

## PENGARUH EFEK TEBAL PELAT TERHADAP KONDISI DIAFRAGMA BERDASARKAN INDEKS FLEKSIBILITAS

Sunarjo Leman<sup>1\*</sup> dan Husain<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1 Jakarta, Indonesia  
<sup>\*</sup>sunarjo@ft.untar.ac.id

Masuk: 09-06-2025, revisi: 10-07-2025, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2025

### ABSTRACT

The floor diaphragm is a horizontal structural element that functions to distribute lateral loads to the building's lateral load-resisting system. Floor diaphragms can be assumed as rigid, semi-rigid, or flexible. However, in practical applications, the diaphragm must be defined according to the in-plane stiffness characteristics of the slab itself. One approach is by determining the diaphragm flexibility index. This study analyzes three variables that affect diaphragm flexibility, namely: (a) the building's plan aspect ratio ( $S/D_e$ ), (b) the type of the floor system, and (c) the slab thickness. All models were analyzed under static seismic loads without considering accidental eccentricity. The loads were distributed at each node, with meshing divided into  $1\text{ m}^2$  grids, using Midas Civil software. Based on the obtained flexibility index values, it can be concluded that greater slab thickness leads to higher in-plane diaphragm stiffness under lateral loads. Regardless of the slab thickness and plane aspect ratio, the type of the floor system used significantly influences diaphragm stiffness.

Keywords: Diaphragm; diaphragm flexibility; slab thickness; flexibility indexes

### ABSTRAK

Diafragma lantai merupakan elemen struktural horizontal yang berperan dalam mendistribusikan beban lateral ke sistem penahan beban lateral bangunan. Diafragma lantai dapat diasumsikan sebagai kaku, semi-kaku, dan fleksibel. Namun dalam penerapannya di lapangan, diafragma harus disesuaikan berdasarkan karakteristik kekakuan dalam bidang pelat itu sendiri. Salah satu cara adalah dengan mengetahui nilai dari indeks fleksibilitas diafragma. Tiga variabel yang memengaruhi fleksibilitas diafragma dianalisis dalam penelitian ini, yaitu: (a) rasio aspek denah bangunan ( $S/D_e$ ), (b) jenis pelat lantai, dan (c) tebal pelat lantai. Seluruh model yang dianalisis menggunakan beban gempa statik tanpa memperhitungkan eksentrisitas yang tidak disengaja yang didistribusikan pada tiap nodal yang telah dibagi setiap  $1\text{ m}^2$  menggunakan perangkat lunak Midas Civil. Berdasarkan nilai indeks fleksibilitas yang dihasilkan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ketebalan pelat maka kekakuan diafragma lantai terhadap beban lateral akan semakin tinggi. Terlepas dari ketebalan pelat dan rasio aspek denah bangunan, jenis pelat yang digunakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekakuan diafragma.

Kata kunci: Diafragma; fleksibilitas diafragma; tebal pelat; indeks fleksibilitas

## 1. PENDAHULUAN

Pelat lantai merupakan elemen struktural horizontal yang berperan dalam mendistribusikan beban gravitasi dan beban hidup ke elemen struktural utama seperti balok, kolom atau dinding geser. Selain itu, pelat lantai juga berfungsi sebagai diafragma yang mendistribusikan beban lateral ke sistem penahan beban lateral bangunan. Dalam mendistribusikan beban lateral, pelat lantai memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kekakuan lateral keseluruhan struktur (Shanthika et al., 2022). Sebagai diafragma, pelat lantai bertindak sebagai elemen pengaku horizontal yang sangat penting dalam menjaga kestabilan bangunan, khususnya terhadap beban gempa, angin, dan beban horizontal lainnya.

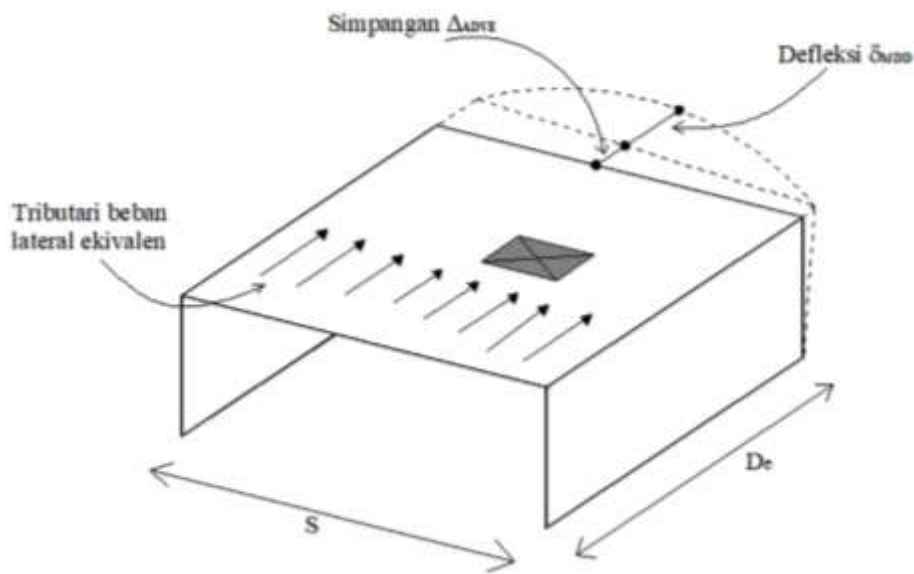
Secara teoritis, pelat lantai dapat dimodelkan sebagai diafragma kaku, semi-kaku, maupun fleksibel. Namun, dalam penerapannya di lapangan, pendekatan tersebut harus disesuaikan berdasarkan karakteristik kekakuan dalam bidang pelat itu sendiri, sehingga diperlukan penentuan asumsi kekakuan yang tepat untuk memberikan hasil yang akurat dalam analisis struktur (Tanuwidjaja et al., 2021).

Asumsi diafragma kaku adalah ketika deformasi dalam bidang diafragma akibat gaya lateral relatif kecil dibandingkan dengan elemen vertikal dari *lateral force resisting system* (LFRS) sehingga dapat diabaikan (Concrete Reinforcing Steel Institute, 2019). Dalam analisis dinamik struktur akibat beban gempa, pelat lantai beton bertulang umumnya dimodelkan sebagai diafragma kaku untuk menyederhanakan perhitungan dan mengurangi waktu komputasi (Dilsiz

& Ozuygur, 2021). Berdasarkan SNI 1726:2019 dijelaskan bahwa, diafragma lantai dapat diidealkan sebagai diafragma kaku apabila memenuhi kriteria tertentu, yaitu terdiri dari pelat beton atau pelat komposit (pelat logam berisi beton) dengan *span to depth ratios* ( $S/D_e$ ) (lihat Gambar 1) kurang dari atau sama dengan 3. Selain itu struktur harus bebas dari ketidakaturan horizontal tipe 2, 3, 4, atau 5. Mengacu pada SNI 1726:2019, fleksibilitas diafragma dapat ditentukan melalui Persamaan 1. Jika Persamaan 1  $> 2$ , maka diafragma dikategorikan sebagai fleksibel dan harus dimodelkan dengan asumsi elastis. Apabila Persamaan 1  $\leq 2$  dan memenuhi kriteria diafragma kaku, maka pelat lantai dapat diasumsikan sebagai bidang kaku dalam analisis struktur (Huang et al., 2023). Namun, jika diafragma tidak memenuhi kriteria kaku maupun fleksibel, maka pemodelan semi-kaku perlu diterapkan dengan mempertimbangkan kekakuan relatif diafragma terhadap elemen vertikal sistem penahan gaya seismik.

$$\frac{\delta_{MDD}}{\Delta_{ADVE}} \quad (1)$$

dimana  $\delta_{MDD}$  adalah defleksi dalam bidang maksimum diafragma di bawah beban lateral dan  $\Delta_{ADVE}$  adalah *drift* rata-rata rangka lateral yang berdekatan di kedua ujung diafragma.



Gambar 1. Diafragma fleksibel SNI 1726:2019

Pada bangunan bertingkat tinggi, ketahanan terhadap gaya lateral menjadi aspek penting dalam perancangan struktur. Terdapat beberapa peneliti yang menyelidiki permasalahan mengenai kondisi kekakuan diafragma serta deformasi pada diafragma. Ruggieri et al. (2020) melakukan prosedur numerik yang praktis untuk menentukan apakah sistem diafragma bersifat kaku atau fleksibel. Berdasarkan hasil analisis struktur beton bertulang eksisting, diketahui bahwa diafragma pada bangunan yang menggunakan dinding pengisi (*infill frame*) maupun yang telah dilakukan perkuatan (*retrofitted frame*) menggunakan dinding geser ataupun *bracing* cenderung memiliki karakteristik lebih fleksibel dibandingkan dengan bangunan yang hanya terdiri dari rangka tanpa elemen pengisi (*bare-frame*). Hassan (2022) melakukan studi komparatif antara penggunaan diafragma kaku dan diafragma fleksibel pada pelat dalam bangunan bertingkat terhadap beban gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, perpindahan horizontal akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya tinggi bangunan. Selain itu, penggunaan sistem pelat solid dengan diafragma kaku memiliki perpindahan horizontal yang lebih kecil dibandingkan sistem pelat solid dengan diafragma fleksibel. Perbedaan antara kedua sistem tersebut berkisar antara 65% hingga 69%. Dalam penelitiannya, Tena-Colunga & Sabanero-García (2023) menyimpulkan bahwa ketika kekakuan diafragma diperhitungkan dalam pemodelan, perpindahan lateral meningkat sebesar 2,1 hingga 3,4 kali lipat dibandingkan dengan asumsi diafragma kaku. Berdasarkan penelitian terkait asumsi diafragma, jika perbedaan perpindahan lateral atau gaya dalam elemen struktural antara kedua asumsi tersebut sangat besar, maka kesalahan dalam menentukan jenis diafragma dapat menghasilkan desain yang tidak mencerminkan kondisi aktual bangunan. Maka dari itu, Penentuan apakah pelat lantai dapat diasumsikan sebagai diafragma kaku, fleksibel, atau semi-kaku sangat penting untuk memperoleh hasil analisis yang akurat.

Salah satu cara adalah dengan mengetahui nilai dari indeks fleksibilitas diafragma. Persamaan 1 merupakan indeks fleksibilitas yang sudah mendunia, diusulkan dalam pedoman di Amerika Serikat seperti ASCE/SEI 7-22. Namun, masih terdapat beberapa kebingungan dan kejanggalan terhadap indeks fleksibilitas ini. Telah diketahui secara luas

bahwa indeks fleksibilitas ini diusulkan berdasarkan studi eksperimental dan analitis pada sistem lantai kayu, yang memiliki sifat sangat fleksibel karena ketebalan diafragmanya sangat kecil.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Tena-Colunga et al. (2015), hasil menunjukkan bahwa, saat menggunakan indeks ini, diafragma yang diteliti akan selalu diklasifikasikan sebagai kaku. Perlu diketahui bahwa bangunan yang diteliti tidak menggunakan dinding geser. Sebagai contoh, pada bangunan apartemen, nilai tertinggi yang diperoleh Persamaan 1 adalah 1,01 sedangkan pada bangunan perkantoran mencapai 1,19 untuk pelat baja dengan rasio  $S/D_e = 4,5$ . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa meskipun indeks ini bermanfaat untuk mengidentifikasi diafragma yang benar-benar fleksibel, indeks ini kurang efektif untuk membedakan antara diafragma semi-kaku dan semi-fleksibel. Perlu diketahui untuk mempertimbangkan indeks fleksibilitas yang lain untuk menentukan kondisi diafragma, seperti indeks fleksibilitas yang diajukan oleh Ju & Lin (1999).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Shanthika et al. (2022) mengenai pengaruh dari sistem pelat yang digunakan terhadap respons struktur akibat beban lateral, diperoleh hasil bahwa sistem pelat dengan balok memiliki deformasi dan rasio simpangan antar lantai (*inter story drift ratio*) yang lebih rendah dibandingkan sistem pelat lainnya, seperti *flat slab* (dalam penelitian ini disebut sebagai *flat plate*) dan *flat slab* dengan *drop panel*. Di antara semua sistem pelat yang dianalisis, *flat slab* memiliki nilai deformasi dan rasio simpangan antar lantai paling tinggi.

Maka dari itu, penelitian ini akan menambahkan dinding geser dengan menggunakan indeks fleksibilitas yang mengacu pada SNI 1726:2019 untuk mengevaluasi pengaruh tebal pelat terhadap pemodelan diafragma lantai kaku. Pada penelitian ini, 2 jenis pelat dipilih untuk dianalisis, yaitu *flat plate* dan pelat dengan balok. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui batas validitas asumsi diafragma lantai kaku berdasarkan ketebalan pelat tertentu pada jenis pelat *flat plate* dan pelat dengan balok.

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, struktur bangunan satu lantai dengan rasio  $S/D_e$  yang berbeda didesain sesuai dengan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019 Kemudian, proses pembuatan model struktur serta analisis struktur akan menggunakan perangkat lunak Midas Civil. Analisis dilakukan dengan menggunakan beban gempa statik tanpa memperhitungkan *accidental eccentricity* pada sumbu lemah struktur terhadap beban lateral untuk mengevaluasi kekakuan diafragma.

### Spesifikasi struktur

Model struktur bangunan satu lantai dengan rasio  $S/D_e$  yang berbeda didesain. Spesifikasi lengkap yang akan digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi struktur bangunan satu lantai

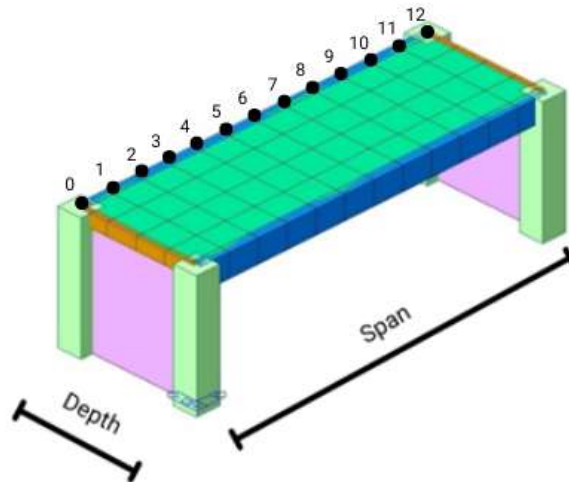
No	Parameter	Spesifikasi
1	Fungsi Bangunan	Perkantoran
2	Kategori Risiko	II
3	Kelas Situs	SD (tanah sedang)
4	$S/D_e$	2, 3, 4
5	Jumlah Lantai	1
6	Tinggi per Lantai	4 m
7	Mutu Beton ( $f'c$ )	40 MPa
8	Balok Bentang 12 m	300 × 750 mm
9	Balok Bentang 6 m	300 × 600 mm
10	Balok Bentang 4 m	200 × 400 mm
11	Balok Bentang 3m	150 × 300 mm
12	Kolom	800 × 800 mm
13	Pelat Lantai	80 – 320 mm
14	Dinding Geser	160 mm

Tabel 1 merangkum spesifikasi utama dari model struktur bangunan satu lantai yang dianalisis dalam penelitian ini. Material utama berupa beton dengan mutu  $f'c = 40$  MPa digunakan untuk seluruh elemen struktural, termasuk pelat, balok, dan kolom.

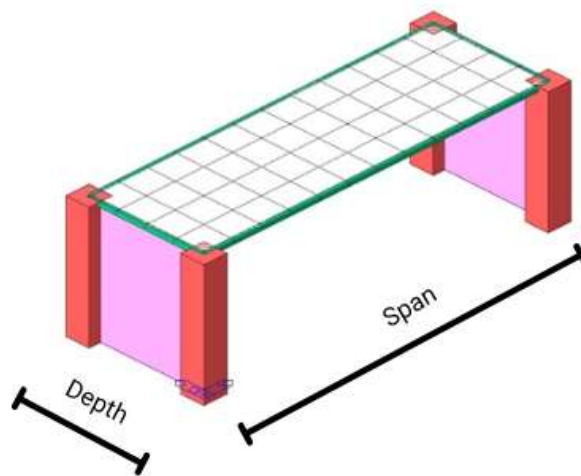
### Pemodelan dan analisis struktur

Pemodelan pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Midas Civil pada struktur bangunan satu lantai dengan bentang pada arah X sepanjang 12 m. Lebar model ditentukan berdasarkan rasio  $S/D_e$  sebesar 2, 3, dan

4, yang masing-masing menghasilkan lebar struktur secara berturut-turut sebesar 6 m, 4 m, dan 3 m. Pemodelan dilakukan menggunakan dua jenis pelat yang berbeda, yaitu *flat plate* dan pelat dengan balok, dengan dinding geser pada bentang arah Y sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Rasio  $S/D_e = 3$  dipilih untuk merepresentasikan kondisi ideal diafragma kaku, sementara rasio 2 dan 4 digunakan sebagai variasi untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kekakuan diafragma terhadap respons struktur. Pelat dimodelkan pada program menggunakan *finite element* dan memasukkan ketebalan pelat, dimensi, dan parameter material untuk memperhitungkan kekakuan diafragma sehingga mencerminkan perilaku yang paling realistis dalam melakukan analisis struktural pada diafragma lantai.



Gambar 2. Hasil pemodelan struktur menggunakan pelat dengan balok



Gambar 3. Hasil pemodelan struktur menggunakan *flat plate*

Penelitian ini menganalisis nilai indeks fleksibilitas dari diafragma pada ketebalan yang bervariasi. Indeks fleksibilitas pada Persamaan 1, akan dijadikan sebagai parameter untuk menentukan apakah diafragma dapat diasumsikan sebagai kaku, fleksibel atau semi-kaku. Ketika rasio Persamaan 1  $\leq 2$  dan memiliki rasio  $S/D_e \leq 3$  maka diafragma dapat dikategorikan sebagai diafragma kaku, namun jika rasio Persamaan 1  $> 2$  diafragma lantai tidak bisa dikategorikan sebagai diafragma lantai kaku. Hasil analisis akan dikumpulkan lalu dibandingkan dengan variasi model lainnya. Dalam penelitian ini, variasi model struktur dianalisis berdasarkan tiga rasio  $S/D_e$ , yaitu 2, 3, dan 4. Untuk setiap rasio tersebut, dua jenis sistem pelat digunakan, yaitu *flat plate* dan pelat dengan balok. Pada sistem *flat plate*, variasi ketebalan pelat yang dianalisis berkisar antara 80 mm hingga 320 mm, sedangkan untuk sistem pelat dengan balok, variasi ketebalan yang dianalisis berkisar antara 80 mm hingga 180 mm.

### Verifikasi

Verifikasi dilakukan dengan memodelkan struktur satu lantai menggunakan jenis pelat dengan balok, rasio  $S/D_e$  sebesar 3, dan tebal pelat minimum 125 mm (model 1-3PBA-125). Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Midas Civil, dengan pelat dimodelkan setiap 1 m<sup>2</sup> untuk mengevaluasi respons diafragma. Pada sumbu lemah (sumbu Y), struktur dikenai beban gempa statik dan hasil perpindahan pada setiap titik dikumpulkan untuk menghitung rasio Persamaan 1. Nilai perpindahan arah Y pada lantai 1 dengan tebal 125 mm disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perpindahan arah Y

Bentang Koordinat (m)	Displacement Y (mm)
0	0,0183
1	0,0304
2	0,0394
3	0,0462
4	0,0514
5	0,0546
6	0,0557
7	0,0546
8	0,0514
9	0,0462
10	0,0394
11	0,0304
12	0,0183

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

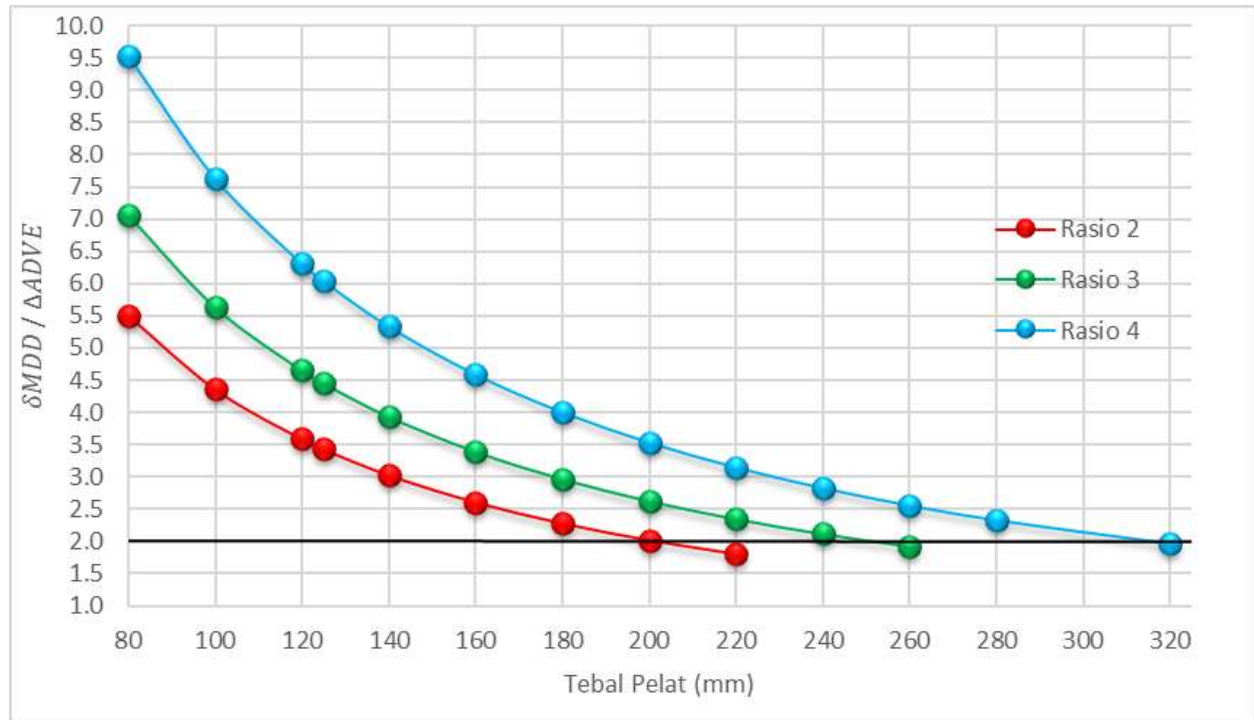
#### Fleksibilitas diafragma pada sistem *flat plate*

Nilai indeks fleksibilitas diafragma berdasarkan SNI 1726:2019 yang dianalisis dengan ketebalan pelat yang bervariasi pada sistem *flat plate* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Indeks fleksibilitas SNI 1726:2019 pada sistem *flat plate*

Tebal Pelat (mm)	$S/D_e$		
	2	3	4
80	5,5040	7,0625	9,5295
100	4,3592	5,6307	7,6272
120	3,5847	4,6475	6,3026
125	3,4289	4,4485	6,0324
140	3,0268	3,9324	5,3293
160	2,6070	3,3894	4,5854
180	2,2799	2,9647	4,0006
200	2,0189	2,6235	3,5299
220	1,8059	2,3446	3,1446
240	-	2,1129	2,8243
260	-	1,9182	2,5549
280	-	-	2,3261
320	-	-	1,9606

Berdasarkan hasil indeks fleksibilitas yang disajikan pada Tabel 3, dapat dinyatakan bahwa pada sistem *flat plate* dengan rasio  $S/D_e = 2$ , diafragma lantai dapat diasumsikan sebagai kaku saat ketebalan pelat mencapai 200 mm, sedangkan untuk rasio  $S/D_e = 3$ , diafragma lantai dapat diasumsikan sebagai kaku pada ketebalan 260 mm. Namun untuk rasio  $S/D_e = 4$ , meskipun indeks fleksibilitas diafragma sudah di bawah dua pada ketebalan pelat 320 mm, diafragma lantai tidak dapat diasumsikan sebagai kaku, dikarenakan rasio  $S/D_e$  melebihi tiga. Di sisi lain, diafragma juga tidak dapat diasumsikan sebagai fleksibel. Oleh karena itu, diafragma harus diasumsikan sebagai diafragma semi-kaku. Ilustrasi hubungan antara indeks fleksibilitas dan variasi ketebalan pelat pada sistem *flat plate* ditunjukkan pada Gambar 4, untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh ketebalan pelat terhadap kekakuan diafragma.



Gambar 4. Ilustrasi hubungan antara indeks fleksibilitas dan variasi ketebalan pelat pada sistem *flat plate*

#### Fleksibilitas diafragma pada sistem pelat dengan balok

Pada sistem pelat dengan balok, untuk diafragma dapat diasumsikan sebagai diafragma kaku membutuhkan ketebalan pelat yang lebih tipis dibandingkan dengan sistem *flat plate*, yaitu 100 mm untuk rasio  $S/D_e$  sebesar 2 dan 125 mm untuk rasio  $S/D_e$  sebesar 3. Sedangkan untuk rasio  $S/D_e$  sebesar 4, ketebalan minimum yang diperlukan untuk dapat diasumsikan sebagai diafragma semi-kaku adalah 180 mm, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

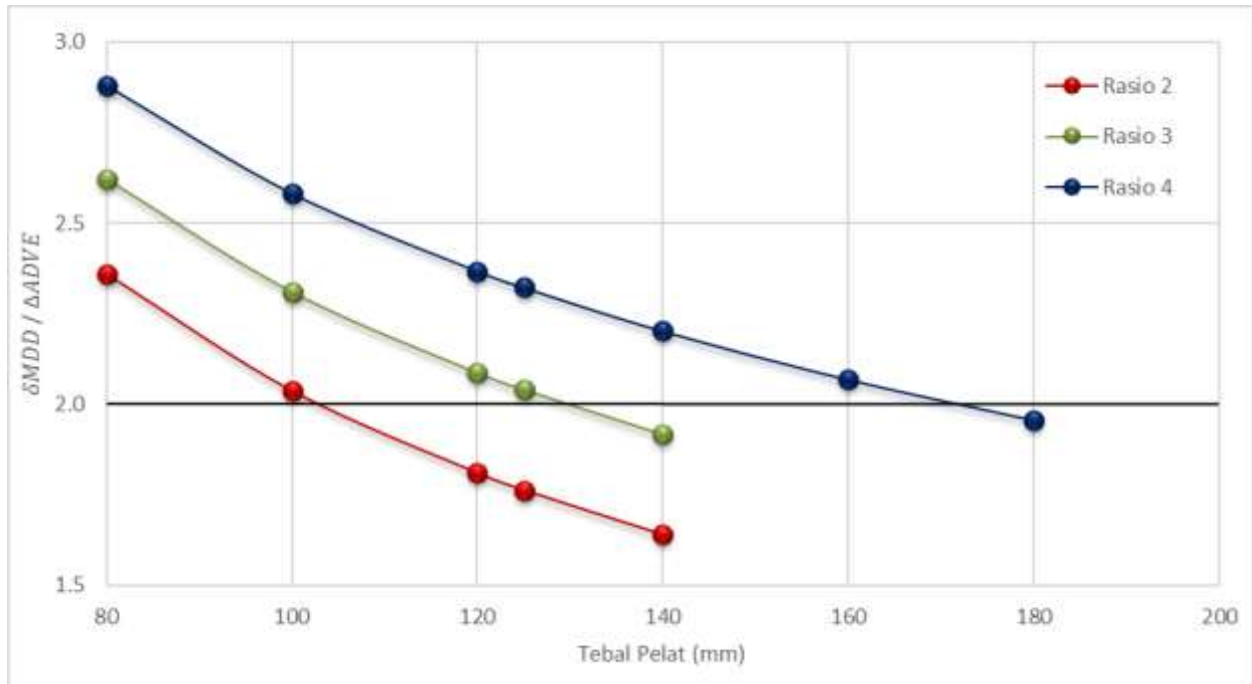
Tabel 4. Indeks fleksibilitas SNI 1726:2019 pada sistem pelat dengan balok

Tebal Pelat (mm)	$S/D_e$		
	2	3	4
80	2,3571	2,6194	2,8796
100	2,0354	2,3081	2,5822
120	1,8094	2,0857	2,3676
125	1,7626	2,0393	2,3226
140	1,6393	1,9159	2,2021
160	-	-	2,0686
180	-	-	1,9570

Ilustrasi hubungan antara indeks fleksibilitas dan variasi ketebalan pelat pada sistem pelat dengan balok ditunjukkan pada Gambar 5.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh dari ketebalan pelat terhadap pemodelan diafragma lantai kaku pada struktur satu lantai. Sistem lantai yang dipilih pada penelitian ini adalah *flat plate* dan pelat dengan balok dengan material utama adalah beton. Struktur yang diteliti merupakan struktur persegi panjang yang memiliki dinding geser di ujung-ujungnya dengan rasio  $S/D_e$  sebesar 2, 3, dan 4. Model struktur didesain sesuai dengan SNI 1726:2019 dan SNI 2847:2019. Seluruh model dalam penelitian ini dianalisis menggunakan beban gempa statik tanpa memperhitungkan *accidental eccentricity*.



Gambar 5. Ilustrasi hubungan antara indeks fleksibilitas dan variasi ketebalan pelat pada sistem pelat dengan balok

Untuk mengevaluasi kekakuan sistem pelat sebagai diafragma lantai, perilaku diafragma dijadikan sebagai parameter untuk menentukan nilai indeks fleksibilitas diafragma yang mengacu pada SNI 1726:2019. Kesimpulan utama dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan tebal pelat secara konsisten menyebabkan penurunan nilai indeks fleksibilitas diafragma. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ketebalan pelat maka kekakuan diafragma lantai terhadap beban lateral akan semakin tinggi.
2. Dengan mendapatkan nilai indeks fleksibilitas dari masing-masing diafragma yang diteliti, validitas asumsi diafragma kaku dapat ditentukan. Pada rasio  $S/D_e$  sebesar 2 dan 3, diafragma dengan sistem *flat plate* dapat diasumsikan sebagai kaku dengan ketebalan pelat minimum secara berturut-turut sebesar 200 mm dan 260 mm. Sedangkan untuk diafragma dengan sistem pelat dengan balok, dapat diasumsikan sebagai kaku ketika ketebalan pelat secara berturut-turut mencapai 100 mm dan 125 mm. Untuk kasus rasio  $S/D_e = 4$ , diafragma tidak dapat diasumsikan sebagai kaku pada kedua jenis sistem pelat. Namun, ketika ketebalan pelat mencapai 320 mm untuk sistem *flat plate* dan 180 mm untuk sistem pelat dengan balok, diafragma harus diasumsikan sebagai diafragma semi-kaku.

Penelitian ini merupakan langkah kecil untuk mengetahui perilaku dari kekakuan diafragma lantai. Beberapa penelitian lain dibutuhkan untuk dapat memperoleh pedoman untuk memberikan hasil analisis dan desain yang lebih akurat. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi perilaku diafragma pada struktur dengan jumlah lantai yang beragam serta mempertimbangkan pengaruh pembebanan dinamis seperti analisis respons riwayat waktu. Selain itu, diperlukan perbandingan indeks fleksibilitas berdasarkan SNI 1726:2019 dan indeks fleksibilitas yang diajukan oleh Ju & Lin (1999).

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers. (2021). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures* (ASCE/SEI 7-22). <https://doi.org/10.1061/9780784415788>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (SNI 1726:2019).
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan* (SNI 2847:2019).
- Concrete Reinforcing Steel Institute. (2019). *Design guide for reinforced concrete diaphragms* (edisi ke 1). Concrete Reinforcing Steel Institute.

- Dilsiz, A., & Ozuygur, A. R. (2021, 13-15 Oktober). *Effects of using rigid diaphragm in dynamic analysis of high-rise buildings per regulations of TBSC 2018*. 6<sup>th</sup> International Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Gebze, Kocaeli/Turkey.
- Hassan, A. M. (2022). Comparative study between using rigid diaphragm and flexible diaphragm slabs in multi-story buildings (solid slab system) under earthquake loads. *Texas Journal of Engineering and Technology*, 9, 150-166.
- Huang, Y., Zhang, X., Wang, L., & Hu, X. (2023). A simplified method for evaluating the diaphragm flexibility for frame-shear wall structure under earthquake load. *Buildings*, 13(2), 376. <https://doi.org/10.3390/buildings13020376>
- Ju, S. H., & Lin, M. C. (1999). Comparison of building analyses assuming rigid or flexible floors. *Journal of Structural Engineering*, 125(1), 25-31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1999\)125:1\(25\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:1(25))
- Ruggieri, S., Porco, F., & Uva, G. (2020). A practical approach for estimating the floor deformability in existing RC buildings: Evaluation of the effects in the structural response and seismic fragility. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(5), 2083-2113. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00774-2>
- Shanthika, K., Jayasinghe, J. A. S. C., & Bandara, C. S. (2022). Influence of slab system in transfer of lateral loads to reinforced concrete shear wall. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 55(2), 111. <https://doi.org/10.4038/engineer.v55i2.7513>
- Tanuwidjaja, H. R., Santoso, G. K., & Tanuwidjaja, E. (2021). Rigidity boundaries of floor reinforced concrete diaphragm. Dalam Mohammed, B. S., Shafiq, N., Rahman M. Kutty, S., Mohamad, H., Balogun, A. L. (Eds.), *Lecture Notes in Civil Engineering: Vol. 132. ICCOEE2020* (pp. 476-483). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3\\_55](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6311-3_55)
- Tena-Colunga, A., Chinchilla-Portillo, K. L., & Juárez-Luna, G. (2015). Assessment of the diaphragm condition for floor systems used in urban buildings. *Engineering Structures*, 93, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.025>
- Tena-Colunga, A., & Sabanero-García, R. (2023). Impact of diaphragm flexibility on dynamic properties and seismic design parameters of irregular buildings in plan. *Journal of Building Engineering*, 80, 108007. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108007>