

## ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN DAN TANPA PASANGAN DINDING PENGISI BERLUBANG TERHADAP BEBAN GEMPA

I Made Sastra Wibawa, I Putu Agus Putra Wirawan, I Made Nada,  
I Made Laksana Wira Saputra

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar  
Email: agusputrawirawan2020@unmas.ac.id

**ABSTRAK:** Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang jelas terkait bagaimana perbedaan kinerja dari struktur gedung beton bertulang dengan dan tanpa pasangan dinding pengisi berlubang terhadap beban gempa. Studi kasus untuk penelitian ini yaitu perencanaan pemodelan bangunan yang berlokasi di Pulau Lombok, Kota Mataram. Dinding pengisi diaplikasikan dengan metode elemen strat diagonal, dengan peruntukan struktur gedung kantor, variasi gedung 3 dan 5 lantai dan tinggi tiap lantainya yaitu 3,5 meter. Dinding struktur gedung 3 dan 5 lantai dibuat dengan ketebalan 120 mm setiap tingkat. kemudian dilakukan analisis *statik non linier pushover* menggunakan *software* SAP2000. Output dari analisis ini yaitu nilai dari kinerja struktur rangka terbuka (RT), rangka dengan dinding pengisi solid (RDPS), dan rangka dengan dinding pengisi berlubang (RDPB), untuk bukaan dinding digunakan rasio sebesar 30%. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur RDPS memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan 2 model lainnya, diperoleh kondisi *Immediate Occupancy* (IO) yang dimana struktur gedung aman terhadap beban gempa, struktur utama gedung tidak mengalami kerusakan dan tidak mengalami kerusakan nonstruktural, struktur masih aman dan bisa kembali berfungsi sesuai peruntukan. Dari segi kekuatan struktur diperoleh hasil dari model RDPS yang paling bagus, tetapi dari segi daktilitas struktur diperoleh hasil dari model RDPB yang paling bagus.

**Kata kunci:** Kinerja struktur, strat diagonal, pushover.

**ABSTRACT:** This research was conducted to obtain clear results regarding how the performance differences of reinforced concrete building structures with and without perforated infill wall pairs against earthquake loads. The case study for this research is the planning of building modeling located on Lombok Island, Mataram City. The infill walls were applied using the diagonal strat element method, with the designation of an office building structure, a variation of 3 and 5 floors and a height of 3.5 meters for each floor. The 3 and 5 storey building structures are made with a wall thickness of 120 mm per level. then carried out non-linear pushover static analysis using SAP2000 software. The output of this analysis is the value of the performance of open frame structures (RT), frames with solid infill walls (RDPS), and infilled frame with walls opening (RDPB), for wall openings a ratio of 30% is used. The results of the analysis show that the RDPS structure has a better performance compared to the other 2 models, the Immediate Occupancy (IO) condition is obtained where the building structure is safe against earthquake loads, the main structure of the building is not damaged and does not suffer non-structural damage, the structure is still safe and can back to function as intended. In terms of structural strength, RDPS obtained the best results, but in terms of ductility, the RDPB structure obtained the best results.

**Keywords:** Structure performance, diagonal strat, pushovers.

### PENDAHULUAN

Pada struktur dinding pengisi merupakan pemisah antar ruangan, dinding pengisi ini sering dianggap komponen non struktural dan dianggap tidak memberikan pengaruh kepada struktur. Dinding pengisi pada kenyataannya memiliki dampak signifikan pada karakteristik redaman struktur serta berkontribusi terhadap kekakuan dan kekuatan lateral. Dinding pengisi juga dapat mengantisipasi atau meminimalisir terjadinya *soft story* atau tingkat lantai lunak yang biasanya terjadi karena banyak jarak antar ruang pada sebuah struktur

Adapun penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa keberadaan dinding berpengaruh terhadap kekakuan dan kekuatan struktur bangunan, seperti pada penelitian (Imran and Aryanto, 2009) mengenai perilaku dan kinerja struktur rangka beton bertulang dengan pasangan bata ringan, (Tjahjanto & Imran, 2009) mengenai kajian *performance* struktur portal beton bertulang dengan dinding pengisi, (Kakaletsis & Karayannis, 2009) mengenai perilaku struktur rangka beton bertulang dengan dinding pengisi berlubang, (Sigmund & Penava, 2012) mengenai struktur rangka beton bertulang dengan dinding pengisi berlubang dengan perkuatan disekitar lubang, (Budiwati, I. A. M. and Sukrawa, 2017) mengenai kinerja struktur rangka beton bertulang dengan penambahan dinding pengisi berlubang sebagai perkuatan seismic, dan Wirawan, et al., (2022) mengenai struktur rangka beton bertulang

dengan dinding pengisi berlubang dengan strat diagonal. Untuk besar rasio lubang biasa diterapkan pada bangunan dengan batas aman rentang antara 20%-60% (Sukrawa, 2015). Untuk pemodelan strat sudah banyak penelitian tentang persamaan lebar strat diagonal diantaranya (Liau & Kwan, 1984), (Smith & Coull, 1991) dan (Paulay & Priestley, 1992). Kinerja RDP akan berbeda dengan kinerja rangka tanpa dinding, serta pada RDP berlubang. Tegangan kritis terjadi pada sudut-sudut lubang di sekitar lubang sehingga diperlukan kolom atau balok praktis di sekitar lubang. Meskipun banyak literatur tentang model analisis untuk dinding pengisi, namun petunjuk mengenai pemilihan model matematis yang tepat belum tersedia di literatur.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan studi mengenai kinerja yang terjadi pada Struktur beton bertulang di antaranya struktur beton bertulang Rangka Terbuka (RT), struktur beton bertulang RDP, dan struktur beton bertulang Rangka dengan Dinding Pengisi Berlubang (RDPB), dimana pada model RDPB diterapkan rasio lubang sebesar 30%. Pemodelan dinding pengisi akan menggunakan strat diagonal. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 dan hasil yang didapatkan akan dilakukan perbandingan kinerja antara RT, RDP, dan RDPB, dan diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi pertimbangan dalam pemodelan struktur yang digunakan untuk memodel struktur RDP.

### **KARAKTERISITIK MATERIAL**

Modulus elastisitas beton menurut BSN, (2019), nilai modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$E_c = Wc^{1,5} 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Dimana,  $E_c$  adalah modulus elastisitas beton (MPa),  $Wc$  adalah berat jenis beton ( $\text{kgf/m}^3$ ), dan  $f'_c$  adalah kuat tekan beton (MPa).

Modulus elastisitas pasangan dinding menurut FEMA-356, memiliki persamaan yaitu sebagai berikut:

$$E_m = 550 f'_m \quad (2)$$

Dimana,  $E_m$  yaitu modulus elastisitas pasangan dinding (MPa), dan  $f'_m$  yaitu kuat tekan dinding.

### **STRAT DIAGONAL**

Dinding pengisi mengalami gaya tekan akibat dari menerima gaya yang berasal dari struktur rangka disekelilingnya yang telah menerima gaya lateral, gaya tersebut tersebut akan ditahan oleh dinding secara diagonal, hal inilah yang menjadi landasan untuk memodel dinding pengisi sebagai strat. Pada pengaplikasiannya strat hanya mampu menerima gaya aksial tekan dan tidak menerima gaya tarik. Ada beberapa persamaan yang dipakai pada penelitian ini untuk menentukan lebar strat yaitu:

1. Paulay and Priestly (1992)

$$Wds = \frac{d}{4} \quad (3)$$

Dimana  $Wds$  merupakan lebar strat, dan  $d$  merupakan panjang strat.

2. Wirawan, et al., (2022)

$$Wco = \frac{d}{4 \tan \emptyset} \times Cc \quad (4)$$

Dimana  $Wco$  adalah lebar strat,  $d$  adalah panjang strat,  $Cc$  adalah koefisien kekuatan dinding ( $Cc = 1.2022r^2 - 2.0953r + 1.045$ ),  $r$  adalah presentase lubang,  $\emptyset$  adalah sudut strat diagonal ( $\tan \emptyset = H/L$ ),  $H$  adalah tinggi kolom, dan  $L$  adalah panjang bentang balok.

### **ELEMEN SHELL**

Pemodelan RDP elemen shell dilakuakn dengan memodelkan struktur rangka sebagai elemen batang dan dinding pngisi sebagai elemen shell. Digunakan elemen Gap untuk menghubungkan dua material yang pada penelitian ini yaitu dinding pengisi dan rangka struktur. Pada penelitian Dorji and Thambiratnam, (2009) dibuat persamaan kekakuan gap sebagai berikut:

$$Kg = 0.0378Eit + 347 \quad (5)$$

Dimana,  $K_g$  adalah kekakuan gap ( $N/mm/mm'$ ),  $E_i$  adalah modulus elastisitas pasangan dinding (MPa), dan  $t$  adalah tebal dinding (mm).

### KINERJA STRUKTUR (*PUSHOVER*)

Menurut CSI, (2016) analisis *pushover* adalah metode analisis statis-nonlinier dimana struktur dikenai beban gravitasi dan pola beban lateral monotonik yang terus bertambah hingga perilaku elastis dan inelastic dan kondisi akhir tercapai. Menurut FEMA 273, (1997), Kategori level kinerja bangunan yaitu:

1. *Operation level*

Pada level ini tidak terjadi kerusakan pada bangunan.

2. *Immediate occupancy (IO)*

Pada level ini tidak ada kerusakan pada bagian struktural dan hanya terjadi kerusakan kecil pada bagian non struktural, jika terjadi gempa, struktur dapat segera difungsikan kembali tetapi perlu diperbaiki, dibersihkan dan menunggu utilitas berfungsi kembali.

3. *Life safety (LS)*

Pada level ini bangunan mengalami kerusakan bagian struktural dan non struktural. Perbaikan diperlukan sebelum dapat digunakan kembali.

4. *Collapse prevention (CP)*

Pada level ini, kekuatan dan kekakuan struktur berkurang. Bangunan yang berada pada level ini dapat menimbulkan risiko yang signifikan terhadap keselamatan penghuninya. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

### METODE ANALISIS KINERJA STRUKTUR ATC 40

Metode ATC 40 atau *Applied Technology Council* merupakan salah satu metode untuk menganalisis level kinerja dari suatu struktur, ATC 40 ini sudah terintegrasi dengan aplikasi SAP2000. Dari kurva *pushover*, nilai titik kinerja didasarkan pada fungsi spektrum ragam yang ditentukan sebelumnya, berdasarkan koordinat gaya geser dasar dan simpangan pada *performance point* akan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan sehingga diperoleh nilai yang menunjukkan level kinerja dari sebuah struktur. Berikut perhitungan kinerja struktur dari ATC 40:

1. Maksimum Total *Drift*

$$D = \frac{Dt}{H} \tag{6}$$

2. Maksimum Total *Inelastic Drift*

$$MID = \frac{(Dt-D1)}{H} \tag{7}$$

Dimana:

D : Simpangan/ perpindahan (*Drift*)

D1 : Perpindahan periode 1

H : Tinggi bangunan (m)

MID : Simpangan/ perpindahan maksimum (*Maximum inelastic drift*)

Setelah dilakukan perhitungan maksimum total *drift* dan maksimum total *inelastic drift* dan mendapatkan hasil, dilanjutkan dengan meninjau table Batasan rasio *drift* ATC 40 untuk mengetahui level kinerja yang didapatkan. Berikut tabel dari batasan rasio *drift* ATC 40.

Tabel 1. Batasan rasio *drift* ATC-40

<i>Parameter</i>	<i>Performance Level</i>			
	<b>IO</b>	<b>DC</b>	<b>LS</b>	<b>SB</b>
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 - 0,002	0,02	0,33 $V_i/P_i$
Maksimum Total <i>Inelastic Drift</i>	0,005	0,005 - 0,015	<i>No Limit</i>	<i>No Limit</i>

Sumber: ATC 40, (1996)

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan untuk bisa mengetahui kinerja yang terjadi pada struktur beton bertulang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu:

1. Studi literatur, adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan gambaran tentang topik yang dibahas dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini, seperti jurnal penelitian , SNI (1726:2019, 2847:2019, 1727:2020), dan Code (FEMA 273) serta ilmu yang diperoleh dibangku perkuliahan.
2. Studi analitis, adalah metode pemecahan masalah teknis secara analitis atau dengan model. Dalam penelitian ini digunakan program aplikasi SAP2000 versi 22 untuk pemodelan struktur gedung, lalu dilakukan analisis perilaku pada model struktur.

Pada pemodelan gedung pengaruh pondasi tidak diperhitungkan karena gedung diasumsikan bangunan terjepit pada permukaan tanah. Berikut rincian data yang akan dianalisis, untuk jenis bangunan yaitu gedung kantor, yang perencanaan berlokasi di pulau Lombok, kota mataram, untuk tinggi lantai yaitu 3,5 meter, dengan luas bangunan 30 meter x 18 meter, dan struktur bangunan yaitu struktur beton bertulang. Adapun dimensi yang digunakan yaitu sebagai berikut.

Tabel 2. Dimensi elemen struktur

Lantai	3 Tingkat		5 Tingkat	
	Balok	Kolom	Balok	Kolom
Lantai 5	-	-	250x400	350x350
Lantai 4	-	-	350x500	350x350
Lantai 3	250x350	300x300	350x500	350x350
Lantai 2	250x450	300x300	350x500	400x400
Lantai 1	300x450	350x350	350x500	400x400
Ground	250x400 (Sloof)	-	250x400 (Sloof)	-

Penelitian ini menganalisis menggunakan *Software* SAP2000, yang dimana dari hasil analisis tersebut akan mengeluarkan output berupa kinerja masing-masing untuk struktur beton bertulang Rangka Terbuka (RT), struktur beton bertulang Rangka dengan Dinding Pengisi Solid (RDPS), dan struktur beton bertulang Rangka dengan Dinding Pengisi Berlubang (RDPB) yang dimana dalam proses pemodelan menggunakan metode strat diagonal. Dibuat 2 variasi level bangunan yaitu bangunan lantai 3 (M3RT, M3RDPS-st, M3RDPB-st) dan bangunan lantai 5 (M5RT, M5RDPS-st, M5RDPB-st). Setelah proses tersebut selesai didapatkan nilai-nilai kinerja dari masing-masing model yang akan dibuat menjadi perbandingan sehingga dapat diketahui pengaruh dari dinding pengisi terhadap suatu struktur bangunan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Lebar Strat Diagonal**

Untuk mencari lebar strat diagonal RDPS digunakan persamaan Pauly & Priestly, (1992) sedangkan untuk lebar strat RDPB dicari menggunakan persamaan pada penelitian Wirawan et al., (2022). Hasil perhitungan strat disajikan pada Tabel 1.

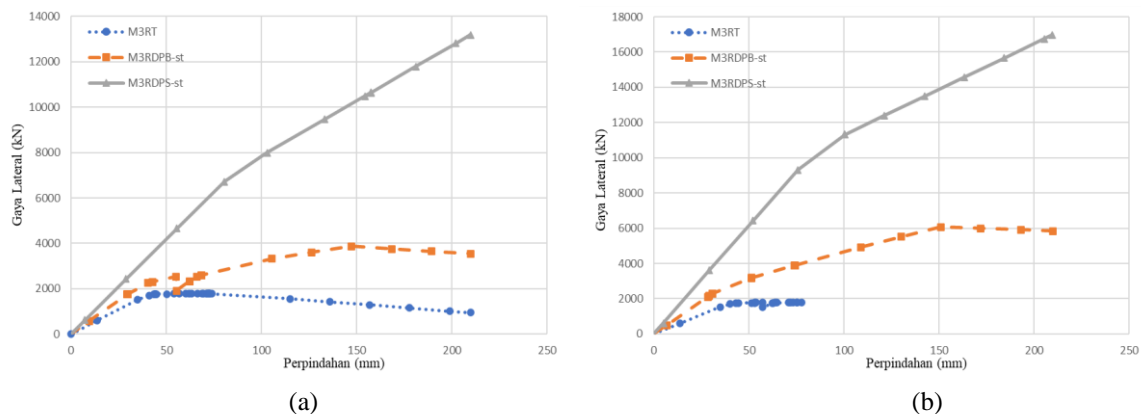
Tabel 3. Lebar strat diagonal

MODEL	Data						
	F'c (Mpa)	d (mm)	θ°	Tan θ°	r (%)	C	Wco (mm)
RDPS-st	25	6946	30.3	0.583	0	1.045	1736.5
RDPB-st		6946	30.3	0.583	30%	0.525	1561.7

### Analisis Prilaku Pada Struktur

Analisis pushover dilakukan untuk mengetahui level kinerja dari struktur gedung yang diberikan beban gempa hingga bangunan tersebut runtuh. Dari analisis ini didapatkan kurva antara gaya lateral dan perpindahan yang terjadi pada struktur.

1. Hasil analisis struktur M3RT, M3RDPS-st, dan M3RDPB-st
  - a) Kurva struktur M3RT, M3RDPS-st, dan M3RDPB-st



Gambar 1. Kurva pushover struktur M3RT, M3RDPS-st, dan M3RDPB-st arah X (a): arah Y (b)

Dari Gambar 1 dapat dilihat perbedaan kurva pushover dari ketiga model yang ditinjau. Dimana pada struktur M3RDPS-st dan M3RDPB-st memiliki kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan struktur M3RT. Hal tersebut menunjukkan bahwa kinerja struktur M3RDPS-st dan M3RDPB-st lebih baik dibandingkan dengan struktur M3RT

- b) Target perpindahan struktur M3RT, M3RDPS-st, dan M3RDPB-st

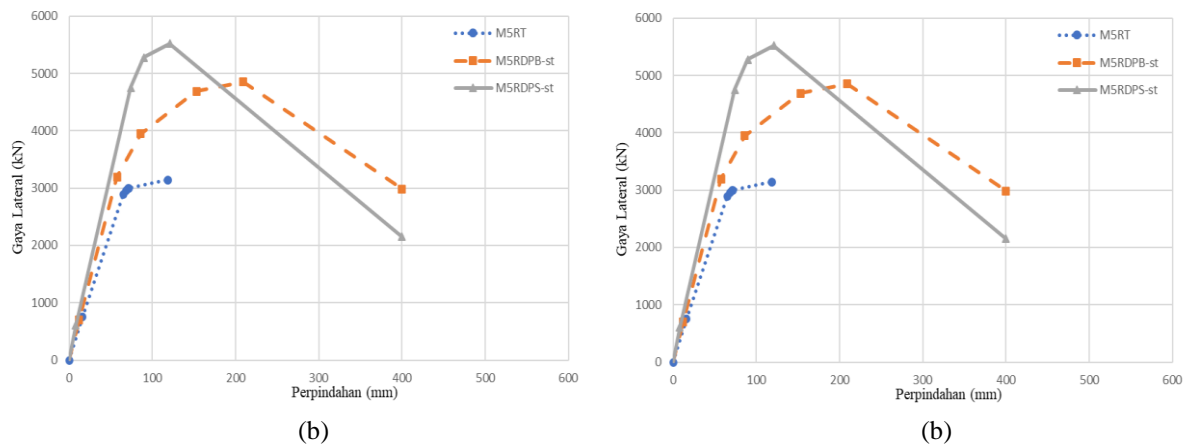
Untuk menentukan target perpindahan digunakan metode analisis *Applied Technology Council* (ATC-40) yang telah terintegrasi dengan aplikasi SAP2000. Dari kurva *pushover* didapatkan nilai titik kinerja didasarkan pada fungsi spektrum ragam yang ditentukan sebelumnya, berdasarkan koordinat gaya geser dasar dan simpangan pada *performance point* maka dapat ditentukan posisi dan prilaku struktur. Nilai *performance point* yang didapatkan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. Nilai *performance point* struktur 3 lantai

ATC 40	D (mm)	D1 (mm)	V (kN)	Teff	Beff	H (mm)	D/H	$\frac{(D-D1)}{H}$
M3RT	68.369	13.771	1786	0.965	0.253	10500	0.00651	0.00520
M3RDPS-ST arah X	62.66	7.148	5239	0.509	0.051	10500	0.00597	0.00529
M3RDPB-ST	55.475	9.461	1920	0.805	0.27	10500	0.00528	0.00438
M3RT	68.817	13.513	1782	0.967	0.25	10500	0.00655	0.00527
M3RDPS-ST arah Y	52.062	5.034	6426	0.422	0.05	10500	0.00496	0.00448
M3RDPB-ST	57.867	6.817	3386	0.625	0.127	10500	0.00551	0.00486

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000 dan perhitungan menggunakan metode ATC-40 nilai total maksimum *drift* (D/H) dan total maksimum inelastik *drift* (D-D1/H) arah X maupun arah Y untuk semua model didapatkan lebih kecil dari 0.01 maka dari itu kinerja struktur M3RT, M3RDPS-st, dan M3RDPB-st masuk dalam kataegori level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

2. Hasil analisis struktur M5RT, M5RDPS-st, dan M5RDPB-st  
 a) Kurva struktur M5RT, M5RDPS-st, dan M5RDPB-st



Gambar 2. Kurva pushover struktur M5RT, M5RDPS-st, dan M5RDPB-st arah X (a): arah Y (b)

Dari Gambar 2 dapat dilihat perbedanaan kurva pushover dari ketiga model yang ditinjau. Dimana pada struktur M5RDPS-st dan M5RDPB-st memiliki kekakuan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan struktur M5RT. Hal tersebut menunjukkan bahwa kinerja struktur M5RDPS-st dan M5RDPB-st lebih baik dibandingkan dengan struktur M5RT

b) Target perpindahan struktur M5RT, M5RDPS-st, dan M5RDPB-st

Untuk menentukan target perpindahan digunakan metode analisis *Applied Technology Council (ATC-40)* yang telah terintegrasi dengan aplikasi SAP2000. Dari kurva *pushover* didapatkan nilai titik kinerja didasarkan pada fungsi spektrum ragam yang ditentukan sebelumnya, berdasarkan koordinat gaya geser dasar dan simpangan pada *performance point* maka dapat ditentukan posisi dan perilaku struktur. Nilai *performance point* yang didapatkan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Nilai *performance point* struktur 5 lantai

ATC 40		D (mm)	D1 (mm)	V (kN)	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	H (mm)	D/H	(D-D1)/H
M5RT		99.611	15.927	3083.588	1.139	0.171	17500	0.00569	0.004782
M5RDPS-ST	arah X	88.582	8.099	5235.908	0.839	0.092	17500	0.00506	0.004599
M5RDPB-ST		92.181	12.211	4017.406	0.975	0.138	17500	0.00527	0.00457
M5RT		97.421	15.944	3100.378	1.125	0.173	17500	0.00557	0.004656
M5RDPS-ST	arah Y	85.372	6.407	6936.872	0.715	0.058	17500	0.00488	0.004512
M5RDPB-ST		87.799	9.526	4703.111	0.879	0.113	17500	0.00502	0.004473

Berdasarkan hasil analisis program SAP2000 dan perhitungan menggunakan metode ATC-40 nilai total maksimum *drift* (D/H) dan total maksimum inelastik *drift* (D-D1/H) arah X maupun arah Y untuk semua model didapatkan nilai lebih kecil dari 0.01 maka dari itu kinerja struktur M5RT, M5RDPS-st, dan M5RDPB-st masuk dalam kataegori level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*.

**KESIMPULAN**

Studi analisis struktur beton bertulang dengan dan tanpa pasangan dinding pengisi berlubang dilakukan dengan dimodelkan 2 variasi lantai yaitu gedung 3 dan 5 lantai, dinding dimodelkan dengan metode strat diagonal, dilakukan analisis *nonlinier static pushover* untuk mengetahui kinerja struktur. Berdasarkan hasil analisis kinerja struktur didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari kinerja struktur gedung 3 lantai didapatkan level kinerja dari semua model yaitu masuk ke kondisi *Immediate Occupancy (IO)*, namun didapatkan titik kinerja model yang

terbaik yaitu pada struktur RDPS karena memperoleh kekuatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan struktur RDPB dan RT, namun dari segi daktilitas struktur RDPB memperoleh nilai yang lebih baik.

2. Hasil dari kinerja struktur gedung 5 lantai didapatkan level kinerja dari semua model yaitu masuk ke kondisi *Immediate Occupancy* (IO), namun didapatkan titik kinerja model yang terbaik yaitu pada struktur RDPS karena memperoleh kekuatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan struktur RDPB dan RT, namun dari segi daktilitas struktur RDPB memperoleh nilai yang lebih baik.

Secara keseluruhan penambahan dinding pengisi memiliki pengaruh terhadap kekuatan struktur yang dimana dari segi kekuatan struktur model RDPS mendapatkan hasil yang paling bagus jika dibandingkan dengan model yang lain, namun dari segi daktilitas model RDPB lah yang memperoleh hasil yang paling bagus, dan pada penerapannya model RDPS maupun RDPB baik untuk diaplikasikan dilapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agus, I. P., Wirawan, P., Diartama, I. K., Tubuh, K., & Wiryadi, I.G.G. (2022) 'DINDING PENGISI DENGAN BUKAAN SENTRIS', 11, pp. 49–56. doi:10.22146/jcef.XXXXX.
- ATC. (1996) '40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings', *Applied Technology Council*, 1, p. 334.
- BSN. (2019) *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*, Standar Nasional Indonesia (SNI).
- Budiwati, I. A. M. and Sukrawa, M. (2017) 'Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik', *Jurnal Teknik Sipil*, 24(1), pp. 43–50. doi:10.5614/jts.2017.24.1.6.
- CSI. (2016) 'SAP2000 Integrated Solution for Structural Analysis and Design', *Computers & Structures Inc*, p. 556.
- FEMA 273. (1997) 'NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings', *Federal Emergency Management Agency, October*.
- Dorji, J. and Thambiratnam, D.P. (2009) 'Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads', *The Open Construction and Building Technology Journal*.
- Imran, I. and Aryanto, A. (2009) 'Behavior of Reinforced Concrete Frames In-Filled with Lightweight Materials Under Seismic Loads', *Civil Engineering Dimension*, 11(2), pp. 69–77. doi:10.9744/ced.11.2.pp. 69-77.
- Liauw, T. C., & Kwan, K. H. (1984) 'Nonlinear behaviour of nonintegral infilled frames', *Comput. Struct*, 18, 551– 560.
- Sukrawa, M. (2015) 'Earthquake response of RC infilled frame with wall openings in low-rise hotel buildings', *Procedia Engineering*, 125, pp. 933–939. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.118.
- Tjahjanto, H. H., & Imran, I. (2009) 'Kajian Performance Struktur Portal Beton Bertulang dengan Dinding Pengisi', *Seminar dan Pameran HA-KI, HAKI*.
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991) 'Tall Building Structures - Analysis & Design', John Wiley & Sons Inc.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992) 'Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings', John Wiley and Sons, Inc