

ANALISIS KETIDAKBERATURAN STRUKTUR AKIBAT VARIASI TINGGI LANTAI TERHADAP BEBAN GEMPA PADA GEDUNG MASJID AGUNG AL-AKBAR SORONG

Kamilus¹, Epafroditus Tuwanakotta²

^{1,2}Politeknik Saint Paul Sorong

Email : kamilusdosantos@gmail.com

Abstrak

Pada masa sekarang desain bangunan semakin bervariasi sesuai dengan kebutuhan bangunan itu sendiri, sehingga banyaknya bangunan dengan bentuk yang cenderung tidak beraturan maupun tidak semetris. Yang dimaksud dari ketidakberaturan adalah bentuk bangunan itu sendiri yang tidak beraturan seperti bentuk bangunan yang menggambarkan huruf L, T, U dan Y, dan bangunan dengan tinggi kolom antar tingkat berbeda. Dalam penelitian ini penulis merencanakan menganalisis ketidakberaturan struktur, apa saja yang termasuk dalam ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal terhadap beban gempa dinamik respon spektrum pada bangunan struktur Masjid Agung Al-Akbar Sorong. Hasil analisis ketidakberaturan horizontal pada struktur bangunan yaitu tidak memiliki ketidakberaturan horizontal torsi namun memiliki ketidakberaturan horizontal sudut dan hasil analisis ketidakberaturan vertikal pada struktur bangunan yaitu tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan tidak memiliki ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya leteral namun memiliki ketidakberaturan berat (massa).

Kata kunci : Ketidakberaturan Struktur, Ketidakberaturan Horizontal, Ketidakberaturan Vertikal, Respon Spektrum, Beban Gempa

1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang desain bangunan semakin bervariasi sesuai dengan kebutuhan bangunan itu sendiri, sehingga banyaknya bangunan dengan bentuk yang cenderung tidak beraturan maupun tidak semetris. Yang dimaksud dari ketidakberaturan adalah bentuk bangunan itu sendiri yang tidak beraturan seperti bentuk bangunan yang menggambarkan huruf L, T, U dan Y, dan bangunan dengan tinggi kolom antar tingkat berbeda. Dalam SNI 1726-2019 tentang (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung) terdapat dua ketidakberaturan didalamnya yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

Dalam menganalisis beban gempa dalam struktur terdapat dua metode yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik. Ada dua metode dalam analisis dinamik yaitu terdiri dari analisis respons dinamik riwayat waktu dan analisis ragam respons spektrum. Analisis respons dinamik riwayat waktu adalah analisis yang menggunakan catatan riwayat waktu yang telah dicatat dari gempa-gempa sebelumnya dianalisis dengan model matematik dari struktur untuk memperoleh riwayat waktu dari respon struktur. Analisis ragam respons spektrum adalah analisis yang menggunakan model matematik dari struktur yang

diberi spektrum respon gempa rencana dan menentukan suatu respons struktur pada gempa rencana melalui superposisi dari respon tiap tiap ragamnya.

Penelitian ini merencanakan menganalisis ketidakberaturan struktur pada gedung masjid agung al-akbar sorong. Pada struktur bangunan dapat diketahui adanya ketidakberaturan struktur yang disebabkan oleh variasi tinggi lantai yang berbeda, struktur bangunan yang berbeda dan adanya space atau ruang kosong di tengah tengah struktur bangunan. Sehingga penulis melakukan penelitian ini agar menganalisis apa saja yang termasuk dalam ketidakberaturan vertikal dan ketidakberaturan horizontal terhadap beban gempa dinamik respon spektrum pada bangunan struktur masjid agung al-akbar sorong. Peraturan yang digunakan pada analisis ini yaitu SNI 1726-2019 untuk memeriksa ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal pada bangunan.

2. TINJAUAN PUSTAKA Ketidakberaturan Horizontal

Pada penelitian ini menggunakan struktur bangunan yang tidak beraturan, sehingga harus dilakukan klasifikasi untuk bangunan tersebut dengan berdasarkan SNI 1726:2019. Berikut ini adalah macam-macam tipe ketidakberaturan horizontal yaitu :

1. Ketidakberaturan torsi dan Ketidakberaturan torsi berlebihan

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana disfragmanya kaku atau setengah kaku.

Ketidakberaturan torsi berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana disfragmanya kaku atau setengah kaku.

2. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.

4. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan sistem nonpararel

Ketidakberaturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu

sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.

Ketidakberaturan Vertikal

Berdasarkan SNI 1726:2019 ada beberapa tipe ketidakberaturan vertikal yaitu :

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.

2. Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

3. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.

4. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.

5. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat dan Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat.

Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral

tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

Ketidakteraturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

3. METODOLOGI

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah gedung Masjid Agung Al-akbar yang berlokasi di Jl. Ahmad Yani No.40, Remu Utara, Distrik Sorong, Kota Sorong, Papua Barat Daya. Bangunan gedung tersebut memiliki 4 lantai dengan tinggi 17,5 m, dimana pada lantai 1 menggunakan struktur beton bertulang dan pada lantai 2 – 4 menggunakan struktur baja.

Pengumpulan Data

Data yang didapat pada pengumpulan data ini ialah data berupa shopdrawing 2D dan data struktur yang diperlukan untuk penelitian ini.

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menggunakan software SAP2000 dimana material struktur dimasukkan sesuai kebutuhan, selain itu pembebanan yang dimasukkan pada software disesuaikan dengan peraturan yang ada. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini adalah SNI 1726 – 2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk struktur Bangunan Gedung dan Nongedung) dan SNI 1727 - 2020 (Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait Untuk Bangunan dan Struktur lain

Analisis Beban Gempa

Pada penelitian ini perhitungan beban gempa menggunakan analisis dinamik respons spektrum dan diinput kedalam pemodelan struktur SAP 2000. Analisis ragam respons spektrum adalah analisis yang menggunakan model matematik dari struktur yang diberi spektrum respon gempa rencana dan menentukan suatu respons struktur pada gempa rencana melalui superposisi dari respon tiap tiap ragamnya.

Analisis Ketidakteraturan Struktur

Dalam penelitian ini analisis ketidakteraturan struktur menggunakan peraturan SNI 1726 – 2019

(Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk struktur Bangunan Gedung dan Nongedung). Terdapat dua ketidakteraturan didalamnya yaitu ketidakteraturan horizontal dan ketidakteraturan vertikal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Struktur

Dalam penelitian ini gedung yang menjadi studi kasus adalah gedung Masjid Agung Al-akbar Kota Sorong. Data struktur bangunan gedung Masjid Agung Al-akbar Kota Sorong akan diuraikan pada

a. Fungsi gedung : Tempat ibadah (Masjid)

b. Tinggi tiap lantai :

Lantai 1 : 3,70 m (Beton bertulang)

Lantai 2 : 4,63 m (Baja)

Lantai 3 : 4,50 m (Baja)

Lantai 4 : 4,45 m (Baja)

c. Tinggi bangunan : 17,280 m

d. Jenis struktur : Beton bertulang dan baja

e. Jenis tanah : Tanah lunak

f. Mutu Beton

$F_c' = K 250 (20,75 \text{ Mpa})$

Berat jenis beton bertulang 2.400 kg/m³

Modulus Elastisitas Beton (E_c) :

$4700 \cdot \sqrt{f_c'} = 21409,51891 \text{ Mpa}$

g. Mutu Baja

Baja Tulangan

Tulangan Utama : 420B Mpa

Tulangan sekanng : 420B Mpa

F_y (Leleh) : 420 Mpa

F_u (Tarik) : 545 Mpa

Profil Baja : Bj. 41

F_y (leleh) : 250 Mpa

F_u (tarik) : 410 Mpa

h. Kolom

K1 : 100 x 100 cm

K2 : 50 x 100 cm

K3 : 50 x 50 cm

K4 : 30 x 50 cm

K5 : 50 x 60 cm

Kolom H Beam : 400 x 400 13 x 12 cm

i. Balok

BL I : 30 x 75 cm

BL II : 30 x 45 cm

BL III : 30 x 45 cm

Balok Induk (WF) : 400 x 200 x 8 x 12 cm

Balok Anak (WF) : 300 x 150 x 6,6 x 9 cm

j. Pelat

P1 : 150 mm
 Panel Citicon : 130 mm
 Bondek : 75 mm

Pembebanan

Dalam penelitian ini perhitungan beban yang akan dianalisis adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

1) Beban Mati

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya.

Tabel 1.Berat Bangunan Pada Tiap Lantai

Lantai	Wi (KN)
4	167015,66
3	2307,8817
2	2326,6916
1	13734,99
Total Berat Bangunan	185385,22

2) Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Tabel 2. Beban Hidup

Lantai	Hunian atau Penggunaan	Beban (kN)
1	Ruang Pertemuan Lainnya	100 (4,79)
	Koridor Lantai Pertama	100 (4,79)
2	Kantor	50 (2,40)
	Koridor di Atas Lantai Pertama	80 (3,83)
3	Kantor	50 (2,40)
	Koridor di Atas Lantai Pertama	80 (3,83)
4	Atap Bukan Untuk Hunian	20 (0,96)

3) Beban Gempa

Penelitian ini meninjau bangunan gedung masjid agung al-akbar yang berada di Kota Sorong, dan menganalisis bangunan tersebut menggunakan analisis response spektrum terhadap gaya gempa berdasarkan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Strukurur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

a. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa
 Kategori resiko IV dengan faktor keutamaan gempa Ie sebesar 1,50

b. Parameter Percepatan Gempa

Jenis tanah lunak (SE). Untuk mendapatkan nilai Ss dan S1 dapat diakses melalui website <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id>. Dari hasil website tersebut didapat nilai Ss sebesar 1,3886 g dan S1 sebesar 0,5638 g

- Koefesien Situs
 Nilai Fa sebesar 0,845 g dan nilai Fv sebesar 2,0724 g

- Parameter Respon Spektral Percepatan
Sms = 1,1728 g
SmI = 1,1684 g

- Parameter Percepatan Spektral Desain
SDs = 0,7818 g
SDI = 0,7789 g

- Spektrum Respons Desain

Ts = 0,9963 s
To = 0,1993 s
Tl = 16 detik
Sa = 0,31272 untuk $T < T0$
Sa = 0,7818 untuk $T0 \leq T \leq Ts$
Sa = 0,390 untuk $T0 > Ts$

- Kategori Desain Seismik
 Kategori desain seismik D.

- Nilai R, Ω_0 , dan Cd
 Nilai R sebesar 8, nilai Ω_0 sebesar 3, dan nilai Cd sebesar 5,5

c. Periode Fundamental Struktur

- Perhitungan Periode fundamental pendekatan (*Ta*)

1. Rangka Baja Pemikul Momen

Ta = 0,7076 detik

2. Rangka Beton Pemikul Momen

Ta = 0,6056 detik

- Perhitungan Nilai Periode Maksimum

1. Rangka Baja Pemikul Momen

Tmax = 0,9906 detik

2. Rangka Beton Pemikul Momen

Tmax = 0,8478 detik

- Perhitungan Nilai Periode Hasil Analisa Program

Nilai Tc merupakan nilai yang didapatkan dari hasil analisis SAP 2000. Nilai Tc = 2,94571. Maka nilai T yang digunakan adalah Ta = 0,8478 detik.

d. Koefisien Respons Seismik

- Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen

1. Nilai Cs

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,1466$$

2. Nilai Cs tidak lebih dari

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,1723$$

3. Nilai Cs tidak kurang dari

$$C_s \min = 0,0516 \geq 0,01$$

Nilai Cs tidak lebih dari Cs max dan tidak kurang dari Cs min, maka nilai Cs yang dipakai adalah sebesar 0,1466

- Rangka Baja Pemikul Momen

1. Nilai Cs

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,1466$$

$$= 0,1466$$

2. Nilai Cs tidak lebih dari

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0,1723$$

3. Nilai Cs tidak kurang dari

$$C_s \min = 0,0516 \geq 0,01$$

Nilai Cs tidak lebih dari Cs max dan tidak kurang dari Cs min, maka nilai Cs yang dipakai adalah sebesar 0,1466

- Gaya Geser Dasar

Perhitungan gaya geser dasar seismik dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$V_{statik} = 0,1466 \times 18538,22$$

$$= 27176,45 \text{ kN}$$

- Partisipasi Massa Gaya Geser Dasar

Tabel 3. Partisipasi Massa

Mode	Mass Participating Ratio		
	Period	SumX	SumY
89	0,168	0,979	0,988
90	0,165	0,979	0,988
91	0,161	0,979	1
92	0,161	0,979	1
93	0,158	0,979	1
94	0,158	0,979	1
95	0,153	0,979	1

Mode	Mass Participating Ratio		
	Period	SumX	SumY
96	0,150	0,979	1
97	0,147	0,979	1
98	0,147	0,979	1
99	0,146	0,979	1
100	0,145	0,979	1
101	0,142	0,993	1
102	0,141	0,993	1
103	0,140	0,993	1
104	0,140	0,993	1
105	0,138	0,993	1
106	0,138	0,993	1
107	0,137	0,993	1
108	0,134	0,993	1
109	0,133	0,993	1
110	0,133	0,993	1
111	0,133	0,993	1
112	0,131	0,993	1
113	0,131	0,993	1
114	0,129	0,993	1
115	0,126	0,993	1
116	0,125	0,993	1
117	0,120	0,993	1
118	0,119	0,993	1
119	0,117	0,993	1
120	0,117	0,994	1
121	0,114	0,994	1
122	0,113	0,994	1
123	0,112	0,994	1
124	0,111	0,994	1
125	0,109	0,994	1
126	0,107	0,994	1
127	0,106	0,998	1
128	0,106	1	1

- Gaya Geser Dasar

Berikut ini adalah nilai gaya geser dari hasil analisis SAP 2000 dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4. Nilai Gaya Geser

	V statik	V dinamik	Kontrol
Arah X	8466,796	4469,954	Tidak OK
Arah Y	8466,796	4072,059	Tidak OK

Dari hasil SAP 2000 didapat nilai gaya geser dinamik kurang dari gaya geser dasar statik, maka dilakukan perhitungan penskalaan gaya.

$$\text{Faktor skala arah X} = V_{statik}/V_{dinamik}$$

$$= 8466,796 / 4469,954$$

$$\begin{aligned} &= 1,8941573 \\ \text{Faktor skala arah Y} &= V_{\text{statik}}/V_{\text{dinamik}} \\ &= 8466,796 / 4072,059 \\ &= 2,079242 \end{aligned}$$

Berikut ini adalah hasil analisis ulang pada SAP 2000 dapat dilihat pada tabel 5 :

Tabel 5. Nilai Gaya Geser Setelah Skala Ulang

	V statik	V dinamik	Kontrol
Arah X	8466,796	8466,796	OK
Arah Y	8466,796	8466,796	OK

Ketidakberaturan Horizontal

1) Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi didapatkan dari hasil Simpangan antar tingkat analisis program SAP 2000 dengan cara Display - Show Table - Results - Displacement - Joint Displacement. Berikut nilai simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini :

Tabel 6. Simpangan Antar Tingkat

Lantai	δ_{xatas} m	Δ_{xbawah} m	Δ_{yatas} m	δ_{ybawah} m
4	0,073927	0,072816	0,088812	0,08692
3	0,05242	0,051555	0,062846	0,061363
2	0,027279	0,026712	0,032403	0,031485
1	0,004661	0,004484	0,005476	0,005175

Contoh perhitungan pengecekan ketidakberaturan torsi dan perhitungan faktor pembesaran torsi pada lantai 3 arah x :

$$\begin{aligned} \Delta_{13} &= \delta_{xatas} \text{ tingkat 3} - \delta_{xatas} \text{ tingkat 2} \\ &= 0,05242 - 0,027279 \\ &= 0,0251 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{23} &= \delta_{xbawah} \text{ tingkat 3} - \delta_{xbawah} \text{ tingkat 2} \\ &= 0,051555 - 0,026712 \\ &= 0,0248 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{avg} &= (\Delta_{13} + \Delta_{23}) / 2 \\ &= (0,0251 + 0,0248) / 2 \\ &= 0,0250 \end{aligned}$$

$$\Delta_{max} = 0,0251$$

$$\begin{aligned} \Delta_{max} / \Delta_{avg} &= 0,0251 / 0,0250 \\ &= 1,0060 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_x &= (\delta_{max} / 1,2 \delta_{avg})^2 \\ &= (0,05242 / 1,2 \times 0,0520)^2 \\ &= 0,706 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan cek ketidakberaturan torsi dan faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8. Dari hasil yang diperoleh dapat kita lihat bahwa pada lantai 1 sampai dengan lantai 4 tidak terjadinya ketidakberaturan torsi la maupun torsi lb.

Tabel 7. Cek Torsi Arah X

Lantai	Δ_1	Δ_2	Δ_{avg}	Δ_{max}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek torsi	A_x
	m	m					
4	0,0215	0,0213	0,0214	0,0215	1,006	OK	0,705
3	0,0251	0,0248	0,0250	0,0251	1,006	OK	0,706
2	0,0226	0,0222	0,0224	0,0226	1,009	OK	0,709
1	0,0047	0,0045	0,0046	0,0047	1,019	OK	0,722

Tabel 8. Cek Torsi Arah Y

Lantai	Δ_1	Δ_2	Δ_{avg}	Δ_{max}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek torsi	A_x
	m	m					
4	0,0260	0,0256	0,0258	0,0260	1,0079	OK	0,709
3	0,0304	0,0299	0,0302	0,0304	1,0094	OK	0,711
2	0,0269	0,0263	0,0266	0,0269	1,0116	OK	0,715
1	0,0055	0,0052	0,0053	0,0055	1,0283	OK	0,734

2) Ketidakberaturan Sudut Dalam

Dalam SNI 1726-2019 ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila dimensi proyeksi denah pada truktur dari lokasi sudut dalam lebih besar

dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Contoh perhitungan pengecekan ketidakberaturan sudut dalam :

Diketahui :

$$P_x = 4 \text{ m}$$

$$P_y = 12,35 \text{ m}$$

$$L_x = 48 \text{ m}$$

$$L_y = 44,7 \text{ m}$$

Dari data yang telah diketahui dapat dihitung analisis ketidakberaturan sudut dalam sebagai berikut.

$$15\% \cdot L_x = 15\% \times 52 \text{ m} \\ = 7,8 \text{ m}$$

$$15\% \cdot L_y = 15\% \times 44,7 \text{ m} \\ = 6,705 \text{ m}$$

$P_x (4 \text{ m}) > 15\% \cdot L_x (7,8 \text{ m}) \rightarrow$ Tidak Ada Ketidakberaturan Tipe 2

$P_y (20 \text{ m}) > 15\% \cdot L_y (6,705 \text{ m}) \rightarrow$ Ketidakberaturan Tipe 2

Dari hasil perhitungan di atas maka struktur bangunan apartemen yang ditinjau memiliki ketidakberaturan sudut dalam pada arah Y.

3) Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma tidak terjadi pada bangunan apartemen yang ditinjau, dikarenakan daerah yang terpotong atau terbuka pada bangunan apartemen tersebut tidak lebih besar 50% dari daerah diafragma bruto yang tertutup sesuai yang telah disyaratkan dalam SNI 1726-2019.

4) Ketidakberaturan akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang

Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang tidak terjadi pada bangunan apartemen yang ditinjau, dikarenakan seluruh dinding geser menerus dari dasar hingga atap bangunan.

5) Ketidakberaturan Sistem Nonparalel

Ketidakberaturan sistem nonparalel tidak terjadi pada bangunan apartemen yang ditinjau, dikarenakan seluruh dinding geser tepat pada sumbu x dan sumbu y.

Ketidakteraturan Vertikal

1) Ketidakberaturan Tingkat Lunak

- Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak
Perhitungan ketidakberaturan didapatkan dari hasil analisis program SAP 2000 dengan cara Display - Show Table – Results – Displacement – Joint Displacement. Berikut ini adalah contoh perhitungan pada lantai 3 arah x :

$$K_1 = V_x / U_i - U_{i-1} \\ = 8466,797 / (0,004484 - 0) \\ = 1888224,1$$

Apabila kekakuan lantai 1 kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya maka lantai tersebut memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak. Salah satu perhitungan syarat ketidakberaturan :

$$70\% K_1 = 0,7 \times 1888224,1 \\ = 266634,8$$

$$80\% K_{avg} = 0,8 \times (K_2 + K_3 + K_4 / 3) \\ = 298653,4326$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan nilai kekakuan lebih besar dari kekakuan tingkat di atas dan kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya maka tidak ada ketidakberaturan.

Rekapitulasi hasil perhitungan pada setiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 9 untuk arah x dan Tabel 10 untuk arah y berikut ini :

Tabel 9. Ketidakberaturan Kekakuan Lateral Arah X

Lantai	V _x	U ₁	U _i -U _{i-1}	K	70%K _{i+1}	Status	80%K _{i+3}	Status
	KN	m	m	KN/m	KN/m		KN/m	
4	8466,797	0,072816	0,021261	398231,4				
3	8466,797	0,051555	0,024843	340812,2	27872,0	OK		
2	8466,797	0,026712	0,022228	380906,8	238568,5	OK		
1	8466,797	0,004484	0,004484	1888224	266634,8	OK	298653,4	OK

Tabel 10. Ketidakberaturan Kekakuan Lateral Arah Y

Lantai	V _x	U ₁	U _i -U _{i-1}	K	70%K _{i+1}		80%K _{i+3}	
--------	----------------	----------------	----------------------------------	---	---------------------	--	---------------------	--

	KN	m	m	KN/m	KN/m	Status	KN/m	Status
4	8466,797	0,088812	0,025966	326072,4				
3	8466,797	0,062846	0,030443	278119,7	27872,0	OK		
2	8466,797	0,032403	0,026927	314435,2	238568,5	OK		
1	8466,797	0,005476	0,005476	1546165	266634,8	OK	244967,2	OK

Hasil evaluasi terhadap ketidakberaturan vertikal tipe 1.a (ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak) menunjukkan bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan pada arah yang ditinjau. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (tipe 1.b). Ketidakberaturan ini

dinyatakan terjadi apabila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% nilai rata-rata kekakuan tiga tingkat di atasnya. Rekapitulasi hasil perhitungan kekakuan lateral pada setiap tingkat bangunan untuk arah sumbu X dan arah sumbu Y disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Ketidakberaturan Kekakuan Lateral Berlebihan Arah X

Lantai	Vx	U1	Ui-U _{i-1}	K	60%Ki+1	Stat us	70%Ki+3	Status
	KN	m	m	KN/m	KN/m		KN/m	
4	8466,797	0,072816	0,021261	398231,4				
3	8466,797	0,051555	0,024843	340812,2	238938,8	OK		
2	8466,797	0,026712	0,022228	380906,8	204487,3	OK		
1	8466,797	0,004484	0,004484	1888224	228544,1	OK	261321,7	OK

Tabel 12. Ketidakberaturan Kekakuan Lateral Arah Y

Lantai	Vx	U1	Ui-U _{i-1}	K	60%Ki+1	Stat us	70%Ki+3	Status
	KN	m	m	KN/m	KN/m		KN/m	
4	8466,797	0,088812	0,025966	326072,4				
3	8466,797	0,062846	0,030443	278119,7	195643,5	OK		
2	8466,797	0,032403	0,026927	314435,2	166871,8	OK		
1	8466,797	0,005476	0,005476	1546165	188661,1	OK	21346,37	OK

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi ketidakberaturan 1b

Massa di atas. = 3462 KN

2) Ketidakberaturan Massa

Berikut ini contoh perhitungan pengecekan ketidakberaturan berat pada lantai 2

Massa lantai 2 = 2326,69 KN

Massa di atas = 1,5 x Massa satu tingkat di atas
= 1,5 x 2307,88

Massa di bawah = 1,5 x Massa satu tingkat di bawah

= 1,5 x 13734,99

= 20602 KN

Rekapitulasi hasil perhitungan pada setiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 13 berikut ini :

Tabel 13. Ketidakberaturan Berat

Lantai	Wi	150%Wi+1	Status	150%Wi-1	Status
	KN	KN		KN	
4	167015,66			3462	Not OK
3	2307,88	250523	OK	3490	OK
2	2326,69	3462	OK	20602	OK
1	13734,99	3490	Not OK		

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa ada terjadinya ketidakberaturan Pada lantai 1 dan Pada lantai 4

3) Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Berdasarkan SNI 1726-2019 ,ketidakberaturan geometri didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. Pada bangunan Yang ditinjau Gaya seismik pada suatu tingkat tidak melebihi 130%

4) Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Berdasarkan SNI 1726-2019, ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya leteral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul ditingkat di bawahnya. Pada bangunan yang ditinjau peletakan struktur kolom yang menerus dari bawah sampai atas tanpa ada pergeseran kolom atau dinding sehingga bangunan dapat dikatakan tidak memiliki ketidakberaturan pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

5) Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat Dalam SNI 1726-2019 Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat terjadi apabila kukuatan lateral kurang dari 80%(5a) atau kekuatan lateral kurang dari 65% dari kekuatan lateral pada tingkat diatasnya

Berikut dicontohkan perhitungan ketidakberaturan tingkat lemah pada lantai 2

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 W &= 2326,69 \text{ KN} \\
 h &= 8,33 \text{ m} \\
 k &= 1,17 \\
 W.h^k &= 2326,69 \times 8,33^{1,17} \\
 &= 28021 \text{ KN/m} \\
 C_v &= W.h^k / \sum W.h^k \\
 &= 28021 / 4875043 \\
 &= 0,005748 \\
 V_{x2} &= V_{x3} + C_v2 \\
 &= 0,9812 + 0,005748 \\
 &= 0,9869 \\
 80\% \cdot V_{x3} &= 0,8 \times 0,9812
 \end{aligned}$$

$$= 0,7849$$

$$0,9869 (V_{x2}) > 0,7849 (80\% \cdot V_{x3})$$

Rekapitulasi hasil perhitungan pada setiap tingkat dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini :

Tabel 14. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat (5a dan 5b)

Lantai	Vx	0,8 Vx	Status	0,65 Vx	Status
4	0,9717	0,7774		0,6316	
3	0,9812	0,7849	OK	0,6378	OK
2	0,9869	0,7898	OK	0,6415	OK
1	1	0.8	OK	0,6500	OK

Dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat.

Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat diambil pada analisis program SAP 2000 dengan cara Display - Show Table – Results – Displacement – Joint Displacement. Analisis perhitungan nilai simpangan dihitung berdasarkan data Simpangan antar tingkat diambil pada analisis program SAP 2000 dengan cara Display - Show Table – Results – Displacement – Joint Displacement.

Berikut dicontohkan perhitungan simpangan antar tingkat pada lantai 2 arah x :

$$\begin{aligned}
 C_d &= 5,5 \\
 I_e &= 1,5 \\
 h &= 4,63 \\
 p &= 1,3 \\
 \delta_2 &= 0,014102 \\
 \delta_1 &= 0,002367 \\
 \Delta_2 &= ((\delta_2 - \delta_1) \times C_d) / I_e \\
 &= ((0,014102 - 0,002367) \times 5,5) / 1,5 \\
 &= 0,0430 \\
 \Delta_a \text{ (ijin)} &= 0,015 \times h \\
 &= 0,015 \times 4,63 \\
 &= 0,0695 \\
 \Delta_2 (0,0430) &< \Delta_a \text{ (ijin)} (0,0695) = \text{OK}
 \end{aligned}$$

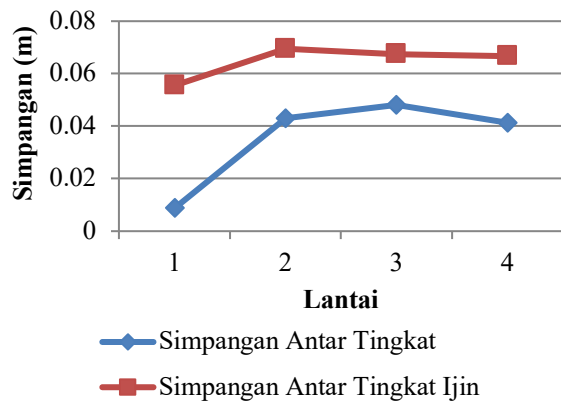
Rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada Tabel 15 dan Tabel 16 berikut ini.

Tabel 15. Simpangan Antar Tingkat Arah X

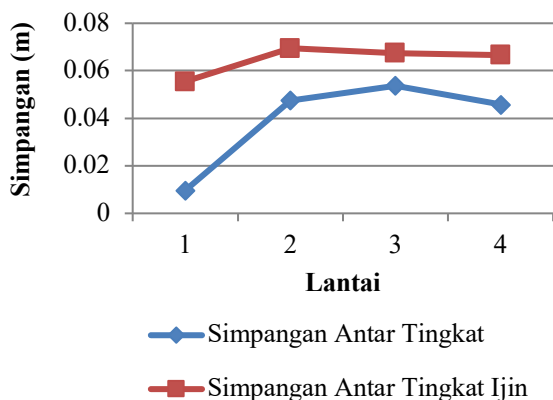
Lantai	h	δ	Δ	$\Delta a(\text{ijin})$	Status
Atap	4,45	0,038442	0,0412	0,06675	OK
3	4,5	0,027218	0,0481	0,0675	OK
2	4,3	0,014102	0,0430	0,0695	OK
1	3,7	0,002367	0,0087	0,0555	OK

Tabel 16. Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Lantai	h	δ	Δ	$\Delta a(\text{ijin})$	Status
Atap	4,45	0,042714	0,04579	0,06675	OK
3	4,5	0,030225	0,05368	0,0675	OK
2	4,3	0,015584	0,04749	0,0695	OK
1	3,7	0,0026367	0,00965	0,0555	OK



Gambar 1. Simpangan Antar Tingkat Terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah X



Gambar 2. Simpangan Antar Tingkat Terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah Y

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa bangunan aman berdasarkan simpangan

antar lantai yang diisyaratkan pada SNI 1726-2019.

5. KESIMPULAN

Dari Hasil analisis yang telah dilakukan pada struktur gedung Masjid Agung Al-Akbar Kota Sorong, maka diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut :

- Hasil analisis ketidakberaturan horizontal pada struktur bangunan yang ditinjau yaitu tidak memiliki ketidakberaturan horizontal torsi maupun ketidakberaturan horizontal torsi berlebihan namun pada bangunan struktur gedung ini memiliki ketidakberaturan horizontal sudut dalam.
- Hasil analisis ketidakberaturan vertikal pada struktur bangunan yang ditinjau yaitu tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dan tingkat berlebihan, dan tidak memiliki ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral namun pada bangunan struktur gedung ini memiliki ketidakberaturan berat (massa).

6. DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. (SNI 1726-2019). Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk*

- Bangunan Gedung dan Struktur Lain. (SNI 1727-2020). Jakarta: BSN.
- Cipta Karya Kementerian PUPR (2021). Desain Spektra Indonesia, RSA.
- Dandy Bagus Setiawan (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Pada Kondisi Batas Layan dan Batas Ultimit Dengan Analisis Dinamik Metode Respon Spectrume. Yogyakarta.
- Ir. Morisco, Ir. Rudy Gunawan(1987) . Tabel Profil Konstruksi Baja. Yogyakarta.
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Pustaka Pelajar. Yogyakarta
- Pechorskaya, S. A., Galishnikova, V. V., Gebreslassie, S. B., & Damir, H. Y. (2021). *Structural analysis of high-rise building using ETABS and RSA software. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 17(2), 133–139. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2021-17-2-133-139>
- Orchidentus, R., Wantalangie, F., Pangouw, J. D., & Windah, R. S. (2016). Analisa statik dan Dinamik gedung bertingkat banyak akibat gempa berdasarkan sni1726-2012 dengan variasi jumlah tingkat. *Jurnal Sipil Statik*, 4(8), 471–480
- Reinoso, E., Quinde, P., Buendía, L., & Ramos, S. (2021). *Intensity and damage statistics of the September 19, 2017 Mexico earthquake: Influence of soft story and corner asymmetry on the damage reported during the earthquake*. *Earthquake Spectra*, 37(3), 1875–1899. <https://doi.org/10.1177/8755293020981981>