

Analisis Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Gedung dengan Pelat Konvensional, Waffle Slab, dan Flat Slab

Comparative Analysis of Seismic Performance of Building Structures with Conventional Slab, Waffle Slab, and Flat Slab

Yohanes Alexander Rupidara, Remigildus Cornelis^{2*)}, Tri M. W. Sir³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

Article info:

Kata kunci:

Kinerja seismik, pelat konvensional, waffle slab, flat slab

Keywords:

Seismic performance, conventional slab, waffle slab, flat slab

Article history:

Received: 1-04-2022

Accepted: 11-05-2022

^{*)}Koresponden email:

yohanesarupidara@gmail.com

remi_cor@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan risiko gempa yang tinggi, karena letaknya yang berada pada jalur gempa teraktif di dunia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kinerja seismik dari struktur gedung dengan pelat konvensional, *waffle slab*, dan *flat slab* dengan metode *time history analysis*. Terdapat 3 model struktur yang dikaji yaitu struktur gedung dengan pelat konvensional, struktur gedung dengan *waffle slab*, dan struktur gedung dengan *flat slab*, dengan sistem struktur 5 lantai, dimana bentang terpanjang dan terpendek mempunyai ukuran yang sama yakni 20 m dan tinggi setiap tingkat 4 m. Hasil penelitian ini menunjukkan *displacement* terbesar adalah 235,82 mm pada struktur gedung dengan *waffle slab* dan *displacement* terkecil adalah 146,49 mm pada struktur gedung dengan *flat slab*. *Drift* terbesar adalah 0,012 pada struktur gedung dengan *waffle slab* dan *drift* terkecil adalah 0,007 pada struktur gedung dengan *flat slab*. Tingkat kinerja seismik yang dihasilkan dari ketiga jenis struktur bervariasi dari *immediate occupancy* (IO) sampai *damage control* (DC).

Abstract

Indonesia is a country with high earthquake risk because it is located in the path of the most active earthquake in the world. It makes Indonesia situated in a region with a high earthquake intensity. The study aimed to determine the seismic performance levels of building structures with conventional slabs, waffle slabs, and flat slabs with the time history analysis method. There are three models of structures studied, namely building structures with conventional plates, building structures with waffle slabs, and building structures with flat slabs, with a 5-story structure system, where the longest and shortest span has the same size of 20 m and the height of each level 4 m. This study showed the largest displacement was 235.82 mm in building structures with waffle slabs and the smallest displacement was 146.49 mm in building structures with flat slabs. The largest drift is 0.012 on a building structure with a waffle slab, and the smallest drift is 0.007 on a building structure with a flat slab. The level of seismic performance produced from all three types of structures varies from immediate occupancy (IO) to damage control (DC).

1. Pendahuluan

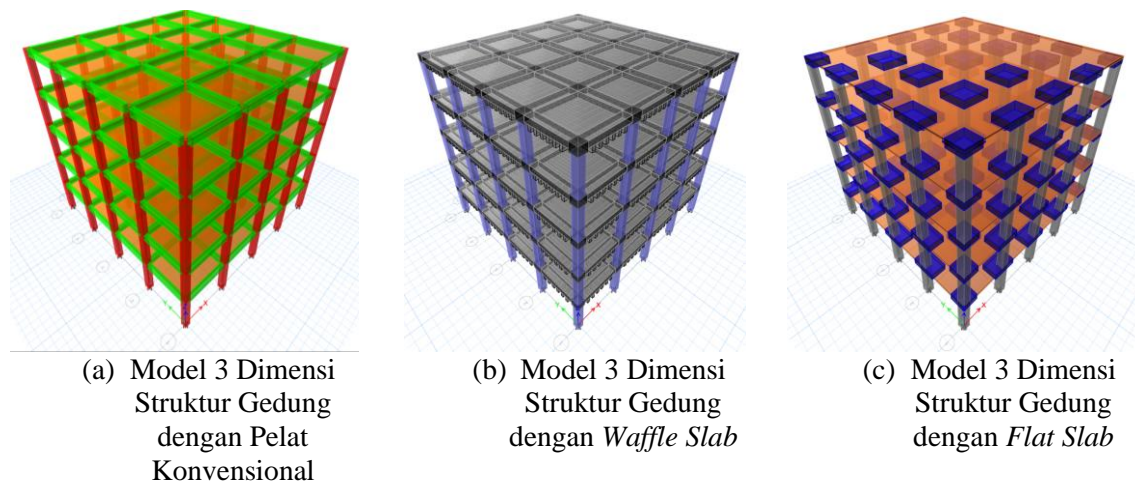
Indonesia merupakan negara dengan risiko gempa yang tinggi, karena letaknya yang berada pada jalur gempa tektonik di dunia dan berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia. Hal ini membuat Indonesia terletak pada wilayah dengan intensitas gempa yang tinggi. Kondisi wilayah Indonesia tersebut sangat berpengaruh pada perencanaan gedung khususnya gedung tinggi.

Sistem pelat terdiri dari beberapa macam yaitu sistem *flat plate*, sistem *waffle slab*, sistem *flat slab*, dan sistem pelat konvensional. Masing-masing sistem pelat memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Pemilihan berbagai sistem pelat ini disesuaikan dengan tujuan dari struktur yang diinginkan. Fungsi sistem pelat pada struktur gedung yaitu sebagai diafragma yang menyalurkan beban gempa.

Penelitian mengenai perbandingan ketiga sistem pelat yakni sistem pelat konvensional, sistem *waffle slab*, dan sistem *flat slab* ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti tetapi khusus untuk analisis kinerja *time history* untuk ketiga model struktur bangunan tersebut belum pernah dilakukan. Berdasarkan hal tersebut dipandang perlu untuk mengkaji kinerja ketiga model struktur bangunan tersebut terhadap beban gempa sehingga dapat diketahui model struktur dengan sistem pelat yang paling efisien dalam menahan beban gempa.

2. Bahan dan Metode

Model struktur 3 dimensi ketiga model struktur bangunan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model 3 Dimensi Ketiga Model Struktur Bangunan

Penelitian dimulai dengan menentukan desain awal dari struktur yakni menentukan dimensi elemen struktur, mutu material, dan pembebanan yang bekerja pada ketiga model struktur yang akan dianalisis. Kemudian membuat pemodelan struktur 3 dimensi pada ketiga model struktur dan memeriksa rasio kecukupan kapasitas tiap elemen struktur ($capacity\ ratio < 1$). Setelah rasio kecukupan kapasitas tiap elemen struktur pada ketiga model struktur telah memenuhi syarat rasio kapasitas, selanjutnya dilakukan analisis statik ekuivalen dan pemeriksaan terhadap simpangan antar tingkat ($simpangan\ antar\ tingkat \leq simpangan\ antar\ tingkat\ izin$), kemudian dilakukan analisis dinamik *time history* untuk analisis kinerja seismik serta dilakukan pemeriksaan jumlah ragam gerak struktur dan kontrol terhadap gaya geser dasar (*base shear*) dimana $V_{dinamik} \geq V_{statik}$. Jika pemeriksaan tersebut sudah memenuhi maka selanjutnya dilakukan pendetailan pada elemen struktur untuk mendapatkan luas tulangan aktual terpasang pada tiap elemen struktur. Setelah mendapatkan luas tulangan aktual pada tiap elemen struktur, kemudian dilakukan analisis beban dorong (*pushover*) pada ketiga model struktur yakni model struktur dengan pelat konvensional (MPK), model struktur dengan *waffle slab* (MWS), dan model struktur dengan *flat slab* (MFS). Setelah itu, dilanjutkan

dengan evaluasi kinerja seismik struktur dengan metode *ATC-40* untuk mendapatkan level kinerja struktur pada ketiga model struktur yang dianalisis.

2.1. *Time History Analysis*

1. Percepatan puncak permukaan tanah (*Peak ground acceleration / PGA*)
Percepatan puncak permukaan tanah (PGA) diperoleh dari SNI 1726:2019 atau dari aplikasi RSA 2019.
2. Pemilihan data akselerogram
Akselerogram yang dipilih dalam analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) pada level gempa rencana harus memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan dalam Pasal 7.9.2.3 SNI 1726:2019.
3. Penskalaan percepatan gempa masukan
Penskalaan percepatan gempa masukan dihitung berdasarkan Pasal 7.9.1.2 SNI 1726:2019 sebagai berikut:

$$PGA_{M(diskalakan)} = \frac{F_{PGA} \times PGA}{\left(\frac{R}{e}\right)} \tag{1}$$

4. Kontrol gaya geser dasar
Kontrol gaya geser dasar berdasarkan pada Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019, dimana Gaya geser dasar hasil analisis dinamik ($V_{dinamik}$) harus lebih besar atau sama dengan 100% gaya geser dasar analisis statik (V_{statik}) atau dituliskan $V_{dinamik} \geq V_{statik}$. Jika gaya geser dasar hasil analisis dinamik *time history* lebih kecil atau $V_{dinamik} < V_{statik}$, maka percepatan gempa masukan harus dikali dengan $V_{statik}/V_{dinamik}$ hingga memenuhi syarat.

2.2. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur*

Evaluasi kinerja seismik struktur menggunakan metode *ATC-40*

3. Hasil dan Pembahasan

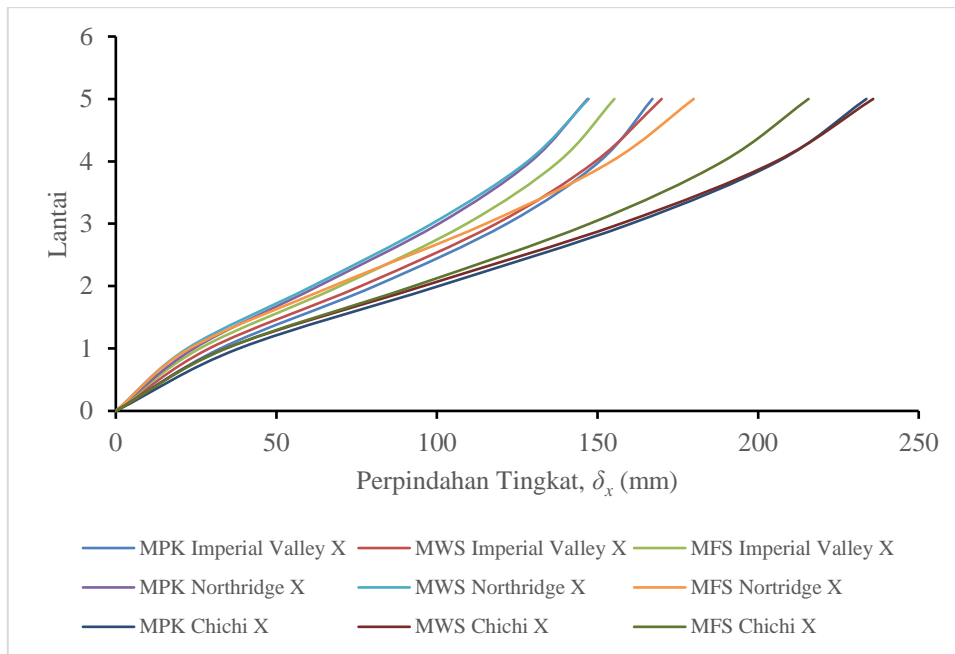
3.1. *Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X*

Perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)	δ_x (mm)
5	20000	167,08	169,96	155,25	146,91	147,26	179,95	233,71	235,82	215,69
4	16000	150,65	149,35	137,98	129,27	128,27	154,33	206,26	205,56	189,07
3	12000	121,76	118,44	109,21	100,57	98,40	115,16	160,36	157,15	147,49
2	8000	80,61	76,25	69,73	63,07	61,17	67,55	100,46	95,62	92,74
1	4000	32,51	29,03	26,09	24,27	22,23	22,98	38,28	34,18	34,21
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Perpindahan tingkat (*story displacement*) merupakan perpindahan lateral dari tingkat relatif terhadap dasar struktur. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi secara keseluruhan menunjukkan bahwa struktur gedung dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat terkecil pada arah X, meskipun perpindahan tingkat akibat gempa Northridge sendiri pada struktur dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat yang lebih besar daripada struktur gedung dengan pelat konvensional (MPK).

Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*). Kemudian penelitian dari Shaga dan Polisetty (2016) dalam penelitian mengenai *Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat maksimum terjadi pada struktur pelat konvensional bila dibandingkan dengan struktur *flat slab*.

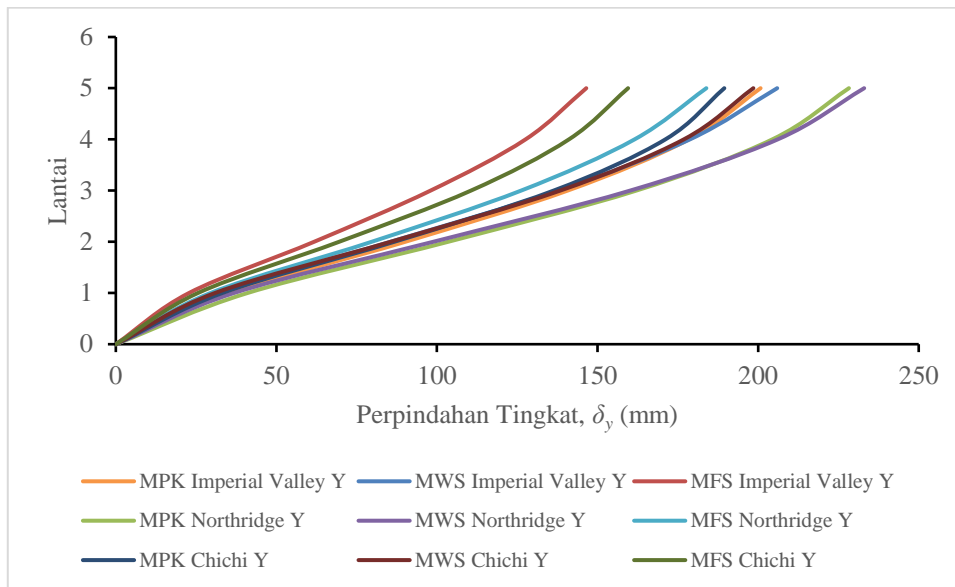
3.2. Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)	δ_y (mm)
5	20000	200,76	205,94	146,49	228,27	233,02	183,88	189,474	198,51	159,51
4	16000	178,40	178,74	127,57	204,41	206,08	161,51	171,11	176,85	141,08
3	12000	140,67	137,69	98,00	162,05	160,15	126,20	136,33	138,35	110,59
2	8000	90,10	85,49	61,73	103,46	98,82	79,65	86,68	85,55	69,51
1	4000	35,17	31,31	22,79	41,02	36,78	29,50	33,19	30,88	25,57
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan perpindahan tingkat akibat gempa Northridge pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Perpindahan Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perpindahan tingkat (*story displacement*) merupakan perpindahan lateral dari tingkat relatif terhadap dasar struktur. Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi secara keseluruhan menunjukkan bahwa struktur gedung dengan *flat slab* (MFS) memiliki perpindahan tingkat terkecil pada arah Y bila dibandingkan dengan struktur gedung dengan pelat konvensional dan struktur gedung dengan *waffle slab*.

Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*). Kemudian penelitian dari Shaga dan Polisetty (2016) dalam penelitian mengenai *Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure* menyimpulkan bahwa perpindahan tingkat maksimum terjadi pada struktur pelat konvensional bila dibandingkan dengan struktur *flat slab*.

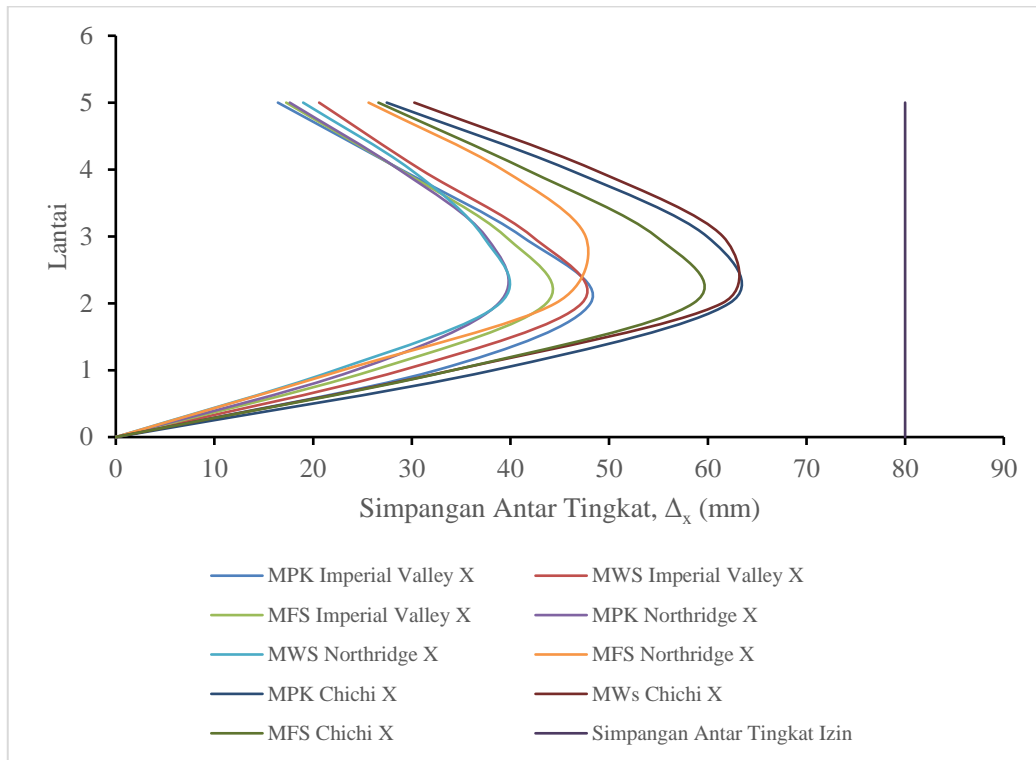
3.3. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)	MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)	MPK Δ_x (mm)	MWS Δ_x (mm)	MFS Δ_x (mm)
5	20000	16,43	20,61	17,27	17,63	18,99	25,62	27,46	30,26	26,62
4	16000	28,89	30,90	28,77	28,70	29,87	39,17	45,89	48,41	41,57
3	12000	41,15	42,19	39,48	37,49	37,23	47,61	59,91	61,53	54,75
2	8000	48,11	47,22	43,64	38,80	38,93	44,56	62,18	61,44	58,53
1	4000	32,51	29,03	26,09	24,27	22,23	22,98	38,28	34,18	34,21
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah X pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah X

Simpangan antar tingkat (*interstory drift*) merupakan simpangan relatif antar tingkat yang berdekatan atau selisih nilai perpindahan dua tingkat yang berdekatan. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh besaran perpindahan struktur, apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya besar maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur juga besar dan sebaliknya apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya kecil maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur nilainya juga kecil.

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi menunjukkan bahwa secara keseluruhan simpangan antar tingkat dari struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil, meskipun simpangan antar tingkat akibat gempa Northridge pada struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai yang lebih besar dikarenakan perpindahan tingkat yang dialami oleh struktur gedung dengan *fat slab* juga besar. Dari penelitian terdahulu Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa simpangan antar tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab (waffle slab)*.

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa ketiga model struktur yang dianalisis dengan ketiga gempa masukan (gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi) aman terhadap pemeriksaan simpangan antar tingkat yang ditandai dengan seluruh kurva simpangan antar tingkat dari ketiga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) pada grafik kurang dari kurva simpangan antar tingkat izin.

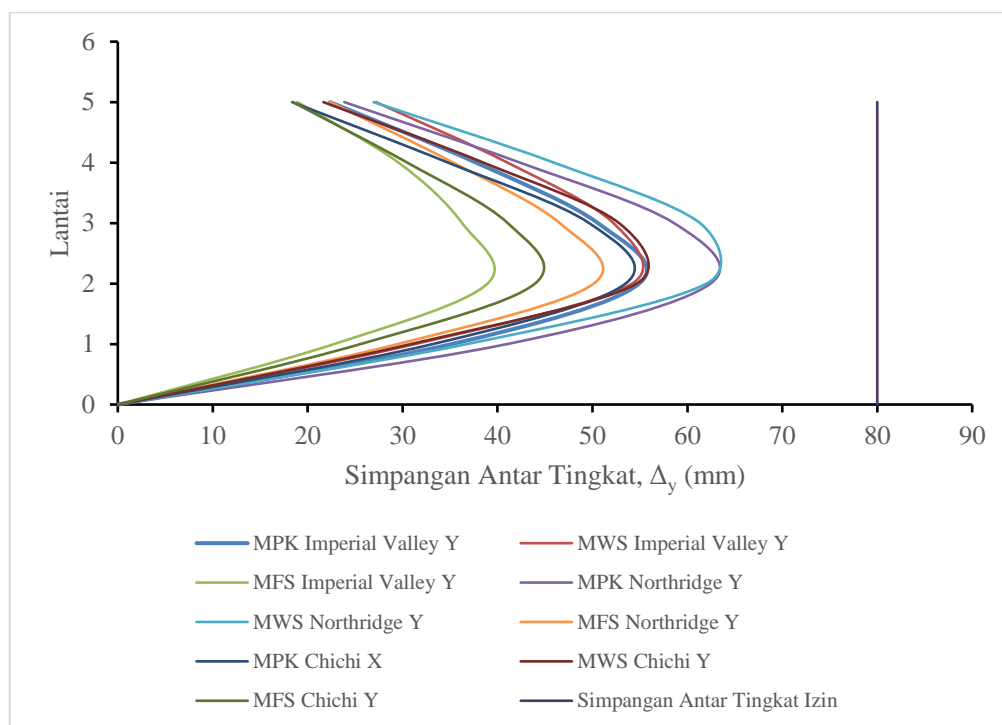
3.4. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Lantai ke-	h_{sx} (mm)	Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan								
		Imperial Valley			Northridge			Chichi		
		MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS	MPK	MWS	MFS
		Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)	Δ_y (mm)
5	20000	22,36	27,19	18,92	23,86	26,94	22,36	18,36	21,66	18,43
4	16000	37,73	41,05	29,57	42,36	45,93	35,32	34,78	38,51	30,49
3	12000	50,57	52,21	36,27	58,59	61,33	46,55	49,65	52,80	41,07
2	8000	54,93	54,18	38,95	62,44	62,03	50,14	53,49	54,66	43,95
1	4000	35,17	31,31	22,79	41,02	36,78	29,50	33,19	30,88	25,57
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Grafik perbandingan simpangan antar tingkat akibat gempa masukan arah Y pada bangunan MPK, MWS, dan MFS dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Akibat Gempa Masukan Arah Y

Simpangan antar tingkat (*interstory drift*) merupakan simpangan relatif antar tingkat yang berdekatan atau selisih nilai perpindahan dua tingkat yang berdekatan. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh besaran perpindahan struktur, apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya besar maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur juga besar dan sebaliknya apabila selisih nilai perpindahan antar dua tingkat yang berdekatan nilainya kecil maka simpangan antar tingkat yang terjadi pada struktur nilainya juga kecil.

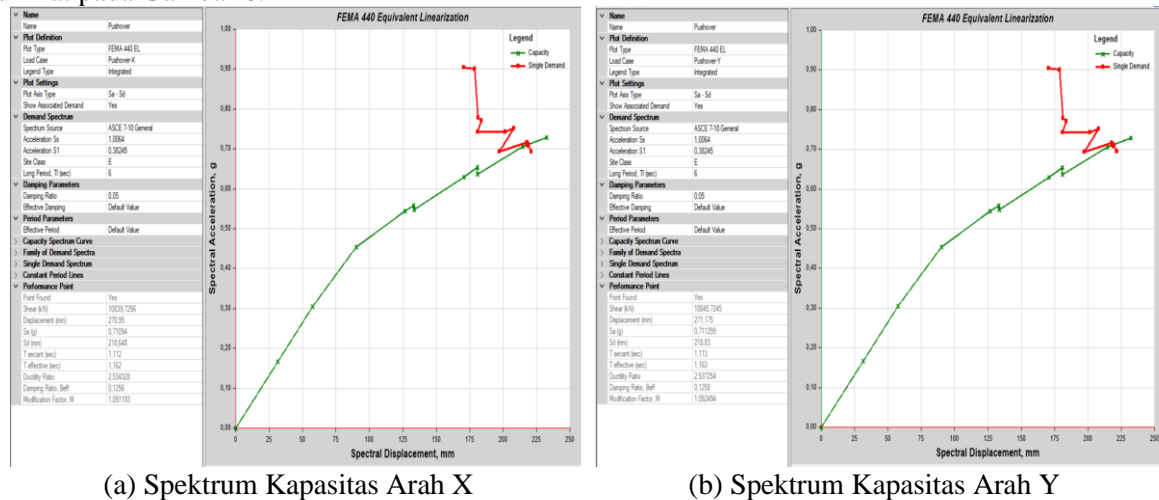
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan beberapa gempa masukan yang digunakan dalam analisis dinamik *time history* yakni dengan gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi menunjukkan bahwa secara keseluruhan simpangan antar tingkat dari struktur gedung dengan *flat slab* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur gedung dengan pelat konvensional dan struktur gedung dengan *waffle slab*. Dari penelitian terdahulu Hedge dkk (2018) dalam penelitian mengenai *Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a R.C Framed Structures* menyimpulkan bahwa simpangan antar

tingkat dari struktur dengan *flat slab* mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur dengan *conventional slab* dan struktur dengan *grid slab* (*waffle slab*).

Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa ketiga model struktur yang dianalisis dengan ketiga gempa masukan (gempa Imperial Valley, gempa Northridge, dan gempa Chichi) aman terhadap pemeriksaan simpangan antar tingkat yang ditandai dengan seluruh kurva simpangan antar tingkat +dari keriga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) pada grafik kurang dari kurva simpangan antar tingkat izin.

3.5. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Pelat Konvensional

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan pelat konvensional (MPK) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MPK

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MPK dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan pelat konvensional adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{270,950}{20000} \\
 &= 0,014.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

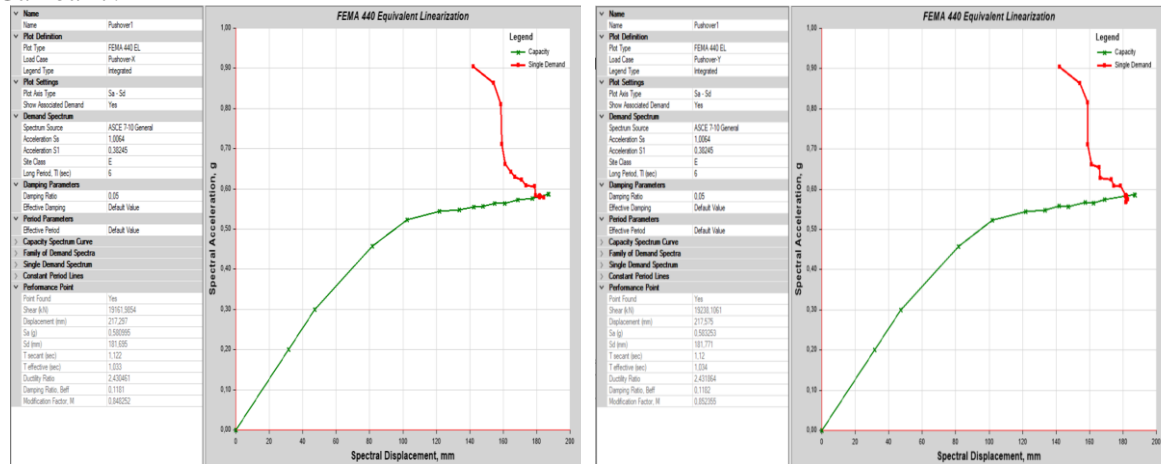
$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{271,175}{20000} \\
 &= 0,014.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan pelat konvensional pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang

memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.6. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Waffle Slab*

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan *waffle slab* (MWS) dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) Spektrum Kapasitas Arah X

(b) Spektrum Kapasitas Arah Y

Gambar 7. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MWS

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MWS dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan *waffle slab* adalah sebagai berikut:

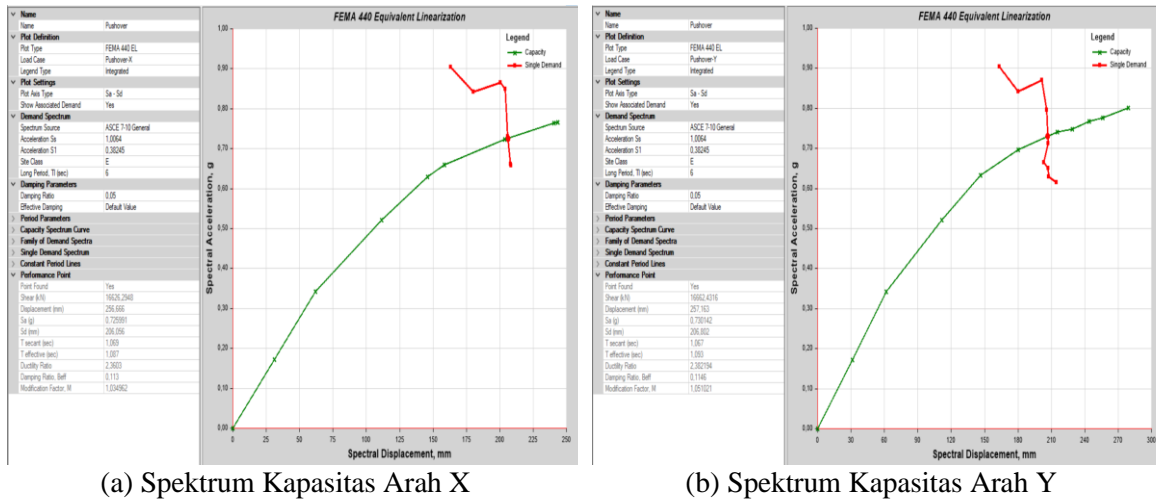
$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{217,297}{20000} \\
 &= 0,011.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{217,575}{20000} \\
 &= 0,011.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan *waffle slab* pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.7. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Bangunan dengan Flat Slab*

Grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan dengan *flat slab* (MFS) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum Kapasitas pada Struktur Bangunan MFS

Kinerja seismik struktur adalah tingkatan kinerja suatu struktur terhadap gempa rencana. Tingkatan kinerja suatu struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada suatu struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Dalam *ATC-40* digunakan metode spektrum kapasitas untuk mengetahui tingkat kinerja struktur. Tingkatan kinerja struktur ini ditunjukkan dalam sebuah plot grafik antara *spectral displacement* dan *spectral acceleration* yang biasa disebut dengan grafik spektrum kapasitas.

Dari kedua grafik di atas yakni grafik spektrum kapasitas pada struktur bangunan MFS dikedua arah ortogonalnya menunjukkan terdapat tingkat kinerja seismik struktur yang ditandai dengan ditemukannya titik potong antara *capacity curve* dan *single demand curve*. Titik potong inilah yang disebut dengan titik kinerja struktur yang digunakan untuk mengetahui tingkatan kinerja dari struktur. Perhitungan tingkat kinerja seismik mengambil nilai dari simpangan total maksimum (*maximum total drift*) yang mana simpangan total maksimum ini adalah simpangan antar tingkat pada titik kinerja atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Perhitungan tingkat kinerja seismik pada struktur gedung dengan *flat slab* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah X} \\
 \text{Drift X} &= \frac{\text{Displacement arah x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{256,666}{20000} \\
 &= 0,013.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maximum total drift arah Y} \\
 \text{Drift Y} &= \frac{\text{Displacement arah y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{257,163}{20000} \\
 &= 0,013.... \text{ Damage Control (DC)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diketahui level kinerja seismik dari struktur gedung dengan *flat slab* pada kedua arah ortogonalnya adalah *damage control*, dimana kondisi bangunan yang memiliki level kinerja *damage control* pasca gempa merupakan bangunan yang masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko korban jiwa manusia sangat kecil.

3.8. Perbandingan Kinerja Seismik Struktur

Perbandingan kinerja seismik struktur pada ketiga model struktur (MPK, MWS, dan MFS) dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Kinerja Seismik dari Struktur Berdasarkan ATC-40

Model	Jenis Gempa	Arah	<i>Displacement Roof (mm)</i>	<i>Drift</i>	<i>Performance Level</i>
MPK	Imperial Valley	X	167,085	0,008	IO
	Imperial Valley	Y	200,761	0,010	IO
	Northridge	X	146,905	0,007	IO
	Northridge	Y	228,267	0,011	DC
	Chichi	X	233,712	0,012	DC
	Chichi	Y	189,470	0,009	IO
	<i>Pushover</i>	X	270,950	0,014	DC
	<i>Pushover</i>	Y	271,175	0,014	DC
MWS	Imperial Valley	X	169,956	0008	IO
	Imperial Valley	Y	205,937	0,010	IO
	Northridge	X	147,257	0,007	IO
	Northridge	Y	233,024	0,012	DC
	Chichi	X	235,818	0,012	DC
	Chichi	Y	198,512	0,010	IO
	<i>Pushover</i>	X	217,297	0,011	DC
	<i>Pushover</i>	Y	217,575	0,011	DC
MFS	Imperial Valley	X	155,254	0,008	IO
	Imperial Valley	Y	146,493	0,007	IO
	Northridge	X	179,955	0,009	IO
	Northridge	Y	183,876	0,009	IO
	Chichi	X	215,688	0,011	DC
	Chichi	Y	159,511	0,008	IO
	<i>Pushover</i>	X	256,666	0,013	DC
	<i>Pushover</i>	Y	257,163	0,013	DC

4. Kesimpulan

Struktur gedung dengan *flat slab* mempunyai perpindahan tingkat (*story displacement*) yang terkecil dari kedua model struktur gedung yang lain, sedangkan struktur gedung dengan *waffle slab* mempunyai perpindahan tingkat (*story displacement*) terbesar. Tingkat kinerja seismik yang didapat dari hasil analisis dinamik *time history* pada ketiga model struktur gedung terdapat variasi tingkat kinerja dari *immediate occupancy* (IO) sampai *damage control* (DC), sedangkan tingkat kinerja yang didapat dari hasil analisis statik *pushover* pada ketiga model struktur gedung adalah *damage control* (DC).

Saran

Untuk penelitian lanjutan Penulis menyarankan objek yang akan diteliti menggunakan model struktur yang memiliki ketidakberaturan konfigurasi dan menambahkan pemodelan tangga dan dinding geser pada struktur yang akan diteliti.

Daftar Pustaka

- Anggen, W.S., Budi, A.S., & Gunawan, P. (2014). "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs (Studi Kasus : Hotel di Daerah Karanganyar)". Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Applied Technology Council, ATC 40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, USA.

- Asroni, A. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- BSN. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta : BSN.
- BSN. (2017). *Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)*. Jakarta : BSN.
- BSN. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta : BSN.
- Hassoun, M.N., & Al-Manaser, A. (2015). *Structural Concrete: Theory and Design (6th ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Hedge, R., Chethana, & Kumar, N. V. (2018). "Comparative Study on Seismic Analysis of Conventional Slab, Flat Slab, and Grid Slab System for a RC Framed Structures." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(09).
- Nishanth, CH. L., Swaroop, Y. S., Jagarapu, D. C. K., & Jogi, P. K. (2020). "Analysis and Design of Commercial Building with Different Slab Arrangement Using Etabs." *Elsevier Ltd*, 33, 700–704.
- PPIUG. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Shaga, A. & Polisetty, S. (2016). "Seismic Performance of Flat Slab with Drop and Conventional Slab Structure." *International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 1(09).
- Tavio & Wijaya, U. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI.
- Widodo. (2001). *Respons Dinamik Struktur Elastik*. Jogjakarta: UII Press.
- Wight, J.K., & MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design (6th ed.)*. New Jersey: Pearson Education, Inc.