

ANALISIS STRUKTUR ATAS PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT MURNI TEGUH SUSANNA WESLEY MEDAN

Siti Aisyah¹, Palghe Tobing², Parman³, Mizanuddin Sitompul⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Medan

Email: aisyahsiti@students.polmed.ac.id

Abstrak: Pembangunan rumah sakit bertingkat menjadi solusi keterbatasan lahan di perkotaan seperti Kota Medan, contohnya pada proyek Rumah Sakit Murni Teguh Susanna Wesley. Untuk memastikan struktur bangunan aman dan sesuai ketentuan teknis, dilakukan analisis struktur menggunakan SAP2000 dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 2847:2019 dan gempa berdasarkan SNI 1726:2019. Hasil analisis menunjukkan tidak ada elemen yang mengalami overstress. Ditemukan beberapa ketidakberaturan horizontal, dan ketidakberaturan massa. Sistem struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan kategori KDS D. Rasio pada kolom tertinggi adalah $2,11\% < 6\%$, dan rasio pengecekan kapasitas kolom sebesar $0,89 < 1,0$. Momen terfaktor tertinggi pada balok (400×700 mm) sebesar 591,517 kNm, sedangkan kapasitas nominal balok (ϕM_n) sebesar 648,178 kNm, sehingga memenuhi syarat $\phi M_n \geq M_u$. Lendutan total plat lantai tertinggi dari yang ditinjau adalah 10,996 mm masih lebih kecil dari $L/240$ (14,583 mm). Dengan demikian, struktur dinyatakan aman dan memenuhi ketentuan teknis.

Kata kunci: Analisis Struktur, SAP2000, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019.

Abstract: The construction of a multi-story hospital is a solution to land limitations in urban areas such as Medan City, for example in the Murni Teguh Susanna Wesley Hospital project. To ensure the building structure is safe and in accordance with technical provisions, a structural analysis was conducted using SAP2000 with a combination of loading according to SNI 2847:2019 and earthquakes based on SNI 1726:2019. The analysis results showed that no elements experienced overstress. Several horizontal irregularities and mass irregularities were found. The structural system uses a Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) with KDS category D. The ratio of the highest column is $2.11\% < 6\%$, and the column capacity check ratio is $0.89 < 1.0$. The highest factored moment on the beam (400×700 mm) is 591.517 kNm, while the nominal capacity of the beam (ϕM_n) is 648.178 kNm, thus fulfilling the requirements of $\phi M_n \geq M_u$. The highest total deflection of the floor slab examined was 10,996 mm, still smaller than the $L/240$ standard (14,583 mm). Therefore, the structure is considered safe and meets technical requirements.

Keywords: Structural Analysis, SAP2000, SNI 2847:2019, SNI 1726:2019.

PENDAHULUAN

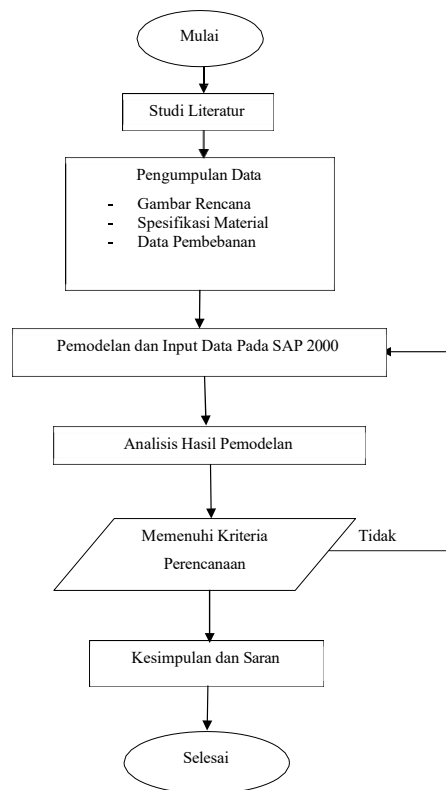
Pertumbuhan penduduk yang pesat di Kota Medan, serta meningkatnya minat masyarakat dari berbagai daerah untuk memanfaatkan layanan kesehatan di kota ini, telah mendorong peningkatan kebutuhan akan fasilitas kesehatan yang lebih memadai. Di sisi lain, keterbatasan lahan di kawasan perkotaan menjadi tantangan utama dalam pengembangan rumah sakit. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, pembangunan gedung bertingkat menjadi pilihan yang paling tepat, karena mampu mengoptimalkan penggunaan lahan sekaligus menyediakan ruang pelayanan yang lebih luas.

Salah satu contohnya adalah pembangunan Rumah Sakit Murni Teguh Susanna Wesley di Kota Medan. Sebagai fasilitas layanan kesehatan, rumah sakit memiliki tingkat risiko yang tinggi apabila terjadi bencana seperti gempa bumi, karena di dalamnya terdapat pasien, tenaga medis, serta peralatan penting yang harus tetap berfungsi. Oleh karena itu, struktur rumah sakit harus direncanakan dengan standar keselamatan yang ketat agar tetap aman, nyaman, dan mampu mempertahankan fungsinya meskipun dalam kondisi darurat.

Pembangunan gedung sering menghadapi penyesuaian lapangan yang dapat memengaruhi ketahanan bangunan sehingga analisis struktur diperlukan untuk memastikan bangunan aman dan sesuai ketentuan teknis. Software SAP2000 membantu perhitungan dan simulasi kekuatan bangunan serta memenuhi standar seperti SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019, dengan kemampuan pemodelan dua dan tiga dimensi, metode elemen hingga, analisis berbagai jenis struktur, serta kombinasi pembebanan yang fleksibel sehingga dapat mengevaluasi dan memastikan kinerja struktur sesuai desain.

METODE PENELITIAN

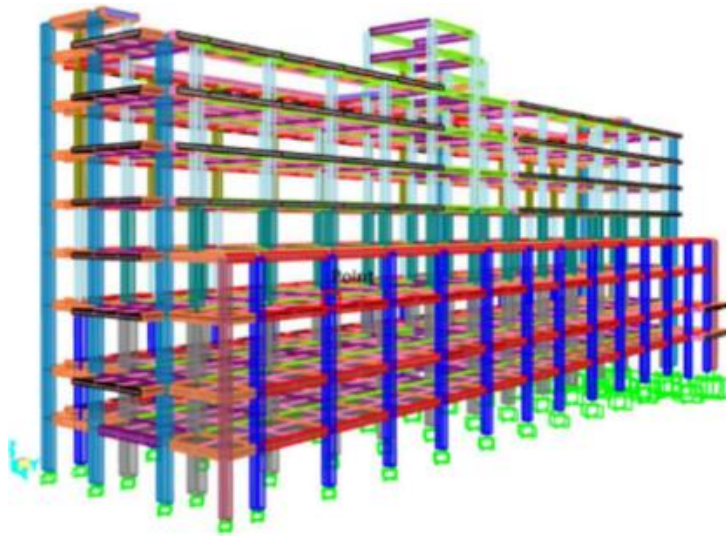
Secara garis besar langkah-langkah penelitian ini disajikan diagram alur penelitian sebagai berikut:

**Gambar 1 Diagram Alur Penelitian**

Sumber : Pribadi.

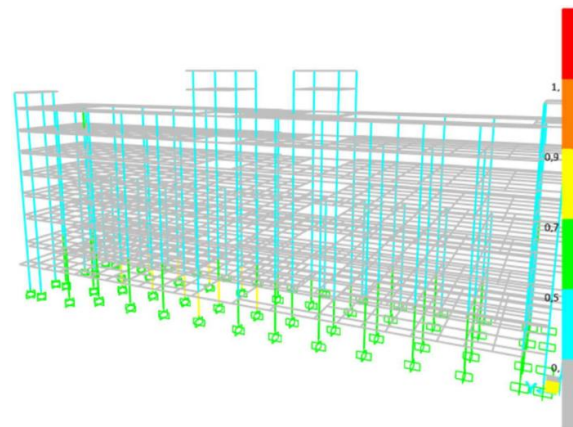
Pemodelan

Pemodelan struktur di SAP2000 diawali dengan memilih menu file dan New Model serta mengatur satuan yang akan digunakan, kemudian pada tab define → Coordinate Systems dilakukan penyesuaian grid line dengan denah rencana. Sebelum memasukkan data dimensi struktur, didefinisikan material berupa beton dan baja, di mana beton untuk kolom, balok, dan pelat memiliki kuat tekan f_c' 25 MPa (K-300) dari hasil pengujian laboratorium sipil, sedangkan baja menggunakan BJTP 280 (f_y 280 MPa) dan BJTS 420 (f_y 420 MPa). Tahap berikutnya adalah mendefinisikan penampang melalui define → section properties → frame sections → add new property dengan memilih concrete serta menyesuaikan ukuran, material, dan reinforcement data untuk kolom atau balok, sementara untuk pelat lantai digunakan define → section properties → area sections dengan jenis pelat shell yang ketebalan dan materialnya disesuaikan dengan gambar rencana. Pemodelan bangunan kemudian dilakukan menggunakan menu draw frame untuk kolom dan balok serta draw poly area untuk pelat lantai, sehingga menghasilkan tampilan pemodelan pada program SAP2000 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemodelan Struktur Bangunan di SAP2000

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4 Hasil *Check* Struktur Pemodelan

Berdasarkan hasil analisis pemodelan, semua elemen yang dimodelkan tidak menunjukkan over stressed.

a) Perhitungan Berat Seismik

S Base Reactions								
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted								
Filter:								
	OutputCase	CaseType	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf	GlobalMX Kgf-m	GlobalMY Kgf-m	GlobalMZ Kgf-m
	LIVE	LinStatic	0	0	3156592,34	159687583,1	-36782597	0
	SDL	LinStatic	-2,04	0	2246424,75	113582487,3	-26060567,1	54,5
►	DL	LinStatic	-2,04	0	14347342,74	731351235	-173504467	54,5

Gambar 5 *Output Base Reactions*

Berat keseluruhan struktur dapat dilihat pada kolom *GlobalFz*. Berat total seismik efektif untuk desain adalah :

$$W_{total} = 18.177.862,51 \text{ kg}$$

b) Kontrol Partisipasi Massa

Tabel 2 *Output* Partisipasi Massa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2,543	0,000	0,710
MODAL	Mode	2	2,413	0,700	0,720
MODAL	Mode	3	2,204	0,710	0,770
MODAL	Mode	4	0,829	0,710	0,870
MODAL	Mode	5	0,753	0,840	0,870
MODAL	Mode	6	0,684	0,840	0,870
MODAL	Mode	7	0,441	0,840	0,930
MODAL	Mode	8	0,366	0,890	0,930
MODAL	Mode	9	0,325	0,890	0,960
MODAL	Mode	10	0,273	0,890	0,960
MODAL	Mode	11	0,236	0,890	0,960
MODAL	Mode	12	0,216	0,900	0,960

Berdasarkan hasil analisis pada tabel di atas menunjukkan bahwa analisis dinamik partisipasi massa sudah mencapai > 90 %, hal ini sudah sesuai dengan persyaratan.

c) Pemilihan Jenis Ragam

Tabel 3 Periode Getar Alami

Modal	Period (T)	ΔT
1	2,543	5,076
2	2,413	8,696
3	2,204	62,392
4	0,829	9,115
5	0,753	9,175
6	0,684	35,495
7	0,441	17,069
8	0,366	11,243
9	0,325	15,842
10	0,273	13,496
11	0,236	8,475
12	0,216	100,000

Berdasarkan hasil analisis pada tabel di atas, terdapat beberapa mode dengan selisih periode yang berdekatan ($>15\%$) dan beberapa lainnya berjauhan, maka secara keseluruhan disarankan menggunakan metode metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC).

d) Kontrol *Base Shear*

S Base Reactions									
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted									
Filter:									
	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
	EQx	LinStatic		-4594,746	0	0	0	-125218,043	237840,5543
	EQy	LinStatic		0	-4594,746	0	125218,0426	0	-50799,2356
	Rx	LinRespSpec	Max	5610,557	199,622	201,672	13164,1011	126875,0575	290655,389
►	Ry	LinRespSpec	Max	210,48	5470,522	116,079	121299,7434	4854,9554	65855,1556

Gambar 6 Output *Base Shear*

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1, besarnya gaya geser dasar hasil analisis dinamik ($V_{dinamik}$) harus lebih besar dari atau sama dengan 100% gaya geser dasar hasil analisis statik (V_{statik}). Jika ternyata $V_{dinamik}$ lebih kecil, maka perlu dilakukan penyesuaian dengan menggunakan faktor skala. Besaran $V_{dinamik}$ diambil dari hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak, sedangkan nilai 100% V_{statik} dihitung sebagai pembanding. Nilai-nilai tersebut ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4 Kontrol *Base Shear*

Base shear	Dinamik (V_d) kN	Statik (V_s) kN	Faktor skala V_s/V_d	kontrol $V_d \geq 100\%V_s$
arah x	5610,557	4594,746	0,81895	OK
arah y	5470,522	4594,746	0,83991	OK

Dilihat dari tabel diatas, bahwa kontrol terhadap *base shear* memenuhi syarat $V_{dinamik} > 100\% V_{statik}$.

e) Pemeriksaan Simpangan Antarlantai

Tabel 5 Kontrol Simpangan Antarlantai

Lantai	Hsx (mm)	δx (mm)	δy (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δa (izin) (mm)	Keterang an
10	3000	110,830	106,073	16,377	10,327	30,000	OK
9	4100	106,364	103,256	27,677	17,869	41,000	OK
8	4200	98,816	98,383	36,908	23,566	42,000	OK
7	4200	88,750	91,956	44,277	34,361	42,000	OK
6	4200	76,674	82,585	51,814	44,832	42,000	FALSE
5	4200	62,543	70,358	54,157	50,080	42,000	FALSE
4	4500	47,773	56,700	56,728	56,716	45,000	FALSE
3	5600	32,302	41,232	63,690	75,932	56,000	FALSE
2	4200	14,932	20,523	35,886	46,510	42,000	OK
1	4500	5,145	7,839	18,865	28,741	45,000	OK

Base	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	OK
------	---	-------	-------	-------	-------	-------	----

Berdasarkan hasil perhitungan tabel di atas, defleksi pada pusat massa di bawah dan di atas lantai yang ditinjau ditemukan pada lantai 3 sampai lantai 6 simpangan yang melebihi batas simpangan izin. Adapun saran perbaikan berupa penambahan dimensi kolom atau dengan menambahkan dinding geser (shear wall).

f) Cek Ketidakberaturan Struktur Horizontal

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.3.2, struktur bangunan perlu diklasifikasikan sebagai beraturan atau tidak beraturan. Klasifikasi ini didasarkan pada konfigurasi geometris bangunan secara horizontal dan vertikal, dengan kriteria yang tercantum dalam pasal tersebut.

1. Cek Ketidakberaturan Horizontal Torsi 1a dan Torsi Berlebihan 1b

Ketidakberaturan torsi terjadi ketika besarnya perpindahan maksimum antar lantai, termasuk efek torsi yang tidak terduga dengan faktor $A_x = 1,0$ di satu sisi struktur terhadap sumbu tertentu, lebih besar 1,2 kali rata-rata perpindahan antar lantai dari kedua sisi struktur. Torsi berlebihan terjadi jika perpindahan maksimum tersebut melebihi 1,4 kali rata-rata perpindahan antar lantai dari kedua sisi struktur.

Tabel 6 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Torsi 1a dan 1b Arah X

Lantai	δ_{max}	δ_{min}	ΔA	ΔB	Δ_{avg}	Δ_{max}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	avg	>1,2	>1,4
Lantai 8	105,65 2	92,091	10,502	9,637	10,069	10,502	1,043	Regular	Regular
Lantai 7	95,150	82,454	12,704	11,458	12,081	12,704	1,052	Regular	Regular
Lantai 6	82,446	70,996	14,900	13,374	14,137	14,900	1,054	Regular	Regular
Lantai 5	67,546	57,622	15,621	13,932	14,777	15,621	1,057	Regular	Regular
Lantai 4	51,925	43,690	16,438	14,520	15,479	16,438	1,062	Regular	Regular
Lantai	35,486	29,170	18,594	16,166	17,380	18,594	1,070	Regular	Regular

Lantai	$\delta_{\max}$	$\delta_{\min}$	ΔA	ΔB	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	avg	>1,2	>1,4
3									
Lantai 2	16,893	13,003	10,645	8,943	9,794	10,645	1,087	Regular	Regular
Lantai 1	6,248	4,060	6,248	4,060	5,154	6,248	1,212	Irregular	Regular

Tabel 7 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Torsi 1a dan 1b Arah Y

Lantai	$\delta_{\max}$	$\delta_{\min}$	ΔA	ΔB	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	avg	>1,2	>1,4
Lantai 8	99,591	96,830	6,478	6,361	6,420	6,478	1,009	Regular	Regular
Lantai 7	93,113	90,468	9,438	9,286	9,362	9,438	1,008	Regular	Regular
Lantai 6	83,675	81,183	12,328	12,097	12,212	12,328	1,009	Regular	Regular
Lantai 5	71,347	69,086	13,818	13,453	13,635	13,818	1,013	Regular	Regular
Lantai 4	57,529	55,633	15,712	15,154	15,433	15,712	1,018	Regular	Regular
Lantai 3	41,817	40,479	21,013	20,317	20,665	21,013	1,017	Regular	Regular
Lantai 2	20,804	20,161	12,864	12,453	12,659	12,864	1,016	Regular	Regular
Lantai 1	7,940	7,708	7,940	7,708	7,824	7,940	1,015	Regular	Regular

Berdasarkan hasil pengecekan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b pada joint yang ditinjau, arah x didapat 1 ketidakberaturan 1a, sedangkan arah y tidak ditemukan adanya ketidakberaturan torsi 1a dan 1b.

2. Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam

Tabel 8 Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lantai	Arah X				Arah y			
	Lx (m)	Px(m)	Px/Lx	Px/Lx>15%	Ly(m)	Py(m)	Py/Ly	Py/Ly>15%
Lantai Dak atap	19,75	3,75	18,99	Ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 8	19,75	3,75	18,99	Ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 7	19,75	3,75	18,99	Ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 6	19,75	3,75	18,99	Ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 5	25,25	2,25	8,91	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 4	25,25	2,25	8,91	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam
Lantai 3	27,27	2,45	8,98	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberaturan sudut dalam

				an sudut dalam				an sudut dalam
Lantai 2	27,27	2,45	8,98	Tidak ada ketidakberatur an sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberatur an sudut dalam
Lantai 1	27,27	2,45	8,98	Tidak ada ketidakberatur an sudut dalam	99,2	8	8,06	Tidak ada ketidakberatur an sudut dalam

Berdasarkan hasil pemeriksaan analisis ketidakberaturan sudut dalam pada denah struktur, ditemukan bahwa arah x mengalami ketidakberaturan pada tingkat lantai 6 sampai lantai dak atap. Sementara itu, pada arah y, tidak didapati memiliki ketidakberaturan sudut dalam. Berikut pada *Tabel 4.7* hasil pengecekannya.

3. Cek Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Tabel 8 Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lantai	Luas lantai bruto (m2)	Luas void lantai (m2)	Luas diafragma tertutup (m2)	Rasio %
Dak Atap	1959,20	873,24	2832,44	44,57
Lantai 8	1959,20	186,20	2145,40	9,50
Lantai 7	1959,20	186,20	2145,40	9,50
Lantai 6	1959,20	186,20	2145,40	9,50
Lantai 5	2504,80	186,20	2691,00	7,43
Lantai 4	2504,80	186,20	2691,00	7,43
Lantai 3	2705,18	186,20	2891,38	6,88
Lantai 2	2705,18	323,10	3028,28	11,94
Lantai 1	2705,18	144,20	2849,38	5,33

Berdasarkan hasil pengecekan pada tabel di atas, diketahui bahwa luas void terbesar terdapat pada dak atap, yaitu sebesar 873,24 m² dengan rasio terhadap luas lantai bruto mencapai 44,57%, namun masih di bawah batas 50% sesuai ketentuan SNI 1729:2019. Pada lantai-lantai lainnya, rasio void terhadap luas lantai bruto berkisar antara 5,33% hingga 11,94% yang juga masih jauh di bawah batas maksimum 50 %.

Dengan demikian, bangunan ini tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, karena seluruh rasio luas void per lantai < 50%.

4. Cek Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Dalam hal ini, elemen vertikal yang berfungsi sebagai pemikul gaya lateral ialah kolom. Berdasarkan hasil pengamatan pada gambar struktur, elemen vertikal pemikul gaya lateral berupa kolom struktur terlihat tersusun secara kontinu dari dari lantai bawah hingga lantai paling atas tanpa adanya pergeseran.

5. Cek Ketidakberaturan Sistem Non-Pararel

Ketidakberaturan sistem non-paralel terjadi jika bagian vertikal pemikul gaya lateral tidak selaras dengan garis utama bangunan yang membentuk sistem pemikul gaya seismik secara ortogonal. Dari pengamatan pada gambar struktur, kolom terlihat berposisi pada arah sumbu x dan y sehingga tidak terdapat ketidakberaturan sistem non-paralel.

g) Ketidakberaturan Vertikal

Bangunan yang memiliki satu atau lebih ketidakberaturan, sebagaimana tercantum dalam tabel 14 SNI 1726:2019, harus dicantumkan memiliki ketidakberaturan vertikal.

1. Cek Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a

Tabel 10 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X

Lantai	Fx (kN)	akumulatif Vx (kN)	U1 (mm)	Δ_i (mm)	K (kN/m m)	>70%	cek	>80%	cek
						1 lt diatas		avg 3 lt diatas	
Lantai 10	1,00	1,00	0,271	0,024	41,831				
Lantai 9	1,00	2,00	0,247	0,034	59,345	29,281	Regular		

Lantai 8	1,00	3,00	0,213	0,029	101,705	41,542	Regular	40,470	Regular
Lantai 7	1,00	4,00	0,184	0,029	135,990	71,194	Regular	54,102	Regular
Lantai 6	1,00	5,00	0,154	0,031	163,143	95,193	Regular	79,211	Regular
Lantai 5	1,00	6,00	0,124	0,030	198,807	114,200	Regular	106,890	Regular
Lantai 4	1,00	7,00	0,094	0,031	228,713	139,165	Regular	132,784	Regular
Lantai 3	1,00	8,00	0,063	0,034	237,290	160,099	Regular	157,510	Regular
Lantai 2	1,00	9,00	0,029	0,019	469,925	166,103	Regular	177,283	Regular
Lantai 1	1,00	10,00	0,010	0,010	991,965	328,947	Regular	249,581	Regular
Base	1,00		0,00	0,00					

Tabel 11 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y

Lantai	Fy (kN)	akumulatif Vy (kN)	U2 (mm)	Δi (mm)	K (kN/m ²)	>70% 1 lt diatas	cek	>80% avg 3 lt diatas	cek
Lantai 10	1,00	1,00	0,269	0,029	35,068				
Lantai 9	1,00	2,00	0,240	0,037	53,543	24,548	Regular		
Lantai 8	1,00	3,00	0,203	0,021	143,568	37,480	Regular	35,445	Regular
Lantai 7	1,00	4,00	0,182	0,022	179,429	100,498	Regular	61,915	Regular
Lantai	1,00	5,00	0,160	0,026	195,32	125,600	Regular	100,411	Regular

Lantai	Fy (kN)	akumulat if Vy (kN)	U2 (mm)	Δi (mm)	K (kN/m m)	>70% 1 lt diatas	cek	>80% avg 3 lt diatas	cek
6					8				
Lantai 5	1,00	6,00	0,134	0,027	219,74 8	136,729	Regular	138,220	Regular
Lantai 4	1,00	7,00	0,107	0,030	229,84 0	153,824	Regular	158,534	Regular
Lantai 3	1,00	8,00	0,077	0,039	207,29 7	160,888	Regular	171,977	Regular
Lantai 2	1,00	9,00	0,038	0,024	377,07 4	145,108	Regular	175,169	Regular
Lantai 1	1,00	10,00	0,014	0,014	711,99 7	263,952	Regular	217,123	Regular
Base	1,00		0,00	0,00					

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a tidak ditemukan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a, sehingga bangunan memenuhi syarat kekakuan tingkat lunak 1a.

2. Cek Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan 1b

Tabel 12 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X

Lantai	Fx (kN)	akumulat if Vx (kN)	U1 (mm)	Δi (mm)	K (kN/m m)	>60% 1 lt diatas	cek	>70% avg 3 lt diatas	cek
Lantai 10	1,00	1,00	0,271	0,024	41,831				
Lantai 9	1,00	2,00	0,247	0,034	59,345	25,098	Regular		
Lantai	1,00	3,00	0,213	0,029	101,70	35,607	Regular	35,412	Regular

Lantai	F _x (kN)	akumulat if V _x (kN)	U ₁ (mm)	Δ _i (mm)	K (kN/m m)	>60% 1 lt diatas	cek	>70% avg 3 lt diatas	cek
8					5				
Lantai 7	1,00	4,00	0,184	0,029	135,99 0	61,023	Regular	47,339	Regular
Lantai 6	1,00	5,00	0,154	0,031	163,14 3	81,594	Regular	69,309	Regular
Lantai 5	1,00	6,00	0,124	0,030	198,80 7	97,886	Regular	93,529	Regular
Lantai 4	1,00	7,00	0,094	0,031	228,71 3	119,284	Regular	116,186	Regular
Lantai 3	1,00	8,00	0,063	0,034	237,29 0	137,228	Regular	137,821	Regular
Lantai 2	1,00	9,00	0,029	0,019	469,92 5	142,374	Regular	155,122	Regular
Lantai 1	1,00	10,00	0,010	0,010	991,96 5	281,955	Regular	218,383	Regular
Base	1,00		0,00	0,00					

Tabel 13 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y

Lantai	F _y (kN)	akumula tif V _y (kN)	U ₂ (mm)	Δ _i (mm)	K (kN/m m)	>60% 1 lt diatas	cek	>70% avg 3 lt diatas	cek
Lantai 10	1,00	1,00	0,269	0,029	35,068				
Lantai 9	1,00	2,00	0,240	0,037	53,543	21,041	Regular		
Lantai 8	1,00	3,00	0,203	0,021	143,56 8	32,126	Regular	31,014	Regular
Lantai	1,00	4,00	0,182	0,022	179,42	86,141	Regular	54,175	Regular

7					9				
Lantai	1,00	5,00	0,160	0,026	195,32	107,657	Regular	87,859	Regular
6					8				
Lantai	1,00	6,00	0,134	0,027	219,74	117,197	Regular	120,942	Regular
5					8				
Lantai	1,00	7,00	0,107	0,030	229,84	131,849	Regular	138,718	Regular
4					0				
Lantai	1,00	8,00	0,077	0,039	207,29	137,904	Regular	150,480	Regular
3					7				
Lantai	1,00	9,00	0,038	0,024	377,07	124,378	Regular	153,273	Regular
2					4				
Lantai	1,00	10,00	0,014	0,014	711,99	226,244	Regular	189,982	Regular
1					7				
Base	1,00		0,00	0,00					

Berdasarkan hasil perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan 1b tidak ditemukan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan 1b, sehingga bangunan memenuhi syarat kekakuan tingkat lunak berlebihan 1b.

3. Cek Ketidakberaturan Berat (Massa)

Tabel 14 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	Massa	1,5 di lantai atas	cek	1,5 di lantai bawah	cek
	(kg)				
Atap Lift	129320,2			797490,90	Regular
Atap	531660,6	193980,30	Irregular	5921896,50	Regular
Lantai 8	3947931	797490,90	Irregular	13609483,05	Regular
Lantai 7	9072989	5921896,50	Irregular	20635114,50	Regular
Lantai 6	1375674	13609483,05	Irregular	27748882,50	Regular
	3				
Lantai 5	1849925	20635114,50	Regular	37143867,00	Regular

	5				
Lantai 4	2476257	27748882,50	Regular	46957321,50	Regular
	8				
Lantai 3	3130488	37143867,00	Regular	57056058,00	Regular
	1				
Lantai 2	3803737	46957321,50	Regular	66895389,00	Regular
	2				
Lantai 1	4459692	57056058,00	Regular		
	6				

Berdasarkan perbandingan pada tabel di atas, terjadi ketidakberaturan berat (massa) pada lantai atap, 8,7, dan lantai 6 karena lebih dari 150% berat lantai di atasnya.

1. Cek Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Tabel 15 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Perlantai

Lantai	As-8A		Lantai	As-8B	
	Dimensi kolom	Ketidakberaturan vertikal		Dimensi kolom	Ketidakberaturan vertikal
Lantai 10	700	1,00	Lantai 10	800	1,00
Lantai 9	700	1,00	Lantai 9	800	1,00
Lantai 8	700	1,00	Lantai 8	800	1,00
Lantai 7	700	1,00	Lantai 7	800	1,00
Lantai 6	700	1,00	Lantai 6	800	1,00
Lantai 5	800	1,14	Lantai 5	1000	1,25
Lantai 4	800	1,00	Lantai 4	1000	1,00
Lantai 3	900	1,13	Lantai 3	1300	1,30
Lantai 2	900	1,00	Lantai 2	1300	1,00
Lantai 1	900	1,00	Lantai 1	1300	1,00

Berdasarkan hasil perhitungan dimensi horizontal sistem penahan gaya lateral arah pada titik yang ditinjau tidak ditemukannya ketidakberaturan geometri vertikal.

2. Cek Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Pemikul Gaya Lateral

Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal penahan gaya lateral terjadi apabila terdapat pergeseran posisi bidang elemen penahan gaya lateral yang melebihi panjang elemen tersebut atau jika terdapat pengurangan kekakuan elemen penahan lateral dibandingkan dengan tingkat di bawahnya. Pada struktur ini, elemen penahan lateral berupa kolom yang tersusun secara menerus dari bawah hingga ke atas bangunan, sehingga ketidakberaturan ini tidak ditemukan.

3. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral Tingkat (5a)

Tabel 16 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal 5a

Lantai	Berat (W) kN	Tinggi (h) m	$W \times (h^k)$	C_v	V_x (kN)	V_i/V_{i+1} (kN)	Cek
Lantai 8	38715,977 54	35,55	145565 81	0,446	0,446		
Lantai 7	88975,624 63	31,35	271502 29	0,833	1,279	2,865	Regular
Lantai 6	134907,56 37	27,15	324198 58	0,994	2,273	1,777	Regular
Lantai 5	181415,71 9	22,95	329802 98	1,011	3,285	1,445	Regular
Lantai 4	242837,93 55	18,75	315598 66	0,968	4,253	1,295	Regular
Lantai 3	306996,01 13	14,25	252954 44	0,776	5,029	1,182	Regular
Lantai 2	373019,19 41	8,65	134167 22	0,411	5,440	1,082	Regular
Lantai 1	437346,44 44	4,5	531477 6	0,163	5,603	1,030	Regular
Jumlah	1804214,4	-					

	7						
--	---	--	--	--	--	--	--

Berdasarkan hasil perhitungan tabel di atas, dapat disimpulkan tidak ditemukan adanya ketidakberaturan vertikal tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral.

4. Cek Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (5b)

Tabel 17 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal 5b

Lantai	Berat (W) kN	Tinggi (h) m	W x (h ^k)	Cv	Vx (kN)	Vi/Vi+1 (kN)	Cek
Lantai 8	38715,97754	35,55	1455658 1	0,446	0,446		
Lantai 7	88975,62463	31,35	2715022 9	0,833	1,279	2,865	Regular
Lantai 6	134907,5637	27,15	3241985 8	0,994	2,273	1,777	Regular
Lantai 5	181415,719	22,95	3298029 8	1,011	3,285	1,445	Regular
Lantai 4	242837,9355	18,75	3155986 6	0,968	4,253	1,295	Regular
Lantai 3	306996,0113	14,25	2529544 4	0,776	5,029	1,182	Regular
Lantai 2	373019,1941	8,65	1341672 2	0,411	5,440	1,082	Regular
Lantai 1	437346,4444	4,5	5314776	0,163	5,603	1,030	Regular
Jumlah	1804214,47	-					

Berdasarkan hasil perhitungan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak ditemukan ketidakberaturan vetikal tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas kekuatan lateral.

h) Pengaruh P-Delta

Sesuai dengan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.6, pengaruh P-Delta wajib diperiksa mengikuti ketentuan pasal 7.8.7.

Tabel 18 Pengecekan Pengaruh P-Delta Arah X

Lantai	Px	Δx	I	Vx	h	Cd	θ	θ_{max}	Cek		
	kN	(mm)		kN					$\theta < 0,1$	$\theta < \theta_{max}$ x	$\theta_{max} < 0,25$
9	1268,198	16,377	1,5	17396	4100	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
8	5213,809	27,677	1,5	73263	4200	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
7	38715,98	36,908	1,5	544026	4200	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
6	88975,62	44,277	1,5	1250261	4200	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
5	134907,6	51,814	1,5	1895684	4200	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
4	181415,7	54,157	1,5	2731289	4500	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
3	242837,9	56,728	1,5	4549722	5600	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
2	306996	63,690	1,5	4313823	4200	5,5	0,0003	0,0909	Ya	Ya	Ya
1	373019,2	35,886	1,5	5615959	4500	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya

Tabel 19 Pengecekan Pengaruh P-Delta Arah Y

Lantai	Px	Δy	I	Vy	h	Cd	θ	θ_{max}	Cek		
	kN	(mm)		kN					$\theta < 0,1$	$\theta < \theta_{max}$ x	$\theta_{max} < 0,25$

9	1268,1 98	10,327	1,5	17396	4100	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
8	5213,8 09	17,869	1,5	73263	4200	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
7	38715, 98	23,566	1,5	54402 6	4200	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
6	88975, 62	34,361	1,5	12502 61	4200	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
5	13490 7,6	44,832	1,5	18956 84	4200	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
4	18141 5,7	50,080	1,5	27312 89	4500	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya
3	24283 7,9	56,716	1,5	45497 22	5600	5,5	0,0001	0,0909	Ya	Ya	Ya
2	30699 6	75,932	1,5	43138 23	4200	5,5	0,0004	0,0909	Ya	Ya	Ya
1	37301 9,2	46,510	1,5	56159 59	4500	5,5	0,0002	0,0909	Ya	Ya	Ya

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan karena $\theta \leq 0,1$.

i) Pengecekan Kapasitas Desain Elemen Struktur

1. Balok

Pengecekan kapasitas desain elemen balok beton bertulang dilakukan pada balok yang mengalami momen terbesar berdasarkan hasil analisis struktur. Kapasitas lentur balok dihitung berdasarkan stabilitas gaya tekan dan gaya tarik tulangan longitudinal sesuai SNI 2847:2019. Pengecekan diperoleh dengan mengalikan momen nominal dengan faktor reduksi sebesar 0,9. Balok dinyatakan memenuhi persyaratan desain apabila kapasitas desain lentur lebih besar dari momen rencana.

Rumus :

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$
$$\phi M_n > M_u$$

2. Kolom

Pengecekan kapasitas desain kolom beton bertulang dilakukan dengan mempertimbangkan interaksi antara gaya aksial dan momen lentur. Kapasitas kolom dianalisis menggunakan diagram interaksi gaya aksial-momen sesuai ketentuan SNI 2847:2019. Elemen kolom dinyatakan aman apabila pasangan gaya aksial dan momen rencana berada di dalam kurva interaksi kapasitas desain.

Rumus kriteria :

$$\phi(P_n, M_n) \geq (P_u, M_u)$$

3. Pelat Lantai

Pelat lantai dianalisis sebagai elemen lentur dua arah atau sesuai kondisi tumpuannya. Kapasitas lentur pelat lantai dihitung pada jalur kritis dengan lebar efektif satu meter. Pelat dinyatakan memenuhi persyaratan desain apabila kapasitas desain lentur lebih besar dari momen rencana hasil analisis struktur.

Rumus utama :

$$\phi M_n > M_u$$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengecekan menggunakan program SAP2000 didapat dan dirangkum kesimpulan sebagai berikut :

1. Bangunan rumah sakit telah dianalisis menggunakan SAP2000 dengan kombinasi pembebanan sesuai ketentuan (SNI 2847:2019) serta pembebanan gempa sesuai dengan SNI 1726:2019. Hasil pengecekan SAP2000 menunjukkan tidak ada elemen yang mengalami *over stress*. Analisis ketidakberaturan menunjukkan adanya ketidakberaturan horizontal torsi 1b serta ketidakberaturan sudut arah X, sedangkan ketidakberaturan vertikal ditemukan pada ketidakberaturan massa. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai kategori KDS D.

2. Berdasarkan ketentuan (SNI 2847:2019), elemen struktur atas yang ditinjau memenuhi kapasitas desain sesuai SNI 2847:2019 tentang SRPMK. Rasio pada kolom dengan nilai tertinggi adalah $2,11\% < 6\%$ dan hasil pengecekan kapasitas kolom adalah $0,89 \leq 1,0$. Balok momen terbesar M_u tumpuan = 591,517 kNm dari output SAP2000 pada balok (400x700), kapasitas rencana $\phi M_n = 648,178$ kNm, sehingga memenuhi rasio $\phi M_n \geq M_u$. Lendutan total plat lantai tertinggi dari yang ditinjau adalah 10,996 mm masih lebih kecil dari $L/240$ (14,583 mm) sehingga dinyatakan aman.

Dengan demikian, elemen struktur atas yang ditinjau memenuhi persyaratan yang berlaku.

Adapun saran yang dapat disampaikan:

1. Dalam pemodelan di SAP2000 harus dilakukan dengan teliti agar SAP2000 tidak gagal dalam menganalisis model bangunan.
2. Disarankan penambahan *shear wall* / dinding geser atau memperbesar dimensi kolom agar hasil simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin.
3. Perkiraan beban serta kombinasi beban yang diterapkan sebaiknya mendekati kondisi nyata yang mungkin terjadi, sehingga bangunan yang dihasilkan efisien dan memenuhi persyaratan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional . (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Persyaratan Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Binus University. (2022, Juli 30). *2 Jenis Struktur Bangunan yang perlu kamu ketahui!* Diambil kembali dari Binus University: <https://student-activity.binus.ac.id>

- DBTPP, Ditjen Cipta Karya, Kementerian PUPR. (2021). *Desain Spektra Indonesia*. Diambil kembali dari [rsa.ciptakarya.pu](https://rsa.ciptakarya.pu.go.id): <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>
- Hasibuan, J.Z. (2024). *Kontrol Kekuatan Struktur dan Penanganan Pada Proyek Revitalisasi/Restorasi Gedung Cagar Budaya Warenhuis*. Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Indrafandi, Y. (2021). *Analisa Struktur Bangunan Sekolah Panggung Ponpes Assyafi'yah Lombok Utara Terhadap Gaya Gempa*. Mataram: Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Medriosa, H., & Wau, A. W. (2023). Analisis Struktur Gedung DPRD Kota Bukittinggi Menggunakan SNI Beton Bertulang 2847:2019 dan SNI Gempa 1726:2019. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, 67-74.
- Supriyatna, D. (2020). Studi Analisis Bangunan Gedung Bertingkat dengan Perbandingan SNI-1726-2012 dan SNI-1726-2019 berpengaruh Terhadap Rasio Tulangan (Studi Kasus : Bangunan Gedung RNI 15 Lantai di MT. Haryono Jakarta).
- Syahland, S. J. (2021). Analisis Pembebanan Struktur Bangunan Atas Gedung Kantor Kelurahan Kampung Baru Raya Bandar Lampung. *ResearchGate*, 77-91.
- Viranto, B. N. (2023). Analisis Struktur Atas Gedung 12 Lantai Pada Proyek Pembangunan Kantor Pusat BPD Jambi Menggunakan Aplikasi SAP2000. Jambi: Universitas Batanghari