

ANALISIS KOMPARATIF PEMAKAIAN TWO-WAY SLAB DAN FLAT SLAB TERHADAP KINERJA SEISMIC GEDUNG “LP”

Steven Gusanto¹ dan Arif Sandjaya^{1*}

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
*arifs@ft.untar.ac.id

Masuk: 31-10-2024, revisi: 11-11-2024, diterima untuk diterbitkan: 23-01-2025

ABSTRACT

Indonesia is in a seismically active region due to the presence of the Eurasian Plate and the Indo-Australian Plate. This means that buildings and non-building structures must be designed to withstand seismic forces. One of the critical elements in resisting earthquakes in a building is the floor slab. In addition to resisting seismic forces, the floor slab also serves as a walking and activity area for people. There are several types of floor slab construction, for example flat slab and two-way slab. When considering which type of floor slab construction to use in a building, a seismic performance analysis of the slabs is necessary to evaluate their effectiveness under gravitational loads and lateral forces. This study examines seismic performance indicators such as base shear, story shear, story displacement, and story drift that occur in each type of floor slab. The dimensions and specifications of the slabs used will be adjusted according to minimal requirements. The seismic analysis is conducted in three dimensions using response spectrum analysis. Based on the analysis results, it can be concluded that two-way slabs exhibit higher seismic resistance compared to flat slabs, as they result in greater base shear, story shear, story displacement, and story drift. Consequently, the design of buildings with two-way slabs will be safer against larger seismic loads than those with flat slabs.

Keywords: Seismic; flat slab; two-way slab; shear; displacement

ABSTRAK

Indonesia berada pada daerah rawan bencana gempa karena dilewati oleh lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Hal ini berarti bangunan gedung maupun non gedung harus dirancang menahan gaya gempa. Salah satu elemen yang membantu menyalurkan beban lateral gempa adalah pelat lantai. Selain itu, pelat lantai juga berfungsi sebagai tempat berpijak dan beraktivitas bagi manusia. Terdapat beberapa jenis konstruksi pelat lantai, contohnya adalah *flat slab* dan *two-way slab*. Dalam mempertimbangkan jenis konstruksi pelat lantai yang akan digunakan pada bangunan, dibutuhkan analisis kinerja seismik dari pelat yang dapat bekerja dan seberapa optimal mereka saat dibebani gravitasi dan gaya lateral. Penelitian ini mengkaji kinerja seismik seperti *base shear*, *story shear*, *story displacement*, dan *story drift* yang terjadi pada masing-masing jenis pelat lantai. Dimensi dan spesifikasi pelat yang digunakan akan disesuaikan dengan kebutuhan minimal. Analisis gempa dilakukan secara tiga dimensi menggunakan analisis respons spektrum. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa *two-way slab* memiliki ketahanan seismik yang lebih tinggi dibandingkan dengan *flat slab* karena menghasilkan *base shear*, *story shear*, *story displacement*, dan *story drift* yang lebih besar. Hal ini mengakibatkan desain dari bangunan konstruksi *two-way slab* akan lebih aman terhadap beban gempa yang lebih besar dibandingkan dengan *flat slab*.

Kata kunci: Seismik; pelat datar; pelat dua arah; geser; perpindahan

1. PENDAHULUAN

Dalam mendesain bangunan di Indonesia, para perancang memerlukan pengetahuan luas mengenai struktur bangunan tahan gempa, mengingat letak Indonesia yang dilewati oleh lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang meningkatkan resiko bencana gempa. Oleh karena itu, bangunan baik gedung maupun non Gedung harus dirancang mampu menahan gaya gempa yang besar (Tavio & Wijaya, 2018).

Pelat lantai tidak hanya berfungsi sebagai tempat berpijak dan beraktivitas bagi manusia tetapi juga berfungsi untuk menyalurkan beban lateral gempa yang terjadi. Dalam sistem konstruksi pelat lantai, terdapat beberapa jenis, diantaranya adalah *two-way slab* dan *flat slab*. Masing-masing jenis pelat memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, sehingga diperlukan pertimbangan yang komprehensif saat memilih jenis pelat lantai yang akan digunakan dalam suatu struktur (Violeta, 2024).

Dalam mempertimbangkan jenis pelat yang digunakan, salah satu komponen yang perlu diperhitungkan adalah kinerja seismik dari pelat yang dapat bekerja dengan optimal saat dibebani gravitasi dan gaya lateral dengan biaya yang minimal (Tunç et al., 2023).

Kelebihan masing-masing jenis slab

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hulke & Solanke (2023), *Two-way slab*, yang dikenal juga sebagai *Classic slab* merupakan pilihan populer karena beberapa keuntungan seperti biaya yang lebih ekonomis dan kekakuan serta *bearing capacity* yang lebih besar. *Flat slab* memiliki beberapa keunggulan seperti, secara arsitektur lebih nyaman dipandang, pemasangan bekisting yang lebih mudah, waktu pengerjaan yang lebih cepat, dapat mengurangi kebutuhan tinggi lantai, serta penerangan yang lebih baik (Girish & Lingeshwaran, 2018). Kelebihan-kelebihan ini menyebabkan perbedaan dalam mendesain panjang bentang serta kebutuhan tulangan dan tebal pelat. Selain itu, perbedaan tersebut juga menyebabkan perbedaan karakteristik bangunan terhadap beban seismik seperti *story displacement*, *story shear*, *story drift*, dan *base shear*.

Gaya geser dasar dan gaya geser tingkat

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan pengganti atau penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan. Gaya gempa tersebut harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser dasar tersebut akan didistribusikan secara vertikal sepanjang tinggi struktur sebagai gaya horizontal tingkat yang bekerja pada masing-masing bangunan yang disebut juga dengan gaya geser tingkat (*story shear*) (Ivan & Leo, 2019).

Simpangan lateral tingkat dan simpangan antar lantai tingkat

Simpangan lateral tingkat (*story displacement*) adalah perpindahan lateral suatu tingkat yang diukur dari dasar bangunan dan simpangan antar lantai tingkat (*story drift*) merupakan perpindahan lateral relatif antar dua tingkat yang berdekatan (Ivan & Leo, 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tunç et al. (2023), Hulke dan Solanke (2023), dan Borkar et al. (2021) menunjukkan bahwa *flat slab* memiliki nilai *story shear*, *story displacement*, dan *base shear* yang lebih tinggi ketika dibandingkan dengan *two-way slab*. Hal ini mengakibatkan desain bangunan dengan sistem pelat lantai *flat slab* akan lebih kuat menahan gaya lateral (Rupidara et al., 2022). Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan dan penelitian terdahulu maka dilakukan komparasi penggunaan pelat *two-way* dan penggunaan *flat slab* terhadap kinerja seismik struktur gedung “LP” setinggi 4 lantai yang berfungsi sebagai gedung parkir sekaligus kantor dan *workshop*. Kinerja seismik yang akan dikaji adalah *story displacement*, *story shear*, *story drift*, dan *base shear* dari masing-masing bangunan yang menggunakan pelat berbeda, sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan pelat lantai yang tepat sesuai kebutuhan.

2. METODE PENELITIAN

Umumnya, analisis perhitungan beban gempa pada struktur bangunan dilakukan dengan beberapa metode, yaitu analisis statik ekuivalen, analisis linear dinamis, metode respons spektrum, metode *time history*, analisis *push over*, analisis statis *non-linear*, dan analisis dinamis *non-linear*. Namun, metode analisis pada struktur biasa cukup menggunakan metode analisis respons spektrum. Penelitian diawali dengan membuat desain awal dari struktur bangunan Gedung “LP” yang akan dibangun. Proses ini meliputi penentuan mutu material yang digunakan, dimensi kolom, balok, dan pelat lantai, serta penentuan pembebanan yang bekerja sesuai dengan fungsi dari tiap elemen struktur. Mutu material yang digunakan adalah beton $f_c' = 30$ MPa dan baja BJTS 420b untuk tulangan beton.

Permodelan

Permodelan untuk pelat lantai *two-way* menggunakan pelat lantai dengan ketebalan 125 mm dengan dimensi balok mengikuti panjang bentang dengan bentang terpanjang yaitu 9 m menggunakan balok berukuran 350 mm x 800 mm. Diantara bentang antar kolom juga terdapat balok anak yang ukurannya mengikuti panjang bentang dengan bentang terpanjang yaitu 9 m menggunakan balok anak berukuran 350 mm x 750 mm.

Permodelan untuk *flat slab* digunakan ketebalan 225 mm dengan tebal *drop panel* setebal 325 mm dan berukuran 3 m x 3 m. Pada permodelan ini, hanya digunakan balok tepi sebesar (350 x 800) mm. Dimensi elemen struktur dan jumlah tulangan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1-4.

Tabel 1. Dimensi elemen struktur

Elemen Struktur	Flat slab (mm)	Pelat two-way (mm)
Tebal Pelat	225	125
Tebal Drop Panel	100	-
Dimensi Drop Panel	3000 x 3000	-

Tabel 2. Dimensi dan kebutuhan tulangan balok pada two-way slab

Jenis Balok	Panjang Bentang (m)	Dimensi (mm)	Posisi tulangan	Tulangan longitudinal		Tulangan transversal
				Atas	Bawah	
Induk arah X	7	300 × 650	Tumpuan	4D19	3D19	D10-125
			Lapangan	3D19	3D19	D10-150
	9	350 × 800	Tumpuan	5D19	4D19	D10-250
			Lapangan	4D19	4D19	D10-150
	7,35	300 × 700	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	4D19	D10-300
Induk arah Y	7,8	300 × 700	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	4D19	D10-300
	8	300 × 750	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	3D19	D10-200
	9	350 × 800	Tumpuan	5D19	4D19	D10-250
			Lapangan	4D19	4D19	D10-150
Anak arah X	7	300 × 600	Tumpuan	2D19	2D19	D10-250
			Lapangan	2D19	3D19	D10-300
	9	350 × 750	Tumpuan	3D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	3D19	D10-300
	7,35	300 × 650	Tumpuan	2D19	2D19	D10-250
			Lapangan	2D19	3D19	D10-300
Anak arah Y	7,8	300 × 650	Tumpuan	2D19	2D19	D10-250
			Lapangan	2D19	3D19	D10-300
	8	300 × 700	Tumpuan	2D19	3D19	D10-250
			Lapangan	2D19	4D19	D10-300
	9	350 × 750	Tumpuan	3D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	3D19	D10-300

Tabel 3. Dimensi dan kebutuhan tulangan balok pada flat slab

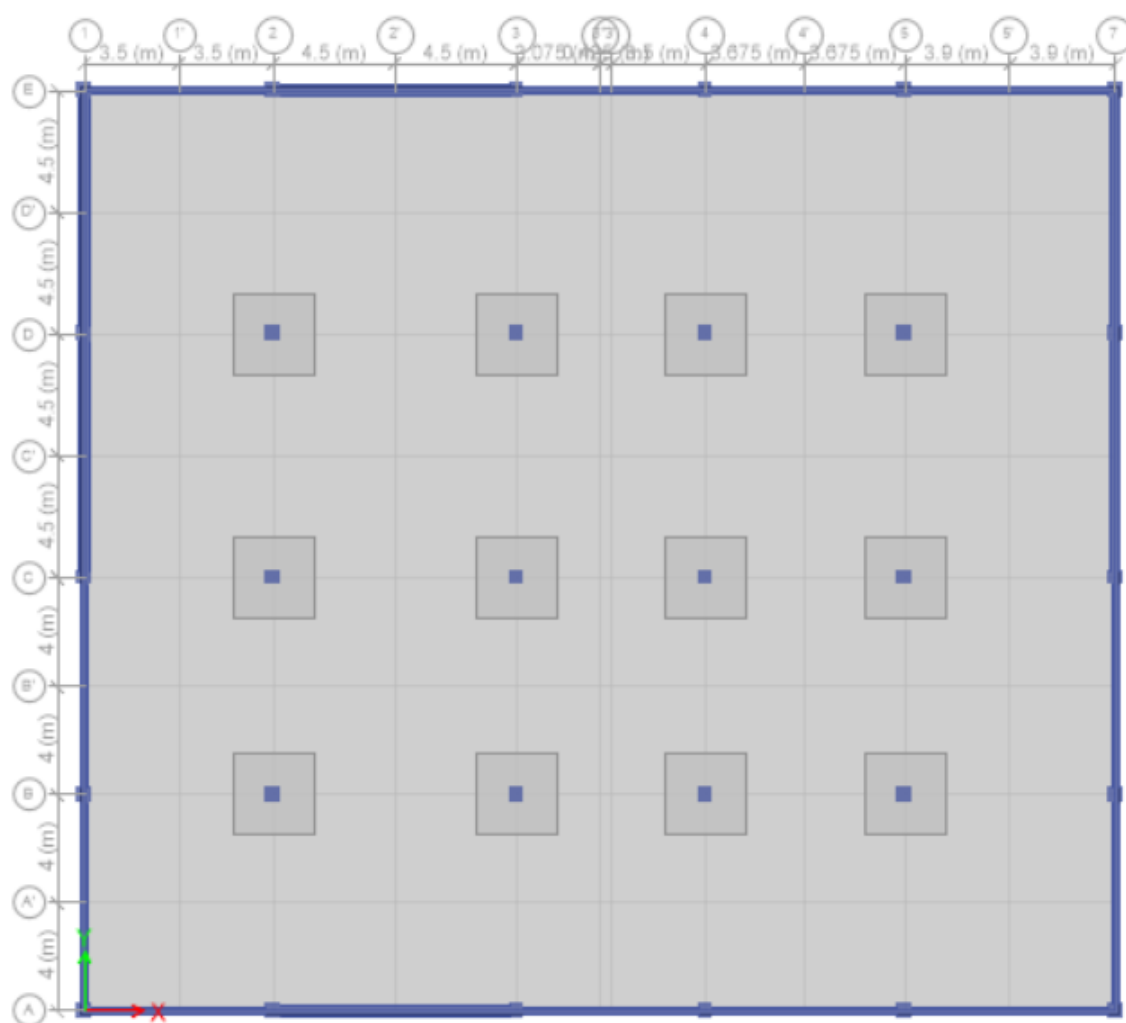
Jenis Balok	Panjang Bentang (m)	Dimensi (mm)	Posisi tulangan	Tulangan longitudinal		Tulangan transversal
				Atas	Bawah	
Induk X	7	300 × 650	Tumpuan	4D19	3D19	D10-125
			Lapangan	3D19	3D19	D10-150
	9	350 × 800	Tumpuan	5D19	4D19	D10-250
			Lapangan	4D19	4D19	D10-150
	7,35	300 × 700	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	4D19	D10-300
Induk Y	7,8	300 × 700	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	4D19	D10-300
	8	300 × 750	Tumpuan	4D19	3D19	D10-250
			Lapangan	3D19	3D19	D10-200
	9	350 × 800	Tumpuan	5D19	4D19	D10-250
			Lapangan	4D19	4D19	D10-150

Gambar 1-2 adalah permodelan yang digunakan untuk analisis.

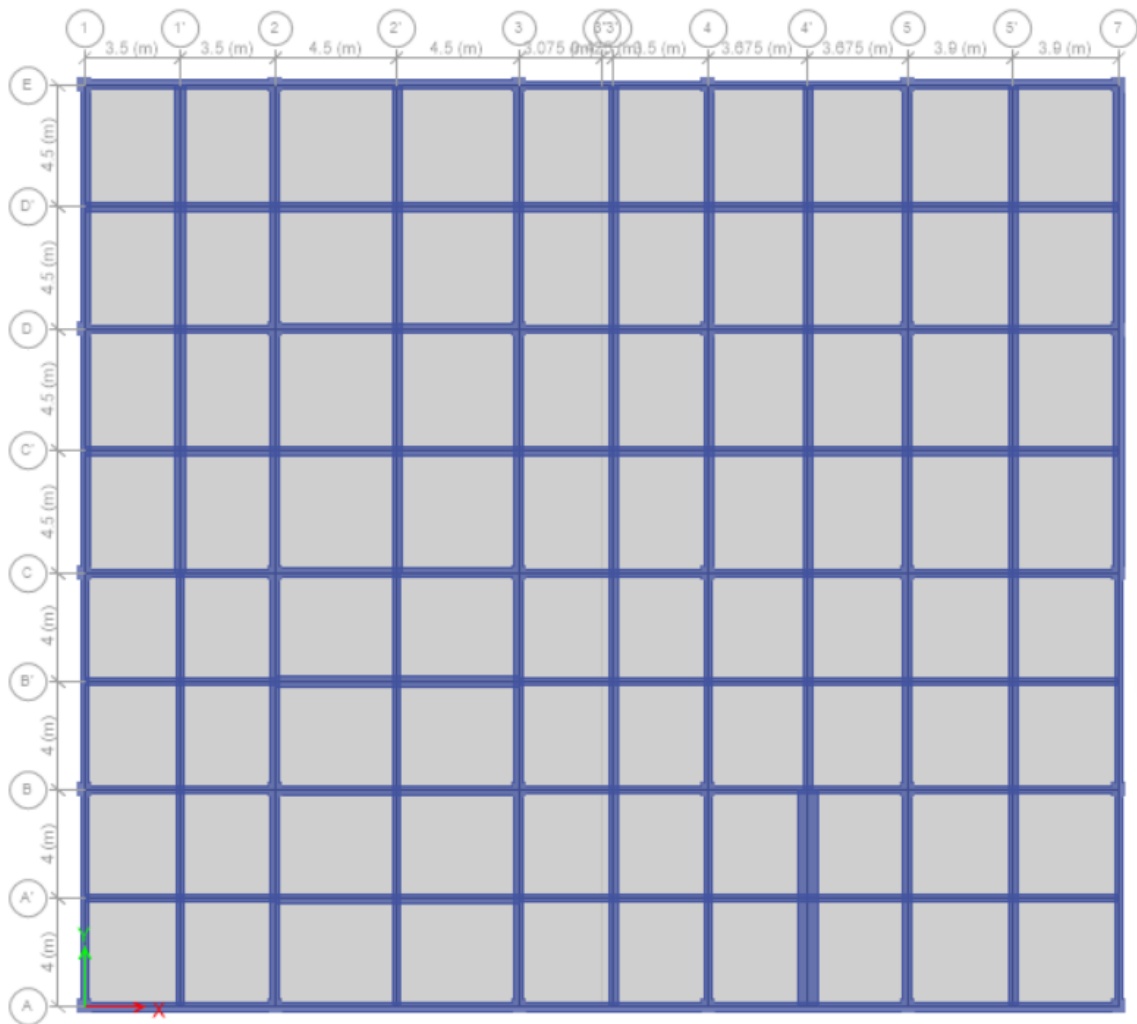
Pada permodelan, dilakukan *end moment release* pada balok-balok induk interior model *two-way slab* dan perletakan sendi pada kolom interior. *End moment release* ini dilakukan agar balok dan kolom interior *two-way slab* tidak menerima beban gempa dan perilakunya menyerupai struktur *flat slab*. Penyamaan perilaku ini bertujuan agar komparasi yang dihasilkan bersifat setara.

Tabel 4. Dimensi dan data tulangan kolom untuk *two-way slab* dan *flat slab*

Lantai	Tinggi lantai (m)	Posisi	Dimensi kolom (mm)	Tulangan longitudinal	Tulangan transversal
Mezzanine	3	Tepi	600 × 600	12D22	D10-100
		Tengah	700 × 700	16D22	D10-100
2	3	Pojok	550 × 550	12D22	D10-100
		Tepi	600 × 600	12D22	D10-100
		Tengah	700 × 700	16D22	D10-100
3	4,5	Pojok	550 × 550	12D22	D10-100
		Tepi	550 × 550	12D22	D10-100
		Tengah	550 × 550	12D22	D10-100
4	3,5	Pojok	550 × 550	12D22	D10-100
		Tepi	550 × 550	12D22	D10-100
		Tengah	600 × 600	12D22	D10-100



Gambar 1. Tampak atas *flat slab*



Gambar 2. Tampak atas *two-way slab*

Pendefinisian pada model

Setelah melakukan permodelan, maka dilakukan pendefinisian kekakuan efektif penampang. Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 12.11.1, kekakuan efektif penampang untuk setiap elemen dapat didefinisikan seperti Tabel 5.

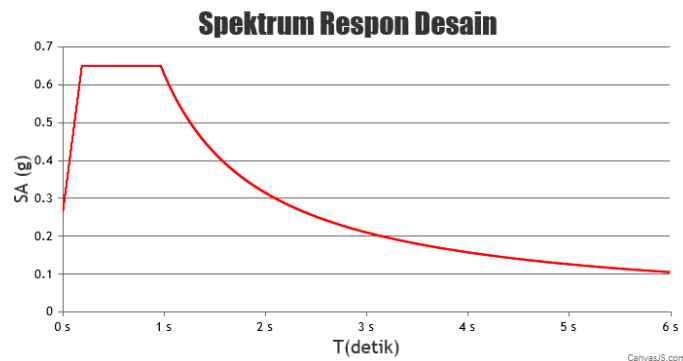
Tabel 5. Kekakuan efektif penampang

Elemen Struktur	Kekakuan Efektif
Balok	$0,7 E_c I_g$
Kolom	$0,7 E_c I_g$
Pelat	$0,25 E_c I_g$

Pembebanan

Beban yang digunakan terdiri dari beban sendiri (*dead load*), beban *superimposed dead load*, beban hidup, beban angin, dan beban seismik dinamis yang menggunakan metode respons spektrum. Penentuan beban sendiri dibantu oleh software dengan menghitung berat jenis masing-masing material dikalikan dengan volumenya. Beban *superimposed dead load* meliputi beban plafon, penggantung plafon, dan beban mekanikal/elektrikal, dengan berat total sebesar $0,863 \text{ kN/m}^2$. Beban hidup mengacu pada SNI 1727-2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Untuk beban pelat yang berfungsi sebagai parkir kendaraan pribadi digunakan $1,92 \text{ kN/m}^2$, untuk pelat yang berfungsi sebagai kantor digunakan $2,4 \text{ kN/m}^2$, dan untuk pelat yang berfungsi sebagai toilet menggunakan $2,87 \text{ kN/m}^2$. Beban angin diinput menggunakan bantuan software, dengan kategori resiko II dan kecepatan angin 40 m/s . Untuk beban seismik dinamis, digunakan metode respons spektrum

yang mengacu pada SNI 1726-2019 menggunakan data lokasi proyek. Kelas tanah menggunakan kelas SE, dengan nilai koefisien S_{DS} sebesar 0,65 g, S_{D1} sebesar 0,63 g, T_s sebesar 0,97 s, dan T_0 sebesar 0,19 s. Grafik respon spektrum yang digunakan untuk desain dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum respon desain proyek “LP” (Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, 2024)

Setelah penentuan setiap elemen struktur selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah memeriksa kebutuhan tulangan dari masing-masing elemen struktur. Jika, kebutuhan tulangan belum mencukupi, dimensi dari elemen struktur harus diperbesar. Setelah kebutuhan tulangan sudah mencukupi maka dilakukan analisis statik ekuivalen dan metode *respons spektrum* secara bersamaan dan dilakukan pemeriksaan *base shear*. Jika *base shear* dari hasil *respons spektrum* lebih kecil dibandingkan dengan statik ekuivalen, maka harus dilakukan koreksi. Koreksi dilakukan dengan menghitung rasio antara *base shear* statik ekuivalen dengan *base shear respons spektrum*, kemudian rasio tersebut dimasukkan kedalam *scale factor* dalam metode *respons spektrum*. Setelah itu, analisis dilakukan kembali dan dilakukan pemeriksaan karakteristik dinamik struktur, *story displacement*, *story shear*, *story drift*, dan *base shear*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis melalui metode respon spektrum pada struktur menghasilkan output pada Tabel 6-10.

Tabel 6. *Modal participating mass ratios* pada *two-way slab*

Mode	Periode (s)	UX	UY	UZ
1	1,335	0	0,7724	0
2	1,236	0,7662	0	0
3	0,821	0,00000814	0	0

Tabel 7. *Modal participating mass ratios* pada *flat slab*

Mode	Periode (s)	UX	UY	UZ
1	1.232	0	0.7817	0
2	1.144	0.7712	0	0
3	0.784	0.00000714	0	0

Tabel 7. *Output base shear*

Beban	Arah	Flat slab (kN)	Pelat two-way (kN)
Spectra X	X	3115,0265	3401,0433
Spectra Y	Y	3258,714	3334,4093

Tabel 8. *Output story drift*

Story	Flat slab		Pelat two-way	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lt. 4	0,003259	0,003659	0,003618	0,004017
Lt. 3	0,004836	0,005562	0,00555	0,005962
Lt. 2	0,003663	0,00504	0,004214	0,005394
Mezzanine	0,002138	0,002329	0,002448	0,00246

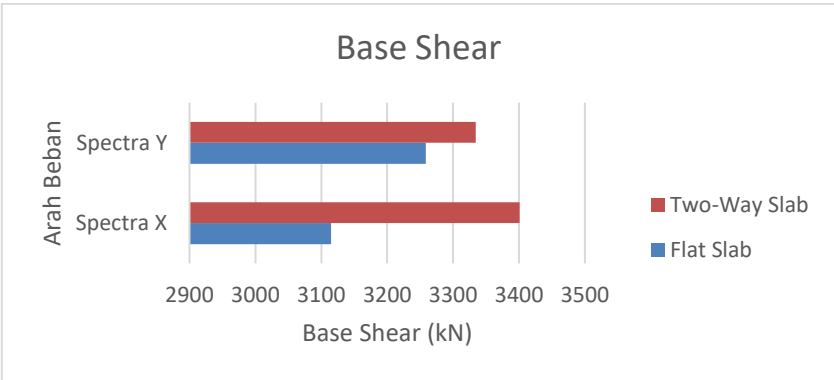
Tabel 9. *Output story shear*

Story	Flat slab (kN)		Pelat two-way (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lt. 4	1484,7834	1542,2106	1617,8992	1610,1687
Lt. 3	2513,7451	2617,0453	2760,6607	2680,6509
Lt. 2	3065,0346	3234,4276	3358,7855	3312,7118
Mezzanine	2338,5204	1290,7168	2572,6411	1280,8234

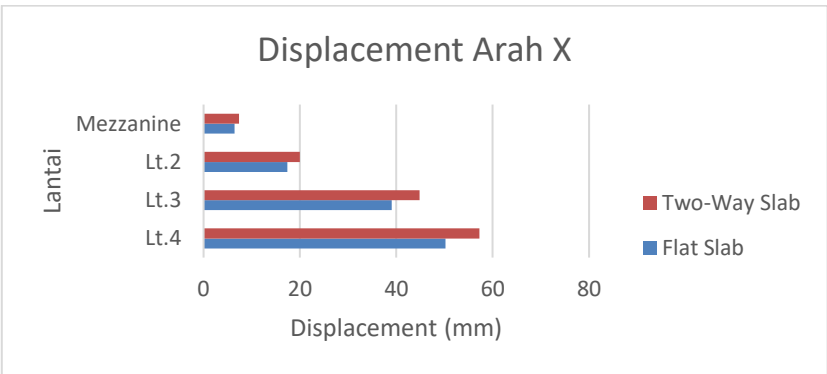
Tabel 10. *Output story displacement*

Story	Flat slab (mm)		Pelat two-way (mm)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lt. 4	50,205	59,975	57,257	64,488
Lt. 3	39,027	47,442	44,797	50,754
Lt. 2	17,369	22,553	19,986	24,08
Mezzanine	6,413	6,987	7,344	7,379

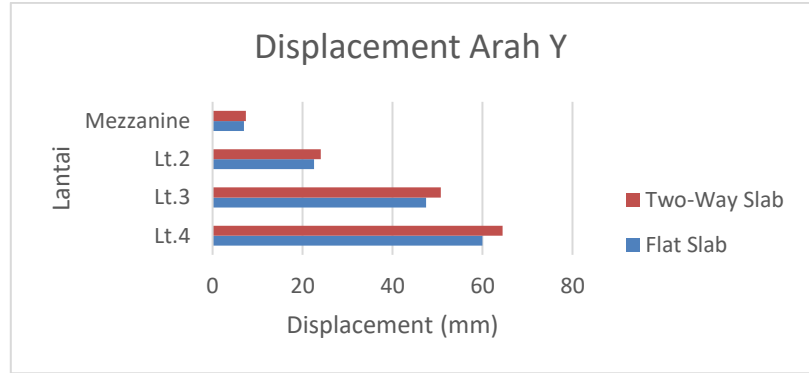
Berdasarkan hasil analisis, terdapat perbedaan yang cukup signifikan diantara kinerja seismik kedua jenis struktur tersebut. Gambar 4-10 disajikan grafik kinerja struktur dari masing-masing jenis *slab*.



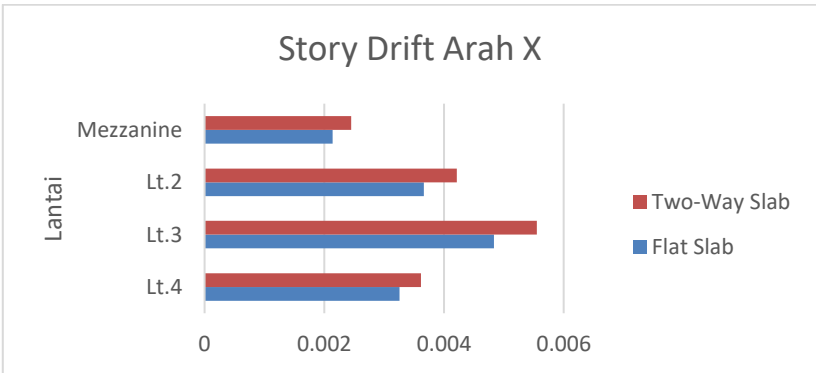
Gambar 4. Grafik *base shear*



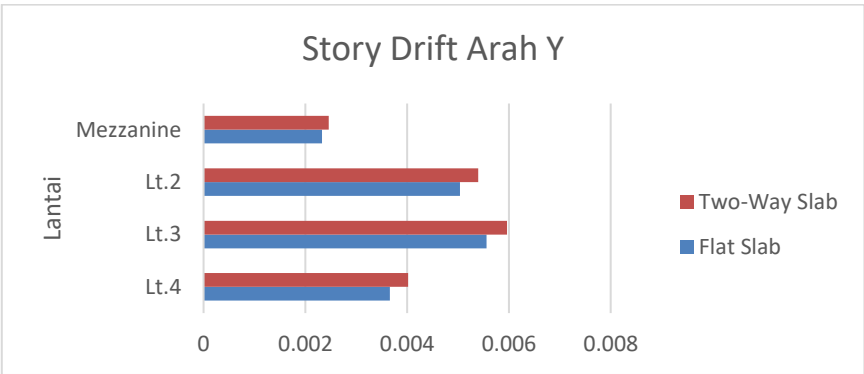
Gambar 5. Grafik *story displacement arah X*



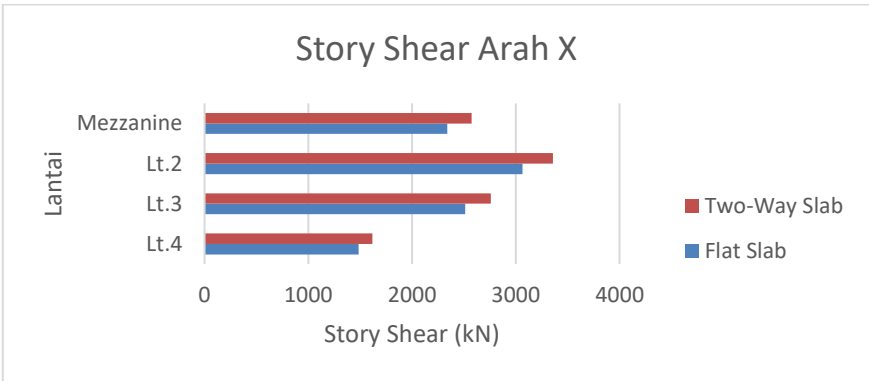
Gambar 6. Grafik *story displacement* arah Y



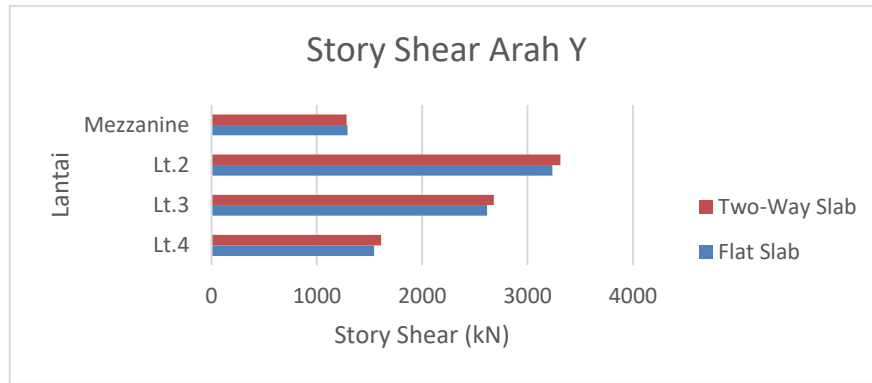
Gambar 7. Grafik *story drift* arah X



Gambar 8. Grafik *story drift* arah Y



Gambar 9. Grafik *story shear* Arah X



Gambar 10. Grafik *story shear* Arah Y

Pada analisis, partisipasi massa yang terjadi pada *mode 1* hanya terdapat pada UX. Namun, pada *mode 2* dan *3* partisipasi massa terjadi pada UX dan UY, sehingga bangunan mengalami torsi pada *mode* tersebut. Agar bangunan tidak mengalami torsi, hal yang umum dilakukan adalah pembesaran dimensi kolom. Pembesaran dimensi kolom dilakukan untuk meningkatkan kekakuan bangunan sehingga membantu bangunan agar tidak mengalami torsi.

Pada *two-way slab*, karakteristik seismik bangunan seperti *base shear*, *story drift*, *story displacement*, dan *story shear* lebih besar dibandingkan dengan karakteristik seismik bangunan *flat slab*. *Base shear* pada *two-way slab* lebih besar 9% dibandingkan dengan *flat slab*, *story drift* pada *two-way slab* lebih besar 13,92% dibandingkan dengan *flat slab*, *story shear* pada *two-way slab* lebih besar 9,66% dibandingkan dengan *flat slab* dan *story displacement* pada *two-way slab* lebih besar 14,49%. Dibandingkan dengan *flat slab*. Nilai *base shear* yang lebih besar pada *two-way slab* mengartikan bahwa kinerja struktur bangunan dengan desain *two-way slab* akan lebih kuat terhadap beban seismik dibanding dengan *flat slab*. Begitu juga dengan *story displacement*, *story shear*, dan *story drift*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal:

1. *Base shear* yang terjadi pada *two-way slab* lebih besar 9% pada arah X dibandingkan dengan *flat slab* dan lebih besar 2,32% pada arah Y dibandingkan dengan *flat slab*.
2. *Story drift* yang terjadi pada *two-way slab* lebih besar 13,92% pada arah X dibandingkan dengan *flat slab* dan lebih besar 7,5% pada arah Y dibandingkan dengan *flat slab*.
3. *Story shear* yang terjadi pada *two-way slab* lebih besar 9,66% pada arah X dibandingkan dengan *flat slab* dan lebih besar 2,3% pada arah Y dibandingkan dengan *flat slab*.
4. *Story displacement* pada *two-way slab* lebih besar 14,49% pada arah X dibandingkan dengan *flat slab* dan lebih besar 7,11% pada arah Y dibandingkan dengan *story displacement* yang terjadi pada *flat slab*.
5. Secara keseluruhan *two-way slab* memiliki kinerja seismik yang lebih baik untuk diterapkan pada gedung "LP".

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Borkar, S., Dabhekar, K., Khedikar, I., & Jaju, S. (2021). Analysis of flat slab structures in comparison with conventional slab structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 822(1), 012049.
- Girish, N., & Lingeshwaran, N. (2018). A comparative study of flat slabs using different shear reinforcement parameters. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.20), 321-325.
- Hulke, P., & Solanke, S. S. (2023). Comparative study of different types of slab for same structural condition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1193(1), 012001.
- Ivan, L., & Leo, E. (2019). Analisis Dinamik Perilaku Gedung Dengan Ketidakberaturan Massa Pada Masing-Masing Tingkat Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 245-254.
- Rupidara, Y. A., Cornelis, R., & Sir, T. M. (2022). Analisis perbandingan kinerja seismik dari struktur gedung dengan pelat konvensional, waffle slab, dan flat slab. *Jurnal Forum Teknik Sipil*, 2(1), 80-91.

- Tavio, & Wijaya, U. (2018). *Desain rekayasa gempa berbasis kinerja edisi kedua (performance based design) dilengkapi contoh dan aplikasi program bantu ETABS*. Penerbit ANDI.
- Tunç, G., Azizi, A. B., & Tanfener, T. (2023). Effects of slab types on the seismic behavior and construction cost of RC buildings. *Journal of Polytechnic*, 26(2), 553-567.
- Violeta, I. (2024). Analisa pengaruh variasi bentuk dan konfigurasi kolom terhadap periode getar struktur. *Jurnal Teknologi Infrastruktur*, 3(1), 1-11.