

## STUDI ANALITIKAL PERILAKU DAN KINERJA STRUKTUR RANGKA DINDING PENGISI (RDP) DENGAN VARIASI KETEBALAN DINDING

Made Sukrawa<sup>1</sup>, Ida Ayu Made Budiwati<sup>2</sup>, Ida Bagus Dharma Giri<sup>2</sup>, dan I Putu Agus Putra Wirawan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Mahasaraswati, Denpasar

<sup>1</sup>Email: [msukrawa@unud.ac.id](mailto:msukrawa@unud.ac.id)

### ABSTRAK

Studi analitikal ini dilakukan untuk mengevaluasi efek dari ketebalan dinding pada struktur rangka dinding pengisi (RDP) sebagai struktur penahan beban gempa. Analisis perilaku dan kinerja struktur perlu dilakukan sehingga diperoleh struktur yang aman bagi penghuni bangunan jika terjadi gempa yang kuat. Metode pemodelan divalidasi terhadap hasil uji laboratorium peneliti lain. Hasil validasi menunjukkan bahwa kurva beban-simpangan dan tegangan model RDP menggunakan metode strat diagonal dan elemen shell, serta analisis statik *pushover* sudah mendekati hasil uji laboratorium. Metode pemodelan tersebut diaplikasikan pada model struktur gedung hotel 3 dan 5 lantai dan dianalisis linier dan nonlinier statik *pushover* menggunakan *software* SAP2000. Struktur gedung 3 dan 5 lantai dibuat dengan ketebalan dinding yang sama 150 mm setiap tingkat (M3TF dan M5TF) dan tebal yang bervariasi (M3TV dan M5TV). Ketebalan yang diperoleh pada struktur M3TV dari lantai atas hingga bawah yaitu 150 mm, 250 mm, 300 mm dan untuk struktur M5TV yaitu 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa model RDP dengan variasi ketebalan dinding memiliki perilaku dan kinerja yang lebih baik dibandingkan tanpa variasi ketebalan dinding baik 3 dan 5 lantai, dilihat dari perubahan kinerja struktur dari B-IO (dapat segera dihuni) menjadi B (*operational level*). Model M3TF dan M5TF mengalami sendi plastis pertama pada dinding lantai 1, sedangkan M3TV mengalami sendi plastis pertama pada balok lantai 1 dan M5TV mengalami sendi plastis pertama pada balok lantai 1 sampai 3. Hal ini menunjukkan model RDP dengan variasi ketebalan dinding terhindar dari kegagalan *soft story*, sehingga variasi ketebalan dinding sangat diperlukan.

**Kata kunci:** *kinerja struktur, perilaku struktur, strat diagonal, rangka dinding pengisi, tebal dinding.*

## ANALYTICAL STUDY ON BEHAVIOR AND PERFORMANCE OF INFILLED FRAME STRUCTURE WITH WALL THICKNESS VARIATION

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effects of variations in wall thickness of the infilled frame structure (RDP) as an earthquake-resistant design in order to obtain a structure that is safe for building occupants once a strong earthquake occurs. Validation model has been done based on the results of other research laboratory tests using the method of shell element and diagonal strut. The results of the validation model showed that the load-displacement curves and the stresses on the wall of the RDP were able to mimic the test results. Those methods were then applied to 3 and 5 storey hotel buildings with RDP and were analyzed with linear and non-linear static pushover using SAP2000 software. Building structures of 3 and 5 storey (M3TF and M5TF) were created using the same wall thickness of 150 mm and also with varying wall thicknesses (M3TV and M5TV). The wall thicknesses obtained for M3TV from top to bottom level were of 150 mm, 250 mm, 300 mm respectively, while M5TV models were of 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm. The analysis results showed that the RDP models with variations in wall thickness had better behaviour and performance than those without variations in wall thickness for both 3 and 5 storey structures. This can be seen based on changes in performance from B-IO (immediate occupancy) to B (operational level). Models M3TF and M5TF experienced the first plastic hinge on the first-floor walls, M3TV was on the first-floor beam, and M5TV experienced the first plastic hinge on the first to third-floor beams. These show that the RDP models with variations in wall thickness are safe from soft-story failure. Thus, variations in wall thickness in the RDP model are necessary.

**Keywords:** *diagonal strut, infilled frame, structural behavior, structural performance, wall thickness variation.*

## 1 PENDAHULUAN

Dinding terbuat dari pasangan bata, batako, maupun bata ringan pada struktur rangka beton bertulang maupun rangka baja pada umumnya disebut sebagai dinding pengisi. Dinding tersebut dapat berinteraksi dengan struktur di sekelilingnya bila terjadi beban lateral akibat gempa maupun angin. Penelitian pada struktur rangka dinding pengisi (RDP) dengan pengekangan pada lubang dinding menunjukkan peningkatan kekakuan dan kekuatan struktur bangunan. Pengekangan seperti kolom dan balok praktis ini telah diuji efeknya terhadap perilaku dan kinerja struktur RDP berlubang oleh Sigmund dan Penava (2014). Pengaruh bukaan dengan atau tanpa adanya keberadaan kolom praktis saat beban siklik itu memberi dampak pada pola kehancuran struktur, perilaku struktur dan daktilitas struktur secara menyeluruh.

Pada umumnya model dinding pengisi dibagi menjadi dua jenis: model mikro berdasarkan metode elemen shell serta model makro berdasarkan metode strat diagonal (Smith dan Coull, 1991). Pada model mikro diperlukan pertimbangan elemen link antara struktur rangka dengan dinding menggunakan elemen gap (Dorji dan Thambiratnam, 2009). Sedangkan metode strat diagonal tekan (*equivalent diagonal strut*) dapat dilakukan dengan memperhitungkan lebar strat, dalam hal ini akan digunakan formula yang diusulkan oleh Sukrawa dan Budiwati (2019).

Penelitian terkait RDP pada umumnya dilakukan baik menggunakan metode elemen shell maupun strat diagonal dimana tebal dinding yang digunakan untuk seluruh tingkat gedung adalah sama. Dinding dengan ketebalan yang sama dari lantai atas hingga bawah menyebabkan gaya dan tegangan yang terjadi pada lantai dasar paling besar, sehingga elemen struktur bawah kemungkinan hancur terlebih dahulu saat terkena beban gempa yang menyebabkan terjadinya mekanisme *soft story* (Guney, 2012). Kegagalan *soft story* sudah banyak terjadi, seperti kegagalan struktur akibat gempa Chi Chi Taiwan tahun 1999 (Wu et al., 2004), gempa Bhuj tahun 2001 (Sairam et al., 2018) dan gempa Bourmerdes tahun 2003 (Khellafi et al., 2013).

Pada penelitian ini dibuat model struktur dengan tebal dinding divariasikan agar tegangan yang dihasilkan bernilai seragam pada setiap tingkat sehingga saat adanya gempa dapat terhindar dari kehancuran dinding paling bawah. Analisis dilakukan menggunakan software SAP2000. Model gedung dianalisis linier untuk mengetahui perilaku struktur dan analisis nonlinier statik *pushover* (SPO) untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan metode *pushover* dari (Tjahjanto dan Imran, 2009).

## 2 RANGKA DINDING PENGISI

Penambahan elemen dinding pada struktur rangka terbuka sangat signifikan meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktur rangka beton bertulang di sekitarnya seperti telah ditunjukkan dalam pengujian laboratorium (Mehrabi et al., 1996; Kakaletsis dan Karayannis, 2009; Stavridis, 2009; Tjahjanto dan Imran, 2009; Sigmund dan Penava, 2014). Selain pengujian laboratorium sudah ada penelitian terkait tentang pemodelan RDP berlubang oleh (Sukrawa dan Budiwati, 2019) dan analisis perilaku dan kinerja struktur RDP oleh (Tubuh et al., 2014) yang akan digunakan sebagai pedoman dalam pemodelan struktur RDP.

Dinding pengisi (*Infill Wall*) merupakan penyekat ruangan yang umumnya terbuat dari pasangan batako, bata, batako atau beton ringan. Berdasarkan kajian struktur dinding pengisi memberikan dampak memperkaku rangka terhadap beban lateral. Struktur rangka diantara balok dan kolom terdapat dinding pengisi adalah RDP (*infilled frame*). Terdapat dua metode untuk membuat model dinding pengisi yaitu dengan strat diagonal dan elemen shell.

Metode elemen shell terdapat dua bagian yaitu *meshing area* untuk pemerataan gaya yang diterima oleh rangka dan memperhitungkan elemen *link* antara dinding dengan rangka struktur yang dimodel dengan elemen gap yang telah dibuat oleh (Dorji dan Thambiratnam, 2009) yaitu persamaan kekakuan elemen gap:

$$K_g = 0.0378K_i + 347 \quad (1)$$

dimana,  $K_g$  merupakan kekakuan elemen gap (N/mm),  $E_i$  merupakan modulus elastisitas dinding (MPa),  $K_i$  merupakan kekakuan dinding (N/mm),  $t$  merupakan tebal pasangan dinding (mm).

Strat diagonal adalah batang tekan dengan tebal sesuai tebal dinding dan lebar dinding yang mewakili pasangan dinding. Persamaan lebar strat pada pasangan dinding berlubang dengan pengekangan di sekitar lubang,  $W_{sco}$  diusulkan oleh (Sukrawa dan Budiwati, 2019) dengan persamaan berikut:

$$W_{sco} = \frac{d}{20 \tan \theta} f c'^{0.5} C \quad (2)$$

$$C = 1.1262r^2 - 2.212r + 1.0971 \quad (3)$$

dimana,  $d$  adalah panjang diagonal strut dan  $C$  adalah faktor koreksi akibat adanya lubang yang merupakan fungsi dari rasio luas lubang terhadap luas dinding pengisi ( $r$ ).

## 3 METODE PENELITIAN

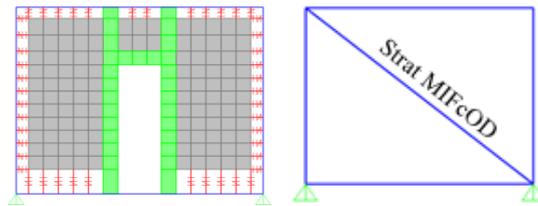
Proses pengerjaan penelitian ini dimulai dari menentukan data sekunder baik teknik memodel pasangan dinding dan data material menurut model yang akan dianalisis. Kemudian dilakukan validasi metode pemodelan berdasarkan hasil test yang dilakukan oleh peneliti lain. Validasi dilakukan terhadap hasil eksperimen Sigmund dan Penava (2014) dengan mengambil lima spesimen yang ada. Spesimen penelitian yang ditinjau adalah RDP

dinding penuh, bukaan pintu sentris, bukaan jendela sentris, bukaan pintu eksentris dan bukaan jendela eksentris. Model validasi akan diberi nama sesuai jenis modelnya. M pada huruf pertama berarti model yang dibuat pada software SAP2000. RDP dinding penuh akan diberi kode FSolid, RDP dengan bukaan pintu akan diberi kode OD, dan RDP dengan bukaan jendela akan diberi kode OW. Penambahan kode c dan x pada RDP dengan bukaan digunakan untuk menunjukkan posisi lubang adalah sentris dan eksentris.

Model aplikasi kemudian dibuat berupa gedung hotel 3 dan 5 lantai yang berada di wilayah Denpasar, Bali. Selanjutnya dibuat dua jenis model aplikasi yaitu model dengan tebal dinding sama (M3TF dan M5TV) dan model dengan tebal dinding bervariasi (M3TV dan M5TV). Model aplikasi dikontrol simpangan dan tegangannya. Jika tidak ada yang overstressed, maka tahap memodel selesai dan dilanjutkan dengan menganalisis perilaku dan kinerja struktur.

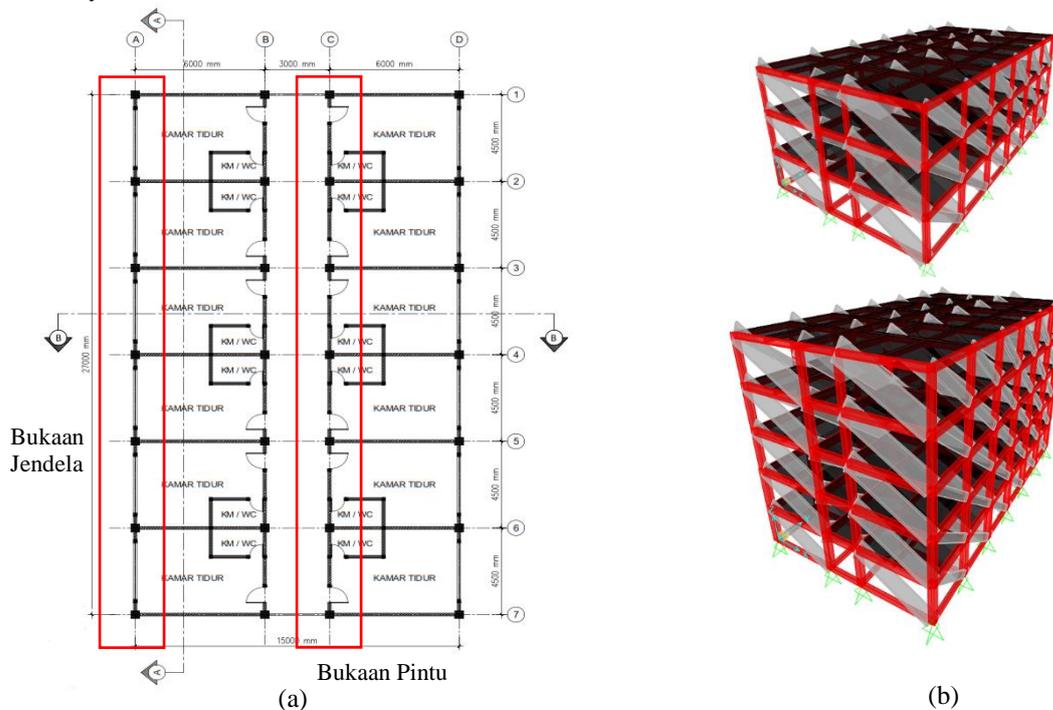
Elemen shell digunakan untuk memodel dinding terkekang, sedangkan elemen frame digunakan untuk memodel kolom dan balok. Tipe elemen shell yang digunakan adalah shell-thick. Antara elemen shell dan elemen frame akan dihubungkan dengan elemen gap berdasarkan persamaan (1), maka dari itu panjang dari elemen gap, setengah dari lebar dimensi pengekangnya.

Pada metode ini, dinding pengisi diwakili oleh batang tekan pada strat diagonal dengan tebal sesuai tebal dinding dan lebar dinding. Nilai lebar strat model validasi pada dinding dengan bukaan dan terkekang di sekitar lubang, berdasarkan persamaan (2) dan (3).



Gambar 1. Model Validasi

Setelah model yang kita buat pada SAP 2000 telah valid, maka dilanjutkan dengan membuat model aplikasi. Dinding pengisi akan diaplikasikan pada pemodelan struktur bangunan 3 dan 5 lantai untuk mengetahui perilaku (simpangan dan tegangan) dinding pengisi pada bangunan bertingkat dengan variasi tebal dinding tiap tingkat dan kinerja strukturnya.



Gambar 2. (a) Denah Struktur Gedung Hotel dan (b) Model Struktur Gedung 3 dan 5 Lantai

Dalam menggunakan analisis *pushover* ini diperhitungkan kenonlinieran material. Pada elemen rangka beton bertulang digunakan fitur hinge. Properti sendi plastis (hinge) yang digunakan didefinisikan terlebih dahulu. Sendi plastis pada kolom digunakan interacting P-M3 yaitu kombinasi gaya aksial dan momen. Pengaturan sendi plastis pada balok menggunakan Moment M3. Kedua pengaturan sendi plastis tersebut diaplikasikan pada kedua ujung dari kolom maupun balok. Sementara untuk pengaturan sendi plastis pada strat didefinisikan sebagai Axial P.

Penempatan sendi plastis pada model strat diagonal yaitu pada bagian tengah bentang. Analisis nonlinier (*pushover*) adalah untuk menunjukkan deformasi dan gaya lateral maksimum yang dapat diterima oleh struktur dan dapat digunakan untuk menentukan titik kritis pada suatu elemen struktur. Sehingga, dapat digunakan sebagai acuan untuk memberikan perhatian lebih terhadap pendetailan elemen kritis. Analisis *pushover* dikerjakan setelah analisis linier statik dengan menggunakan kondisi akhir pada analisis sebelumnya sebagai kondisi awal pada analisis *pushover*.

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

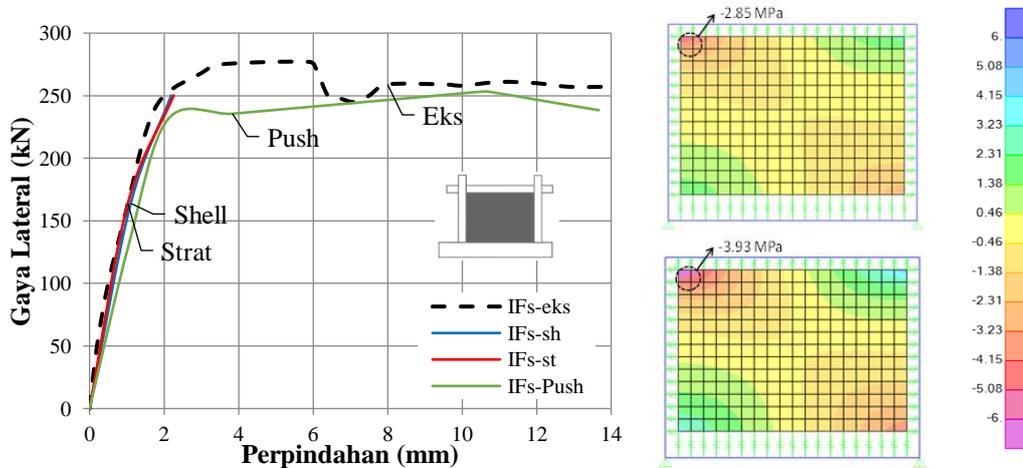
##### 4.1 Model Validasi

Pada pemodelan validasi diperoleh nilai lebar strat diagonal RDP penuh dan berlubang pada penelitian ini digunakan persamaan (2) dan (3). Lebar strat yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

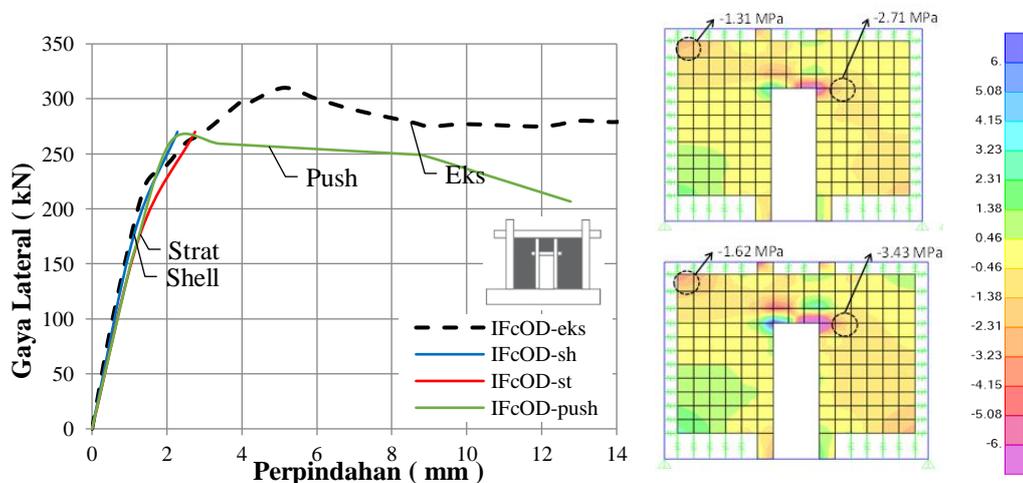
Tabel 1. Lebar Strat Model Validasi

Model	Data						
	f'c (Mpa)	d (mm)	$\theta^\circ$	Tan $\theta^\circ$	r (%)	C	W <sub>sco</sub> (mm)
MIFOD	45	2569	39	0.81	13.0%	0.82857	882
MIFOW					12.0%	0.84788	902
MIFSolid					0	1.0971	1167

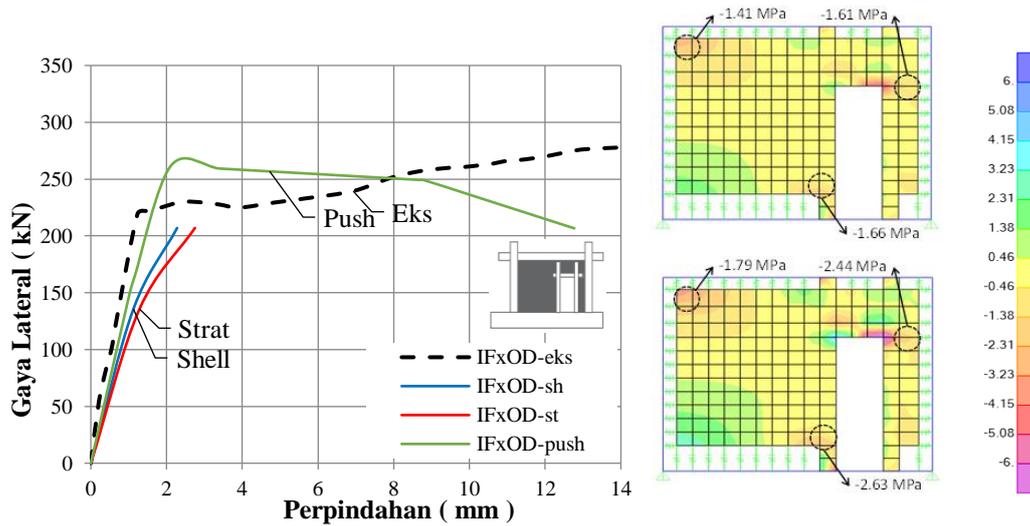
Hubungan gaya dengan perpindahan dan kontur tegangan pada model RDP dengan elemen shell, strat diagonal dan analisis *pushover* sudah mampu menirukan hasil eksperimen.



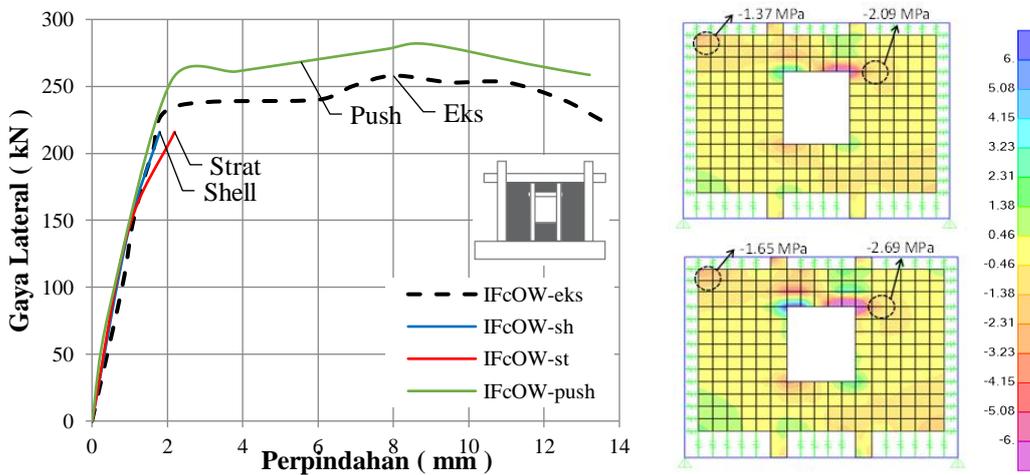
Gambar 3. Kurva Gaya Lateral-Perpindahan dan Kontur Tegangan MIFSolid



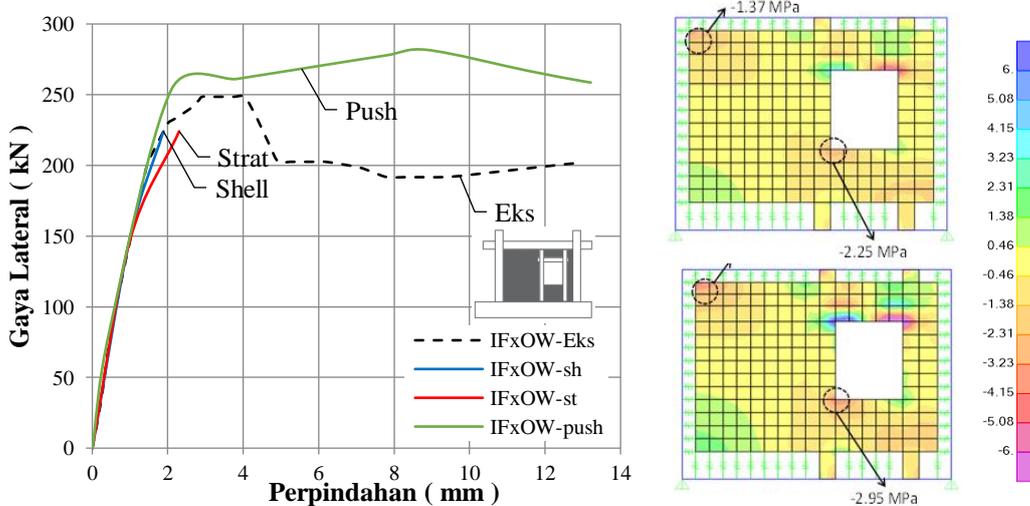
Gambar 4. Kurva Gaya Lateral-Perpindahan dan Kontur Tegangan MIFcOD



Gambar 5. Kurva Gaya Lateral-Perpindahan dan Kontur Tegangan MIFxOD



Gambar 6. Kurva Gaya Lateral-Perpindahan dan Kontur Tegangan MIFcOW



Gambar 7. Kurva Gaya Lateral-Perpindahan dan Kontur Tegangan MIFxOW

#### 4.2 Model Aplikasi

Model aplikasi yang dibuat adalah bangunan hotel tiga dan lima lantai yang berlokasi di Kota Denpasar, Bali. Dibuat dua jenis model aplikasi, yaitu model RDP dengan tebal dinding sama (M3TF dan M5TF) dan model RDP dengan tebal dinding bervariasi tiap tingkat (M3TV dan M5TV).

Tabel 2. Lebar Strat Diagonal Model Aplikasi

Model	Data						
	F'c (Mpa)	d (mm)	$\theta^\circ$	Tan $\theta^\circ$	r (%)	C	Wsco (mm)
Dinding Penuh		6945	30.3	0.58	0	1.0971	1736
Bukaan Jendela	25	5700	37.87	0.78	42.4%	0.362	663
Bukaan Pintu		5700	37.87	0.78	11.3%	0.862	1579

Pada model M3TF dan M5TF digunakan tebal dinding pada setiap tingkat 150 mm, sedangkan tebal dinding model M3TV dan M5TV diperoleh dengan cara *trial and error* sampai tegangan dinding pada setiap tingkat bernilai seragam. Pada penentuan tebal dinding dibatasi dengan dimensi kolom dan balok yang sudah ditentukan sebelumnya, sehingga tebal dinding maksimum selebar kolom dan balok di bawahnya. Pada penelitian ini digunakan variasi tebal dinding 5 tahap untuk model 3 lantai dan 6 tahap untuk model 5 lantai karena pada tahap tersebut tegangan dinding sudah bernilai seragam pada masing-masing model. Model 3 lantai yang memenuhi syarat tegangan dan tidak mengalami leleh pada dinding lantai dasar diperoleh pada tahap 5, sedangkan model 5 lantai tidak mengikuti syarat tegangan yang bernilai seragam dan digunakan tahap 2 karena pada tahap ini tidak mengalami leleh pertama pada dinding lantai dasar. Hasil tebal dinding dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Trial and Error* Tebal Dinding 3 Lantai

Tk.	Kolom (mm)	Balok (mm)	M3TF-1		M3TV-2		M3TV-3		M3TV-4		M3TV-5	
			t (mm)	f (MPa)								
3	250/250	250/400	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10
2	300/300	250/450	150	-0.17	150	-0.17	200	-0.13	200	-0.13	250	-0.11
1	350/350	250/450	150	-0.20	200	-0.15	250	-0.12	300	-0.10	300	-0.10

Tabel 4. *Trial and Error* Tebal Dinding Model 5 Lantai

Tk.	Kolom (mm)	Balok (mm)	M5TF-1		M5TV-2		M5TV-3		M5TV-4		M5TV-5		M5TV-6	
			t (mm)	f (MPa)										
5	350/350	250/400	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10	150	-0.10
4	400/400	350/500	150	-0.21	200	-0.16	250	-0.13	300	-0.11	300	-0.11	200	-0.16
3	400/400	350/500	150	-0.30	250	-0.19	300	-0.16	350	-0.14	400	-0.12	300	-0.16
2	450/450	350/500	150	-0.33	300	-0.18	350	-0.16	400	-0.14	450	-0.12	350	-0.16
1	450/450	350/500	150	-0.39	350	-0.17	400	-0.15	450	-0.13	450	-0.13	450	-0.13

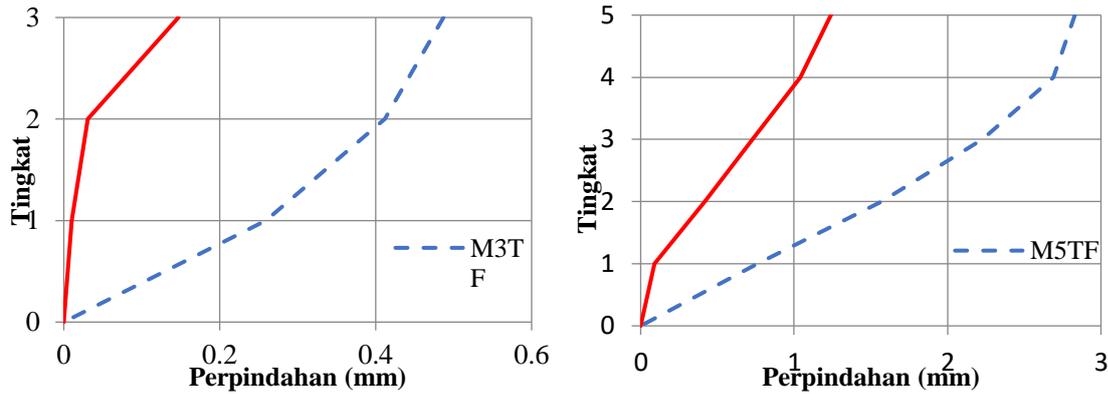
Sebelum melakukan analisis perilaku dan kinerja pada model aplikasi, dilakukan terlebih dahulu perbandingan kurva tingkat perpindahan berdasarkan model strat diagonal dengan elemen shell. Model struktur menggunakan strat diagonal dan elemen shell sudah berhimpitan baik 3 dan 5 lantai, maka model strat dapat mewakili model RDP untuk dianalisis lebih lanjut guna mengetahui perilaku dan kinerja struktur.

a. Analisis Perilaku Struktur Model Aplikasi

Hasil analisis simpangan pada model struktur gedung hotel 3 dan 5 lantai terlihat model M3TV dan M5TV kaku 70 % dan 56% dibandingkan model M3TF dan M5TF ditunjukkan pada Gambar 8. Hal ini membuktikan bahwa model RDP dengan variasi ketebalan dinding efektif dalam meningkatkan kekakuan struktur.

Hasil analisis perilaku berupa luas tulangan, tulangan geser dan gaya dalam model RDP dengan variasi ketebalan dinding adalah meningkatnya nilai luas tulangan, tulangan geser, momen balok pada lantai 1-3, gaya geser dan gaya aksial pada lantai 1-3. Hal ini menunjukkan bahwa balok lantai 1 sampai 3 menerima beban yang berlebih akibat memikul beban dinding yang terakumulasi di atasnya.

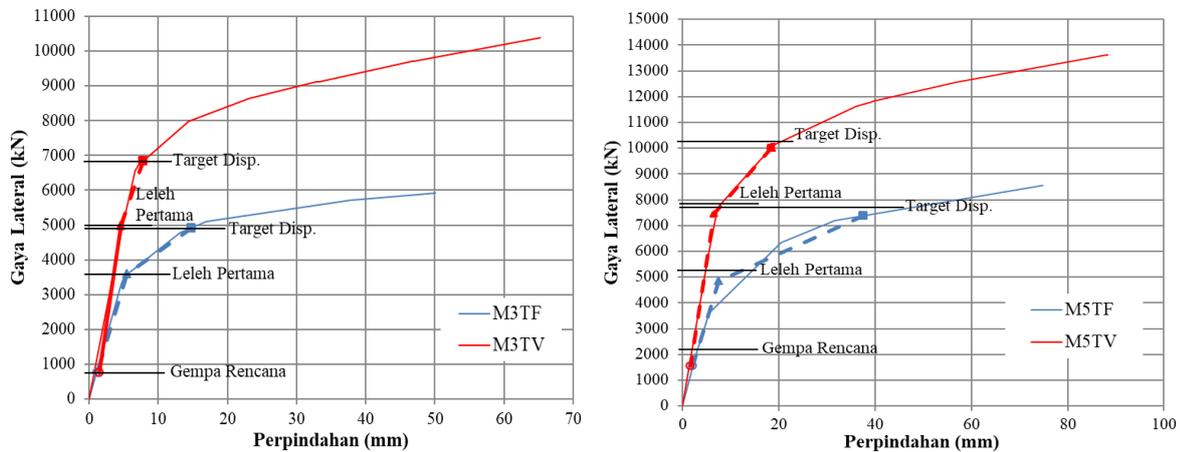
Hasil analisis pada tegangan dinding model struktur gedung hotel 3 dan 5 lantai diperoleh penurunan nilai tegangan tekan model RDP dengan variasi ketebalan dinding sebesar 50-59%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi ketebalan dinding dapat mengurangi nilai tegangan tekan.



Gambar 8. Kurva Perpindahan Model 3 dan 5 Lantai

b. Analisis Kinerja Struktur Model Aplikasi

Hasil analisis kinerja adalah kurva *pushover* dengan perbandingan antara perpindahan dan gaya lateral yang terjadi pada model struktur gedung. Dari kurva tersebut dapat dilihat level kinerja dari struktur seperti leleh pertama dan *target displacement*-nya. Pada Gambar 9 ditampilkan kurva *pushover* berdasarkan FEMA 440.



Gambar 9. Kurva Kapasitas Model 3 dan 5 Lantai

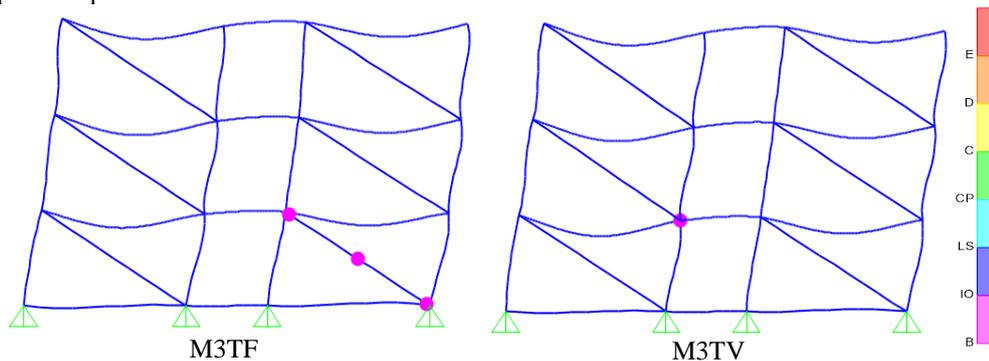
*Target displacement* dapat diperoleh dengan metode *capacity spectrum* (ATC-40) yang sudah terintegrasi pada program SAP 2000. *Performance point* diperoleh dengan mengkonversi kurva kapasitas dan kurva *demand* respon spectrum ke format ADRS, maka digunakan metode ATC 40. Perilaku struktur dapat ditentukan berdasarkan titik koordinat simpangan dan gaya geser dasar pada *performance point*.

Tabel 5. Nilai performance point

ATC 40		$\delta_t$ (mm)	V (kN)	T <sub>eff</sub>	B <sub>eff</sub>	$\delta_t/H_{tot}$
M3TF	Arah X	8.207	4008	0.207	0.124	0.0008
M3TV	Arah X	5.660	5690	0.141	0.053	0.0005
M3TF	Arah Y	7.298	4118	0.200	0.126	0.0007
M3TV	Arah Y	4.317	5974	0.128	0.053	0.0004
M5TF	Arah X	26.260	6779	0.433	0.196	0.0015
M5TV	Arah X	10.518	8357	0.252	0.104	0.0006
M5TF	Arah Y	24.211	6966	0.411	0.191	0.0014
M5TV	Arah Y	8.811	8473	0.233	0.113	0.0005

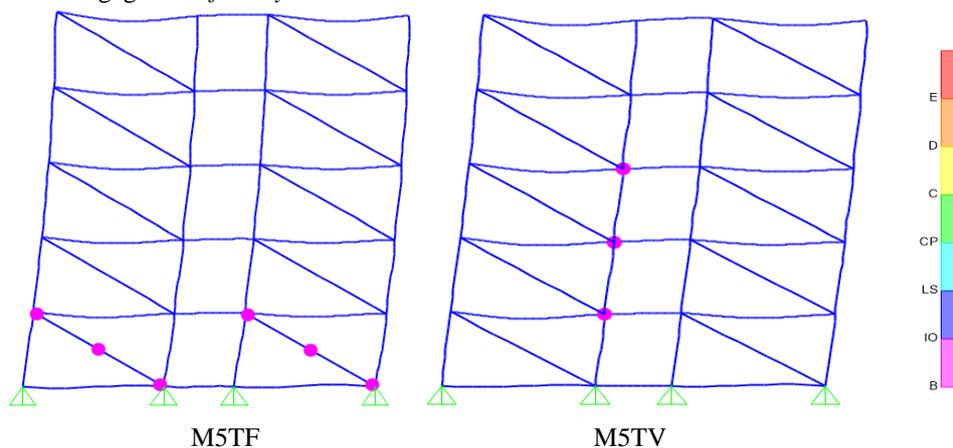
Berdasarkan Tabel 5 dengan metode ATC40, kinerja terbaik ditunjukkan model M3TV dan M5TV karena dengan gaya geser yang terbesar simpangan maksimum yang dihasilkan kecil. Model M3TF dan M5TF arah X memiliki nilai periode yang paling besar sehingga akan menyerap gempa paling kecil jika dibandingkan dengan model lainnya. Model struktur memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) jika nilai maksimum *drift* =  $D/H = 0,0015 < 0,01$ .

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada model aplikasi 3 lantai dapat dilihat pada Gambar 10. Terlihat bahwa model M3TF mengalami sendi plasti pertama pada dinding lantai 1, sedangkan model M3TV mengalami sendi plasti pertama pada balok lantai 1.



Gambar 10. Sendi plastis pada model M3TF dan M3TV

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada model aplikasi 5 lantai dapat dilihat pada Gambar 11. Terlihat bahwa model M5TF mengalami sendi plasti pertama pada dinding lantai 1, sedangkan model M5TV mengalami sendi plasti pertama pada balok lantai 1-3. Hal ini menunjukkan bahwa model RDP dengan variasi ketebalan dinding terhindar dari kegagalan *soft story*.



Gambar 11. Sendi plastis pada model M5TF dan M5TV

Dari gaya geser dasar berdasarkan analisis *pushover*. Tabel 6 menampilkan gaya geser dan tingkat kinerja struktur.

Tabel 6. Evaluasi Kinerja Struktur

Model	Arah	Sendi Plastis	Gaya Geser (kN)		Perpindahan (mm)		Tingkat Kinerja
			Titik Kinerja	Titik Batas	Titik Kinerja	Titik Batas	
M3TF	Arah X	Dinding lantai 1	4789.52	5928.02	13.16	50.09	B-IO
M3TV		Balok lantai 1	6719.2	10377.9	7.12	65.28	B
M3TF	Arah Y	Dinding lantai 1	7017.35	10729.8	84.23	309.91	LS-CP
M3TV		Balok lantai 1	8109.89	18696.9	11.98	367.51	B
M5TF	Arah X	Dinding lantai 1	6334.25	8561.29	20.44	74.83	B-IO
M5TV		Balok lantai 1-3	10108.5	13615	18.94	88.26	B
M5TF	Arah Y	Dinding lantai 1	7432.54	7945.17	29.1	45.31	B-IO
M5TV		Dinding lantai 1	10350.7	12950.3	17.84	52.4	B

Hasil analisis menunjukkan bahwa model RDP dengan variasi ketebalan dinding memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan tanpa variasi ketebalan dinding baik 3 dan 5 lantai. Hal ini dapat dilihat berdasarkan perubahan kinerja dari B-IO (dapat segera dihuni) menjadi B (*operational level*).

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Studi tentang perilaku dan kinerja struktur RDP dengan variasi ketebalan dinding sudah dilakukan menggunakan analisis model validasi dan model struktur gedung hotel 3 dan 5 lantai menggunakan metode elemen shell dan strat diagonal serta dianalisis nonlinier statik *pushover*. Model struktur gedung 3 dan 5 lantai dianalisis dengan cara analisis linier untuk mengetahui perilaku struktur dan nonlinier statik *pushover* untuk mengetahui kinerja struktur. Pada model M3TF dan M5TF digunakan tebal dinding sama setiap tingkat 150 mm, sedangkan tebal dinding model M3TV dan M5TV diperoleh dengan cara *trial and error* sampai tegangan dinding setiap tingkat bernilai seragam. Variasi tebal dinding yang diperoleh untuk model M3TV dari lantai atas hingga bawah yaitu 150 mm, 250 mm, 300 mm sedangkan model M5TV yaitu 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm. Dari hasil analisis didapat simpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis pemodelan RDP pada model validasi menggunakan metode elemen shell dan strat diagonal sudah bersesuaian, sehingga model strat diagonal valid untuk digunakan dalam analisis kinerja berbasis statik *pushover*.
2. Model validasi menggunakan metode elemen shell dan strat diagonal yang dianalisis dengan statik *pushover* mampu menirukan grafik beban-simpangan berdasarkan hasil uji laboratorium. Tegangan yang terjadi pada model validasi sama dengan hasil uji laboratorium, terlihat dari posisi retak yang terjadi.
3. Model M3TV memiliki perilaku dan kinerja yang lebih baik dari M3TF, dibuktikan dari nilai simpangan bahwa M3TV lebih kaku 70% arah X dan 37% arah Y dibandingkan M3TF. Nilai tegangan tekan M3TV lebih kecil 50% pada posisi dinding penuh, 47% pada bukaan jendela dan 36% pada bukaan pintu. Perbandingan rasio tulangan, tulangan geser dan gaya dalam terjadi peningkatan nilai pada balok tumpuan lantai 1. Hal ini berkaitan dengan posisi sendi plastis yang terjadi pada model M3TV. Pada M3TV terjadi perubahan kinerja pada arah X dari B-IO menjadi B dan pada arah Y dari LS-CP menjadi B. Gaya geser dasar pada titik kinerja M3TV lebih besar 40% pada arah X dan 16% pada arah Y dibandingkan M3TF. Terjadi penurunan nilai simpangan pada titik kinerja M3TV sebesar 46% untuk arah X dan 86% untuk arah Y terhadap M3TF.
4. Model M5TV memiliki perilaku yang lebih baik dari M5TF, terlihat dari hasil simpangan dan tegangan dinding yang terjadi. M5TV memiliki kinerja yang lebih baik dari M5TF, dengan perubahan kinerja arah X dari B-IO menjadi B dan arah Y dari B-IO menjadi B. Nilai gaya geser dasar pada saat titik kinerja model M5TV lebih tinggi 60% pada Arah X dan 39% pada Arah Y dibandingkan M5TF. Terjadi penurunan nilai simpangan pada titik kinerja M5TV sebesar 7% pada Arah X dan 39% pada Arah Y daripada M5TF.
5. Pengaruh variasi ketebalan dinding pada model 5 lantai arah Y tidak signifikan dibandingkan dengan 3 lantai, terlihat dari hasil simpangan gaya dalam dan tegangan dinding serta mengalami sendi plastis pertama pada lantai paling bawah. Pada analisis kinerja, sendi plastis pertama model M3TF dan M5TF terjadi pada dinding lantai 1, sedangkan M3TV pada balok lantai 1 dan M5TV pada balok lantai 1-3. Hal ini menunjukkan bahwa model RDP dengan variasi ketebalan dinding dapat terhindar dari kegagalan *soft-story* jika terjadi gempa yang kuat, sehingga variasi ketebalan dinding pada model RDP sangat diperlukan.

### 5.2 Saran

1. Ada baiknya dilakukan penelitian mengenai variasi ketebalan dinding pada model gedung dengan jumlah lantai yang lebih tinggi.
2. Perlu dilakukan variasi mutu dinding apabila digunakan tebal dinding yang sama pada setiap tingkat.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai cara penetapan variasi tebal dinding, jika akan diaplikasikan pada bangunan 2 lantai atau lebih.
4. Perlu dilakukan kombinasi antara variasi mutu dinding dan variasi tebal dinding, sehingga tebal dinding tidak melebihi lebar kolom dan balok.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana dengan biaya dari DIPA PNBPN Universitas Udayana melalui Program Unggulan Udayana tahun 2019 No.551-95/UNI4.4A/LT/2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dorji, J., Thambiratnam, D.P. 2009. Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 3(2), pp. 119–126.
- Guney, D. 2012. The Nonlinear Effect of Infill Walls Stiffness to Prevent Soft Story Collapse of RC Structures. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 6, pp. 74–80.
- Kakaletsis, D.J., Karayannis, C.G. 2009. Experimental investigation of infilled reinforced concrete frames with openings. *ACI Structural Journal*, 106(2), pp. 132–141.
- Khellafi, A.M., Harichane, Z., Afra, H., Sadouki, A. 2013. A case study of accelerometric records analysis of May 21st, 2003, Boumerdes (Algeria) earthquake. *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*, 4(2), pp. 34–52.

- Mehrabi, A.B., Shing, P.B., Schuller, M.P., Noland, J.L. 1996. Experimental evaluation of masonry-filled RC Frame. *Struct. Engrg., ASCE*, 122(1), pp. 228–237.
- Sairam, B., Singh, A.P., Patel, V., Pancholi, V., Chopra, S., Dwivedi, V.K., Ravi Kumar, M. 2018. Influence of local site effects in the ahmedabad mega city on the damage due to past earthquakes in northwestern India. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(4), pp. 2170-2182.
- Sigmund, V., Penava, D. 2014. Influence of openings, with and without confinement, on cyclic response of infilled R-C frames - An experimental study. *Journal of Earthquake Engineering*, 18(1), pp. 113–146.
- Smith, B.S., Coull, A. 1991. *Tall Building Structures - Analysis & Design*. Canada: John Wiley & Sons Inc.
- Stavridis, A. 2009. *Analytical and experimental study of seismic performance of reinforced concrete frames infilled with masonry walls*, PhD dissertation, University of California, San Diego.
- Sukrawa, M., Budiwati, I.A.M. 2019. Analysis and design methods for infilled frames with confined openings. *International Journal of Technology*, pp. 126–136.
- Tjahjanto, H.H., Imran, I. 2009. Kajian Performance Strutur Portal Beton Bertulang Dengan Dinding Pengisi. *Technical paper in Seminar HAKI 2009*, pp. 1–14.
- Tubuh, I.K.D.K., Sukrawa, M., Putra, D. 2014. Behavior And Performance Analyses Of Infilled Frame Structure With Infill-Walls Placement Variation At The Ground Floor. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(1), pp. 66–77.
- Wu, Y.M., Hsiao, N.C., Teng, T.L. 2004. Relationships between strong ground motion peak values and seismic loss during 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. In *Natural Hazards*, 32(3), pp. 357-373.