijin (mm)
1	40/60	4,92	22,2
2	40/60	3,28	22,2
3	40/60	4,08	22,2
4	30/50	4,65	22,2

Data pada tabel 3 menunjukkan semua lendutan yang terjadi pada balok memenuhi persyaratan dengan tidak ada yang melebihi lendutan maksimum yang diijinkan.

b) Simpangan

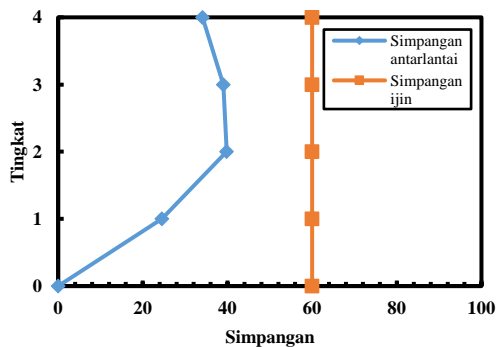
Simpangan maksimum diukur pada arah X dan arah Y sumbu bangunan akibat beban gempa rencana. Simpangan antarlantai dihitung mengikuti ketentuan dari SNI 1726 2012 dan dibatasi oleh simpangan maksimum ijin. Adapun perhitungan simpangan antarlantai dihitung dengan $\Delta_x = C_d \delta_e / I_e \leq \Delta_a$, dimana Δ_x adalah simpangan antar lantai yang terjadi, C_d faktor pembesaran yang bernilai 5,5, I_e faktor keutamaan gedung nilainya 1,5 (sesuai kategori resiko), dan δ_e merupakan simpangan pada tingkat yang ditinjau yang terjadi akibat gempa rencana. Sedangkan perhitungan simpangan ijin antar tingkat (Δ_a) yaitu $\Delta_a = 0,010 h_{sx}$ sesuai dengan kategori resiko VI dan struktur dengan sistem rangka sebagai penahan momen dan h_{sx} adalah tinggi tingkat yang ditinjau. Hasil perhitungan simpangan antar tingkat dapat diperhatikan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Sedangkan grafik simpangan antar tingkat disajikan Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 3. Simpangan Antar Lantai Arah X

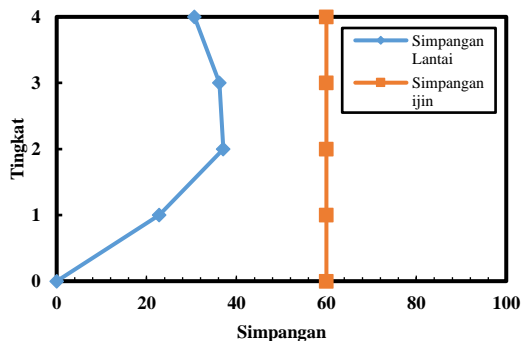
Tingkat	Ketinggian tingkat (m)	(δ_{ex}) Perpindahan tingkat (mm)	(δ) perpindahan yang diperbesar per tingkat	(Δ) Simpangan Antar tingkat (mm)	(Δa) Simpangan Ijin (mm)
4	16	24.99	137.445	34.10	60
3	12	18.79	103.35	39.00	60
2	8	11.7	64.35	39.82	60
1	4	4.46	24.53	24.53	60
Dasar	0	0	0	0	0

Tabel 4. Simpangan Antar Lantai Arah Y

Tingkat	Ketinggian tingkat (m)	(δ_{ex}) Perpindahan tingkat (mm)	(δ) perpindahan yang diperbesar per tingkat	(Δ) Simpangan Antar tingkat (mm)	(Δa) Simpangan Ijin (mm)
4	14.8	23.04	126.72	30.64	60
3	11.3	17.47	96.09	36.19	60
2	7.8	10.89	59.90	37.07	60
1	4.3	4.15	22.83	22.83	60
Dasar	0	0	0	0	0



Gambar 6. Simpangan antar tingkat arah X



Gambar 7. Simpangan antar tingkat arah Y

Berdasarkan data pada tabel dan gambar diatas, simpangan antarlantai maksimum yang terjadi akibat beban gempa rencana tidak ada yang melampaui batas maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan telah memenuhi persyaratan berdasarkan kebutuhan tulangan, geometri, lendutan dan simpangan. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat gambar struktur.

d. Dimensi akhir

Dimensi elemen struktur berupa tebal pelat, dimensi kolom, dan dimensi balok disajikan pada Tabel 5. Hasil pemodelan dan analisis struktur bangunan rumah sakit dalam studi ini telah dilakukan dan meniadakan dimensi akhir yang siap untuk digunakan acuan dalam membuat gambar kerja.

Tabel 5. Dimensi akhir

Kode	Tipe	Lebar (mm)	Tinggi/ tebal (mm)
P1	Pelat		150
B1	Balok	400	600
B2	Balok	350	500
B3	Balok	300	500
K1	Kolom	600	600
K2	Kolom	550	550
K3	Kolom	500	500
K4	Kolom	450	450

SIMPULAN

Pemodelan dan struktur bangunan menggunakan program komputer SAP2000 perlu memperhatikan hal-hal seperti persyaratan yang berlaku. Di Indonesia ada tiga standar utama dalam mendesain struktur bangunan dengan material beton bertulang yaitu SNI 1726 2012, SNI 1727 2013, dan SNI

2847 2013. Pemodelan diawali dengan membuat model sesuai dengan layout rencana, dilanjutkan dengan definisi material, definisi beban (gravitasi dan gempa), definisi kombinasi pembebanan, dan melakukan input data pada model. Selanjutnya analisis dijalankan dan dilakukan pemeriksaan dimensi dan kebutuhan tulangan, lendutan dan simpangan. Data hasil analisis dikontrol dengan persyaratan berdasarkan peraturan yang berlaku antara lain rasio tulangan maksimum, lendutan ijin, dan simpangan ijin.

Hasil pemodelan dan analisis struktur mendapatkan dimensi elemen struktur yang memenuhi syarat antara lain tebal pelat 15cm dan dimensi balok ada tiga tipe yaitu B1 40x60cm, B2 35x50cm, dan B3 30x50cm. Sedangkan dimensi kolom terdapat empat tipe yaitu K1 60x60cm, K2 55x55cm, K3 50x50cm, dan K4 45x45cm. Lendutan pada balok maksimum terjadi pada tingkat 1 (pertama) yaitu 4,92mm pada balok B1 40x60cm. Namun lendutan ini masih lebih kecil dari lendutan maksimum yang diijinkan yaitu 22,2mm. Simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada tingkat 1 dan tingkat 2 dengan nilai 39,82mm untuk arah X dan 37,07mm untuk arah Y. Nilai simpangan antar tingkat yang terjadi masih lebih kecil dari nilai simpangan antar tingkat ijin yaitu 60mm.

Pemeriksaan analisis yang lebih kompleks perlu dilakukan dalam hal pemeriksaan periode struktur, gaya geser dasar, ketidakberaturan struktur maupun tingkat lunak. Pemodelan dan analisis juga tidak hanya dilakukan pada batas-batas elastis dari material dan gempa. Analisis perlu dilakukan pada pada tingkat kinerja (*pushover analysis*) maupun analisis riwayat waktu (*time history analysis*).

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318 (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*.
- Badan Standardisasi Nasional (2012) *SNI-1726:2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2013) *SNI 1727-2013: Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2013) *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Maharani, I. D. A. R., Wibawa, I. M. S. and Wiryadi, I. G. G. (2020) 'Perancangan Struktur Gedung Rumah Sakit dengan Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus', *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik Kurva Teknik*, 10(2), pp. 11–19.
- Nawy, E. G. (2001) *Beton prategang: Suatu Pendekatan Dasar*. 3rd edn. Jakarta: Erlangga.
- PuskimPU (2011) *Desain Spektra Indonesia, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman*.
- Sudarsana, I. K., Giri, I. B. D. and Wiryadi, I. G. G. (2014) 'Efek Penambahan Dinding Geser atau Perimeter Beams Terhadap Perilaku Dinamis Struktur Pelat Datar Empat Tingkat', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(1).
- Wiryadi, I. G. G. and Sudarsana, I. K. (2019) 'Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas dan Luas Tulangan', *Jurnal Spektran*, 7(2), pp. 187–194.