

Analisis respons ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada gedung perkuliahan di Yogyakarta dengan menggunakan SNI 1726-2019

Annisa Alifia Syafara¹, Novi Rahmayanti^{2,*}
^{1,2} Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Article history:

Available online

Keywords:

Earthquake
Irregularity
Spectrum Response

Corresponding Author:

Novi Rahmayanti
Email: novi.rahmayanti@uii.ac.id

Abstract

Indonesia is a country vulnerable to earthquakes because it is located in the converging area of four large tectonic plates and it is surrounded by the Pacific Ring of Fire. Yogyakarta is one of the cities that is the most vulnerable to earthquakes in Indonesia. The land area of Yogyakarta is 3186 Ha, and 65% of the area has been used as a residential area. Moreover, Yogyakarta is also a city of tourism and education, so the need for new buildings will always rise. (Wahyuhana and Prabawa, 2021). A lot of buildings in Yogyakarta have irregular structures caused by the limited production area. Therefore, it is a need to do a Spectrum Responses Analysis of the buildings in Yogyakarta. Analysis in this research was performed by using the dynamic response spectrum method according to SNI 1726-2019. The object of this research is an academic building in Yogyakarta. The aim of this research is to identify the structure irregularity and its consequences, and to analyze the drift ratio and the necessity of chord and collector elements. This research found horizontal irregularity type 2 and vertical irregularity type 2 in that building. Those irregularities cause the diaphragm design force to be increased by 25% on every floor, therefore the chord and collector element is a necessity for this building.

*Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved*

Pendahuluan

Latar belakang

Indonesia merupakan negara yang rawan akan bencana alam gempa bumi. Hal tersebut diakibatkan karena Indonesia terletak di antara pertemuan 4 lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Hindia-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Laut Filipina. (Harahap dan Fauzan, 2019). Lempeng-lempeng tersebut

saling bergerak bebas sehingga dapat mengakibatkan terjadinya tabrakan antar lempeng. Selain itu, Karunia dkk. (2020) mengatakan bahwa Indonesia juga berada di jalur gempa teraktif di dunia karena dikelilingi oleh Cincin Api Pasifik. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi yaitu Yogyakarta. Menurut Pawirodikromo (2012), gempa bumi adalah bergetarnya permukaan tanah karena pelepasan energi secara tiba-tiba

akibat dari pecah/ slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi. Secara alamiah gempa bumi yang terjadi disertai dengan pelepasan energi yang telah terperangkap dalam waktu yang cukup lama. Selama gempa bumi terjadi, bangunan akan mengalami getaran/ guncangan tanah yang mengakibatkan bangunan bergoyang.

Saat ini, pembangunan di Kota Yogyakarta telah meningkat dengan pesat, banyak ditemui bangunan bertingkat di tiap daerah, seperti rumah sakit, gedung perkantoran, gedung sekolah, hotel, apartemen, dan masih banyak lagi. Bangunan-bangunan tersebut tidak sedikit yang memiliki struktur yang tidak beraturan, baik ketidakberaturan vertikal maupun horizontal. Banyaknya gedung-gedung yang dibangun mengakibatkan berkurangnya lahan produktif, sehingga gedung-gedung yang akan dibangun cenderung berbentuk tidak beraturan karena menyesuaikan dengan lahan yang tersedia. Struktur gedung bertingkat yang memiliki ketidakberaturan sangat rawan terhadap gempa bumi, sehingga perlu dilakukan analisis pengaruh beban gempa terhadap kemampuan struktur gedung bertingkat dan ketidakberaturannya.

Terdapat 2 macam metode analisis yang dapat diterapkan yaitu metode analisis statik dan dinamik. Metode analisis statik yaitu analisis statik ekuivalen. Analisis statik ekuivalen adalah salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis struktur gedung terhadap beban gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekuivalen. Analisis tersebut hanya digunakan pada gedung yang memiliki struktur beraturan, untuk itu pada struktur tidak beraturan perlu dilakukan analisis dengan metode analisis dinamik. Metode analisis dinamik terdiri dari analisis respons spektrum (*Spectrum Responses Analysis*), dan analisis riwayat waktu (*Time History Analysis*). Analisis respons spektrum adalah analisis dinamik struktur bangunan dengan menggunakan suatu spektrum gempa yang disajikan

dalam bentuk grafik hubungan antara periode getar struktur bangunan dengan nilai percepatan bangunan ketika terkena beban gempa. Sedangkan, analisis riwayat waktu adalah suatu analisis yang digunakan untuk menentukan riwayat waktu respons dinamik struktur bangunan gedung baik yang beraturan maupun yang tidak beraturan dengan menggunakan hasil rekaman akselerogram gempa sebagai input data percepatan gerakan tanah akibat gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons struktur yang terjadi pada salah satu bangunan gedung perkuliahan tidak beraturan yang ada di Yogyakarta dengan menggunakan metode analisis respons spektrum (*Spectrum Responses Analysis*). Selain itu, dengan adanya ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada Gedung Perkuliahan tersebut, maka berdasarkan SNI 1726-2019 diperlukan peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25%. Peningkatan tersebut mengakibatkan adanya penambahan elemen yang disebut elemen kord dan elemen kolektor yang berfungsi sebagai penahan gaya desain diafragma yang telah ditingkatkan sebesar 25%.

Landasan teori

Analisis dinamik respons spektrum

Analisis respons spektrum adalah analisis dinamik struktur bangunan dengan menggunakan suatu spektrum gempa yang disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara periode getar struktur bangunan dengan nilai percepatan bangunan ketika terkena beban gempa. Menurut Pawirodikromo (2012), respons spektrum merupakan suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik dengan periode getar struktur (T) sebagai sumbu X dan lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu sebagai sumbu Y.

Ketidakberaturan

Ketidakberaturan pada struktur dibagi menjadi 2 yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal. Menurut SNI 1726-2019, ketidakberaturan horizontal terdiri dari ketidakberaturan torsi, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang, dan ketidakberaturan sistem non paralel. Menurut SNI 1726-2019, ketidakberaturan vertikal terdiri dari ketidakberaturan tingkat lunak, ketidakberaturan berat (massa), ketidakberaturan geometri vertikal, Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertical pemikul gaya lateral, dan Ketidakberaturan tingkat lemah dan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat.

Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) harus ditentukan dengan menghitung perbedaan simpangan pada titik pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang sedang ditinjau. Simpangan pusat massa di tingkat x (δ_x) bisa dihitung dengan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \tag{1}$$

Nilai simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak diperbolehkan melebihi nilai simpangan antar tingkat izin (Δ_a). Nilai simpangan antar tingkat izin berbeda-beda tergantung dari struktur serta kategori risiko bangunan yang ditinjau dapat dilihat pada Tabel 1.

P-delta

Menurut SNI 1726-2019, pengaruh p-delta pada geser dan tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan jika nilai koefisien stabilitas (θ) kurang dari atau sama dengan persamaan 2 berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \tag{2}$$

Nilai koefisien stabilitas (θ) tidak boleh lebih dari θ_{max} yang dapat dihitung pada persamaan 3 berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \tag{3}$$

Tabel 1. Simpangan Antar Tingkat (Δ_a)

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 h_{sx}	0,02 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Gaya desain diafragma

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.10.1.1, diafragma lantai dan diafragma atap harus didesain untuk menahan gaya gempa desain dari analisis struktur. Nilai gaya desain diafragma tidak boleh kurang dari persamaan 4 berikut.

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} w_{px} \tag{4}$$

Nilai F_{px} pada persamaan 4 tidak boleh kurang dari persamaan 5 dan tidak boleh lebih dari persamaan 6.

$$F_{px} = 0,2 \cdot S_{DS} I_e W_{px} \tag{5}$$

$$F_{px} = 0,4 \cdot S_{DS} I_e W_{px} \tag{6}$$

Keterangan:

F_{px} = gaya desain diafragma tingkat x

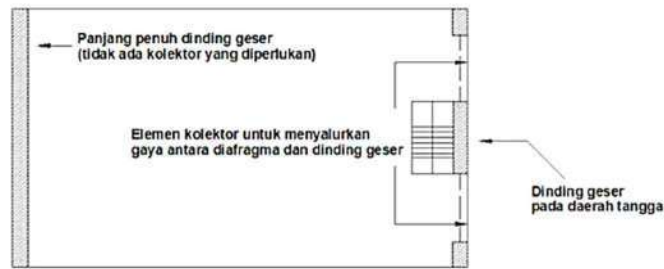
- F_i = gaya desain yang diterapkan di tingkat i
- w_i = tributari berat sampai tingkat
- w_{px} = tributari berat sampai diafragma di tingkat x

Elemen Kolektor

Kolektor merupakan elemen tarik atau tekan yang berfungsi mengumpulkan gaya geser yang berasal dari diafragma, kemudian gaya tersebut disalurkan ke elemen vertikal (Priyasambada dan Hafifah, 2018). Berikut adalah gambar yang dapat dijadikan acuan untuk me-

ngidentifikasi elemen kolektor pada struktur bangunan.

Budiono, dkk. (2017) menyatakan bahwa metode yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi elemen kolektor yaitu dengan mengubah semua elemen balok menjadi elemen kolom untuk mencari gaya-gaya aksial pada balok-balok lantai. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan nilai P_u dengan nilai $0,1A_g f'_c$, jika $P_u > 0,1A_g f'_c$ maka elemen tersebut merupakan elemen kolektor.



Gambar 1. Kolektor (Sumber: SNI 1726-2019)

Elemen Kord

Priyasambada dan Hafifah (2018) menyatakan bahwa kord adalah elemen balok atau pelat lantai yang berada di tepi bangunan yang berfungsi sebagai penahan gaya tarik dan tekan yang terjadi akibat gaya gempa pada diafragma. Berikut adalah gambar yang dapat dijadikan acuan untuk mengidentifikasi elemen kord pada struktur bangunan.

Gaya tarik dan gaya tekan yang terjadi.

$$T_u = \frac{M_u}{d} \tag{7}$$

Luas tulangan perlu pada kord

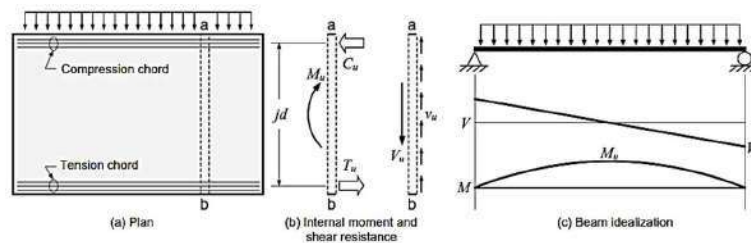
$$A_s = \frac{T_u}{\phi \cdot f_y} \tag{8}$$

Budiono, dkk. (2017) membandingkan gaya geser nominal perlu diafragma (V_n) dengan gaya geser beton diafragma (V_c) menggunakan persamaan berikut.

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \tag{9}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \tag{10}$$

Jika nilai $V_c > V_n$ maka tidak diperlukan tulangan geser, sebaliknya jika nilai $V_c < V_n$ maka diperlukan tulangan geser.



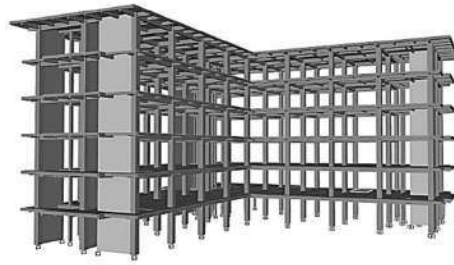
Gambar 2. Kolektor (Sumber: SNI 1726-2019)

Metodologi penelitian

Penelitian dilakukan pada bangunan gedung perkuliahan tidak beraturan 6 lantai dengan beban gempa di kota Yogyakarta berdasarkan SNI 1726-2019. Beban gravitasinya mengacu ke SNI 1727-2020 dan perencanaan struktur bangunan gedungnya mengacu SNI 2847-2019. Analisis struktur menggunakan *software* ETABS v18.1.1. Lokasi struktur gedung terletak di atas tanah sedang, dengan $f'c = 30 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 420 \text{ MPa}$.

Hasil dan Pembahasan

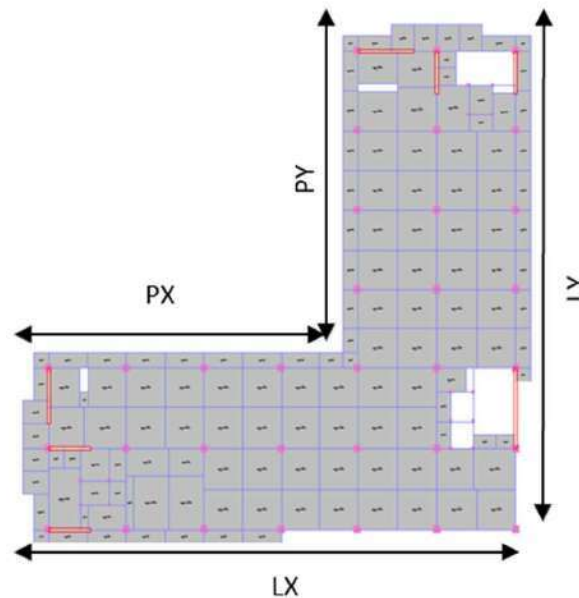
Berikut adalah permodelan gedung pada ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Permodelan struktur gedung perkuliahan

Analisis ketidakberaturan

Hasil dari pemeriksaan ketidakberaturan pada bangunan tersebut didapatkan bahwa bangunan tersebut memiliki ketidakberaturan horizontal sudut dalam dan ketidakberaturan vertikal berat (massa). Berikut adalah gambar peninjauan ketidakberaturan sudut dalam pada bangunan tersebut.



Gambar 4. Denah Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Dari denah diatas, didapatkan data sebagai berikut.

- Lx = 44,7 m
- Ly = 44,7 m
- Px = 30,05 m
- Py = 30,05 m

Dari data tersebut dapat dihitung ketidakberaturan sudut dalam bahwa gedung yang diteliti memiliki ketidakberaturan sudut dalam karena $15\%L_x (6,705 \text{ m}) < P_x (30,05 \text{ m})$ dan $15\%L_y (6,705 \text{ m}) < P_y (30,05 \text{ m})$. Ketidakberaturan sudut dalam terjadi

pada seluruh lantai bangunan tersebut, karena denah seluruh lantai tipikal.

Selanjutnya, untuk hasil analisis ketidakberaturan vertikal berat (massa) dapat dilihat pada perhitungan berikut. Contoh yang digunakan untuk perhitungan adalah denah bangunan lantai 3.

$$W_2 = 12886,6213 \text{ kN}$$

$$W_3 = 12886,6213 \text{ kN}$$

$$W_4 = 12886,6213 \text{ kN}$$

Berikut adalah rekapitulasi hasil pemeriksaan ketidakberaturan berat (massa) pada seluruh lantai dapat dilihat pada Tabel 2 Dan 3.

Tabel 2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai	W (kN)	Massa Efektif di atas Lantai	
		150%.W+1	Status
6	30184,1593		Regular
5	12886,6213	45276,2389	Regular
4	12886,6213	19329,9320	Regular
3	12886,6213	19329,9320	Regular
2	12886,6213	19329,9320	Regular
1	13795,6207	19329,9320	Regular

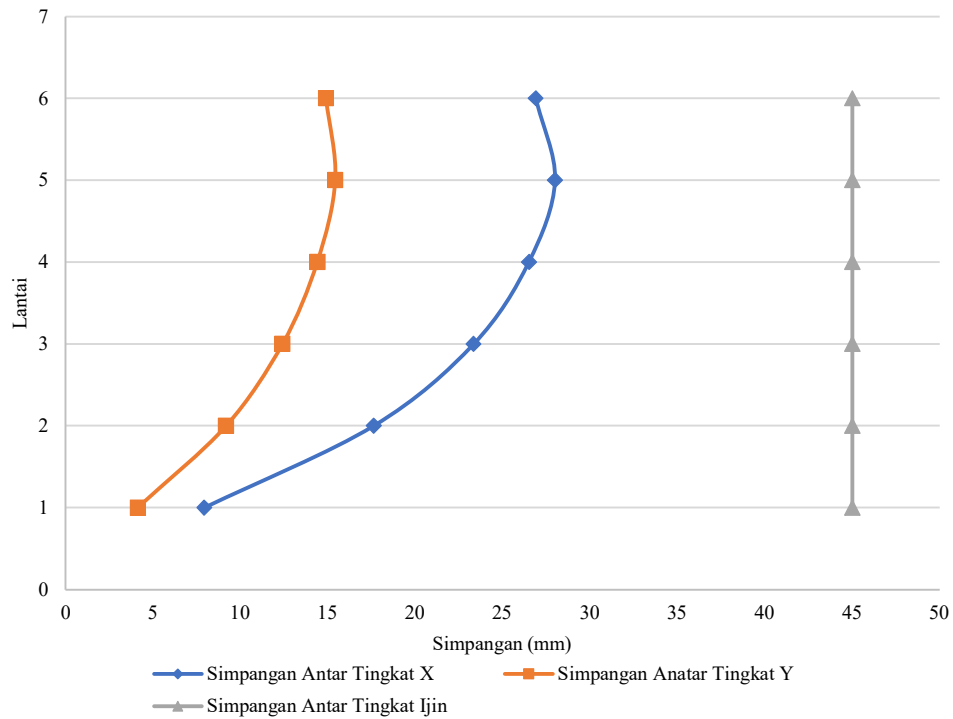
Tabel 3. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Lantai i	W (kN)	Massa Efektif di bawah Lantai	
		150%.W-1	Status
6	30184,1593	19329,9320	Irregular
5	12886,6213	19329,9320	Regular
4	12886,6213	19329,9320	Regular
3	12886,6213	19329,9320	Regular
2	12886,6213	20693,4311	Regular
1	13795,6207		Regular

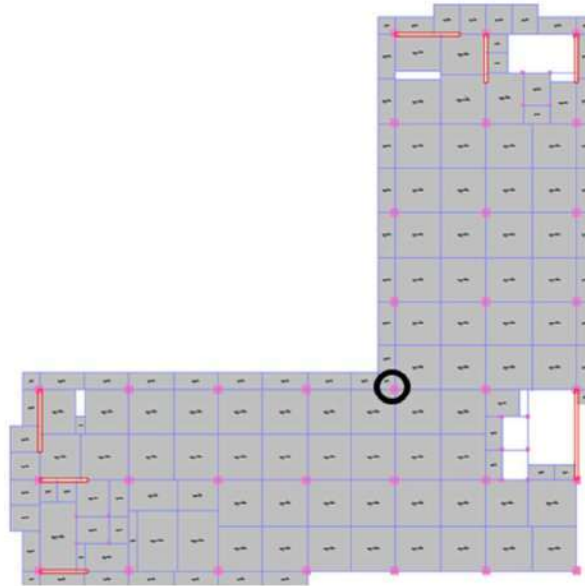
Simpangan antar tingkat

Nilai simpangan antar tingkat diambil pada titik pusat massa yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil dari analisis simpangan antar tingkat pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Simpangan Antar Tingkat terhadap Simpangan Antar Tingkat Ijin Arah X dan Arah Y



Gambar 6. Titik Acuan Defleksi

P-delta

Berikut adalah rekapitulasi perhitungan koefisien stabilitas pada lantai 1-6 arah x

dapat dilihat pada Tabel 4 dan koefisien stabilitas pada lantai 1-6 arah y pada Tabel 5

Tabel 4. Koefisien Stabilitas Arah X

Lantai	Px kN	Vx kN	Δ mm	hsx mm	θ rad	θ_{max}	Status
6	30575,23	3257,108	26,8868	4500	0,0153	0,0909	Aman
5	42720,17	2540,989	28,0006	4500	0,0285	0,0909	Aman
4	55017,27	2504,812	26,5029	4500	0,0353	0,0909	Aman
3	67394,39	2280,414	23,3411	4500	0,0418	0,0909	Aman
2	79843,33	1807,437	17,6157	4500	0,0472	0,0909	Aman
1	93384,59	1402,287	7,92603	4500	0,0320	0,0909	Aman

Tabel 5. Koefisien Stabilitas Arah Y

Lantai	Px kN	Vx kN	Δ mm	hsx m	θ rad	θ_{max}	Status
6	30575,229	1727,364	14,8938	4500	0,0160	0,0909	Aman
5	42720,168	1329,196	15,4330	4500	0,0301	0,0909	Aman
4	55017,274	1310,709	14,3902	4500	0,0366	0,0909	Aman
3	67394,392	1170,034	12,4074	4500	0,0433	0,0909	Aman
2	79843,326	906,606	9,1769	4500	0,0490	0,0909	Aman
1	93384,591	745,603	4,1170	4500	0,0313	0,0909	Aman

Gaya Desain Diafragma

Berdasarkan pasal 7.3.3.4 SNI 1726-2019, pada gedung perkuliahan yang diteliti perlu dilakukan peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25% karena termasuk dalam kategori desain seismik D dengan ketidakberaturan horizontal tipe 2. Hasil perhitungan gaya desain diafragma pada lantai 1-6 arah x dapat dilihat pada tabel 6 dan arah y pada tabel 7.

Elemen Kolektor

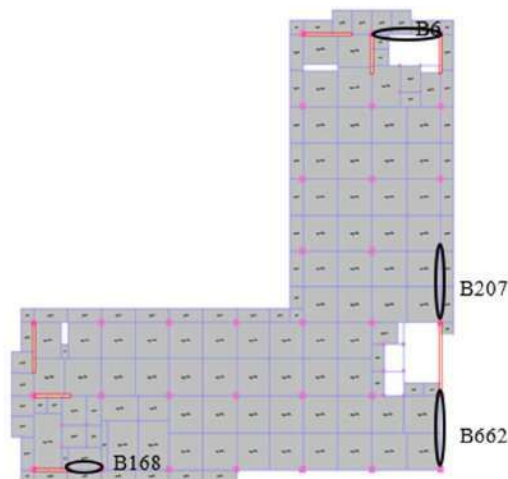
Letak balok yang berpotensi menjadi elemen kolektor dapat dilihat pada Gambar 7. Dari gambar tersebut dilakukan pemeriksaan balok kolektor pada seluruh lantai dengan membandingkan hasil output nilai P dengan $0,1.A_g.f_c$, sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Gaya Desain Diafragma Arah X

Lantai	ΣF_{ix} kN	Σw_i kN	w_{px} kN	F_{px} kN	$1,25 F_{px}$ kN	$F_{px \text{ min}}$ kN	$F_{px \text{ max}}$ kN	A_{px} m ²	Q_{px} kN/m ²
6	3593,58	5337,7	28709,19	19328,18	24160,23	6719,79	13439,58	988,9052	24,43
5	2803,48	14217,8	9937,92	1959,57	2449,46	2326,11	4652,22	988,9052	2,48
4	2763,57	23100,8	9937,93	1188,88	1486,1	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
3	2515,99	32025,6	9937,93	780,74	975,93	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
2	1994,15	40971,6	9937,93	483,69	604,62	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
1	1547,15	50835	10782,7	328,17	410,21	2523,85	5047,71	1171,0230	2,16

Tabel 7. Gaya Desain Diafragma Arah Y

Lantai	ΣF_{iy} kN	Σw_i kN	w_{py} kN	F_{py} kN	$1,25 F_{py}$ kN	$F_{py \text{ min}}$ kN	$F_{py \text{ max}}$ kN	A_{py} m ²	Q_{py} kN/m ²
6	1905,8	5337,74	28709,19	10250,45	12813,06	6719,79	13439,58	988,9052	12,96
5	1466,5	14217,84	9937,92	1025,05	1281,32	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
4	1446,1	23100,85	9937,93	622,11	777,64	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
3	1290,9	32025,55	9937,93	400,58	500,73	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
2	1000,3	40971,62	9937,93	242,62	303,28	2326,11	4652,22	988,9052	2,35
1	822,6	50835,03	10782,75	174,49	218,11	2523,85	5047,71	1171,023	2,16



Gambar 7. Balok yang Berpotensi menjadi Elemen Kolektor pada Lantai 1-6

Tabel 8. Pemeriksaan Elemen Kolektor

Lantai	Tipe	Kode	Dimensi (mm)		0.1*Ag*F'c kN	P kN
			b	h		
1	B168	B3	300	500	450	550,518
2	B168	B3	300	500	450	756,119
3	B168	B3	300	500	450	660,707
	B207	B1B	400	650	780	880,784
4	B168	B3	300	500	450	573,226
	B207	B1B	400	650	780	1150,442
	B662	B1A	400	650	780	785,793
5	B168	B3	300	500	450	1140,642
	B207	B1B	400	650	780	1797,459
	B662	B1A	400	650	780	976,095
6	B168	B3	300	500	450	754,986
	B207	B1B	400	650	780	2067,566
	B662	B1A	400	650	780	1188,688
	B6	B1A	400	650	780	1122,65

Elemen kord

Untuk pengecekan elemen kord, maka terlebih dahulu dilakukan *section cut* pada beberapa segmen pada denah gedung tersebut. Berikut adalah *section cut* yang dilakukan pada lantai 1-5. *Tulangan Geser Diafragma*

Untuk menentukan adanya tulangan geser diafragma ditinjau dari nilai F1 yang terbesar pada hasil *section cut*. Hasil rekapitulasi tulangan geser yang dibutuhkan pada tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 9 dan *Elemen Kord* dan hasil perhitungan penulangan elemen kord dapat dilihat pada Tabel 10.



Gambar 8. *Section Cut* pada Lantai 1-5

Tabel 9 Rekapitulasi Tulangan Geser Diafragma

Lantai	SecCut	Ln m	F1 kN	Vs kN	Kuat Geser 1 Tulangan kN	Tulangan Geser yang Dibutuhkan
2	SecCut 4	14.65	1465,6380	650,0006	16,4934	10D-300
	SecCut 5	14.65	1447,4260	621,9821	16,4934	10D-300
3	SecCut 4	14.65	1840,4850	1226,6883	16,4934	10D-300
	SecCut 5	14.65	1914,0050	1339,7960	16,4934	10D-300
4	SecCut 1	14.65	1062,2540	29,4098	16,4934	10D-300
	SecCut 4	14.65	2274,3380	1894,1544	16,4934	10D-300
5	SecCut 5	14.65	2419,7780	2117,9083	16,4934	10D-300
	SecCut 4	14.65	3045,7640	3080,9637	16,4934	10D-300
	SecCut 5	14.65	3142,1810	3229,2975	16,4934	10D-300

Tabel 10 Kebutuhan Tulangan Kord

Lantai	SecCut	d m	Mu kNm	Tu kN	As Tarik Kord mm ²	Kebutuhan Tulangan
1	1	14,65	4497,2191	306,9774	812,1096	2D16
	2	14,65	4315,9900	294,6068	779,3831	4D16
	3	14,65	5244,3074	357,9732	947,0191	5D16
	4	14,65	355,1084	24,2395	64,1256	2D16
	5	14,65	551,4522	37,6418	99,5815	2D16
2	1	14,65	906,0620	61,8472	163,6170	2D16
	2	14,65	7960,2862	543,3642	1437,4715	8D16
	3	14,65	9901,0338	675,8385	1787,9325	9D16
	4	14,65	6550,7196	447,1481	1182,9315	6D16
	5	14,65	2487,4975	169,7951	449,1933	3D16
3	1	14,65	4030,1142	275,0931	727,7596	2D16
	2	14,65	6873,0042	469,1470	1241,1297	7D16
	3	14,65	4644,4736	317,0289	838,7008	5D16
	4	14,65	10266,4075	700,7787	1853,9118	10D16
	5	14,65	3709,0266	253,1759	669,7775	4D16
4	1	14,65	5715,5820	390,1421	1032,1220	2D16
	2	14,65	8250,6826	563,1865	1489,9114	8D16
	3	14,65	6784,8302	463,1283	1225,2073	7D16
	4	14,65	13735,3688	937,5678	2480,3382	13D16
	5	14,65	4792,2302	327,1147	865,3828	5D16
5	1	14,65	6899,5777	470,9609	1245,9284	2D16
	2	14,65	12529,6659	855,2673	2262,6119	12D16
	3	14,65	10542,5978	719,6312	1903,7864	10D16
	4	14,65	17985,6977	1227,6927	3247,8642	17D16
	5	14,65	6057,6545	413,4918	1093,8936	6D16

Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa gedung perkuliahan ini memiliki ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal. Ketidakberaturan horizontal yang terjadi pada gedung ini adalah ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2). Sedangkan

ketidakberaturan vertikal yang terjadi adalah ketidakberaturan berat/ massa (tipe 2).

Gedung yang diteliti termasuk dalam kategori desain seismik D dan memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2. Sesuai dengan Pasal 7.3.3.4 SNI 1726-2019, konsekuensi yang harus dipenuhi adalah perlu dilakukan peningkatan gaya desain

diafragma sebesar 25%. Dari hasil analisis gaya desain diafragma perlu ditambahkan elemen kolektor dan elemen kord pada gedung tersebut.

Pada gedung ini simpangan antar tingkat (Δ) arah X pada lantai 1-6 adalah 7,9 mm, 17,6 mm, 23,3 mm, 26,5 mm, 28 mm, dan 26,9 mm. Sedangkan simpangan antar tingkat (Δ) pada arah Y pada lantai 1-6 adalah 4,1 mm, 9,2 mm, 12,4 mm, 14,4 mm, 15,4 mm, dan 14,9 mm. Nilai simpangan antar tingkat izin (Δ_a) untuk semua lantai sebesar 90 mm. Maka, simpangan antar tingkat pada gedung ini, baik pada arah X maupun arah Y dinyatakan aman, karena simpangan antar tingkat pada lantai 1 hingga lantai 6 tidak melebihi nilai simpangan antar tingkat izin.

Nilai koefisien stabilitas (θ) arah X pada gedung ini lantai 1-6 adalah 0,0320 rad, 0,0472 rad, 0,0418 rad, 0,0353 rad, 0,0285 rad, dan 0,0153 rad. Sedangkan nilai koefisien stabilitas (θ) pada arah Y lantai 1-6 adalah 0,0313 rad, 0,0490 rad, 0,0433 rad, 0,0366 rad, 0,0301 rad, dan 0,0160 rad. Nilai koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}) pada seluruh lantai sebesar 0,0909 rad, sehingga pengaruh P-Delta pada seluruh lantai di gedung perkuliahan yang diteliti dinyatakan stabil, karena nilai koefisien stabilitas (θ) tidak melebihi dari nilai koefisien stabilitas maksimum (θ_{max}).

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan penulis pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa. Model memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2 pada seluruh lantai, dan ketidakberaturan vertikal tipe 2 pada lantai 6. Nilai simpangan antar tingkat (Δ) pada seluruh lantai gedung perkuliahan tersebut baik arah x maupun arah y telah memenuhi persyaratan karena kurang dari simpangan antar tingkat ijin (Δ_a), sehingga dinyatakan aman. Ketidakberaturan struktur yang terjadi pada gedung perkuliahan tersebut

menyebabkan gaya desain diafragma harus ditingkatkan sebesar 25% untuk proses analisisnya. Selain itu, gedung tersebut termasuk kedalam kategori desain seismik D, sehingga sesuai SNI 1726-2019 gaya desain diafragma harus ditingkatkan 25% pada seluruh lantai.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya.

1. Pada penelitian ini tulangan pada balok, kolom, pelat, serta dinding geser tidak didesain. Sebaiknya, pada penelitian selanjutnya semua elemen tersebut dapat didesain.
2. Penelitian ini bisa dilakukan dengan menggunakan objek penelitian yang lain, sehingga bangunan yang diteliti lebih bervariasi dari segi bentuk, jumlah tingkat, serta tinggi antar tingkat.
3. Pada penelitian selanjutnya perhitungan yang dilakukan untuk analisis dapat menggunakan cara yang lebih efisien serta dengan peraturan-peraturan terbaru

Daftar pustaka

- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI-2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI-1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *SNI-1727-2020 Beban Minimum untuk Perancangan Banunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Egan dan Leo, Edison. 2018. Analisis Gaya dan Momen yang Terjadi di Sekitar Elemen *Chord* dan Balok Kolektor akibat Gaya Gempa pada Bangunan Bertingkat Tinggi. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. 1(1). 271-280

- Harahap, M.F., dan Fauzan, M. 2019. Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 4(3) : 195-206
- Karunia, R., Baehaki dan Fathonah, W. 2020. Pengaruh Variasi Model Ketidakberaturan Vertikal pada Gedung Bertingkat tinggi terhadap Respon Seismik dengan Analisis Respon Spektrum. *Jurnal Fondasi*. 9(1): 63-76.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Jakarta: Pustaka Pelajar.
- Prijasambada dan Hafifah, Vivi. 2018. Analisa Gaya Diafragma, Kord, dan Kolektor pada Bangunan Gedung Sesuai dengan SNI 1726:2012. *IKRAITH-TEKNOLOGI*. 2(1): 41-49.
- Wahyuhana, R. T., dan Prabawa, B. A. 2021. Kinerja Ekonomi Kawasan Perkotaan Yogyakarta Melalui Analisis Spasial. *Jurnal Plano Madani*. 10(1): 76-89.