

PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR DINDING TERKEKANG DAN RANGKA DINDING PENGISI PADA BANGUNAN 4 LANTAI

Ida Bagus Rai Widiarsa¹, Made Sukrawa¹, I Ketut Sudarsana¹ dan A.A. Ayu Istri Laksemana Dewi¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar
Email: r_widiarsa@unud.ac.id

ABSTRAK: Perbandingan perilaku struktur dinding terkekang (SDK) dan rangka dinding pengisi (RDP) dilakukan pada bangunan 4 lantai yang berfungsi sebagai apartemen. Sebelumnya, dilakukan validasi dengan membandingkan simpangan model dinding bata terkekang dengan hasil uji laboratorium dari peneliti lain. Hasil validasi menunjukkan, pemodelan SDK menggunakan elemen shell memberikan hasil mendekati hasil uji laboratorium, untuk itu dinding pada SDK dimodel dengan elemen shell sedangkan dinding pada RDP dimodel dengan strat diagonal. Dimensi struktur SDK mengacu pada gedung apartemen IITGN, sedangkan dimensi struktur RDP mengacu pada hasil analisis struktur. Hasil penelitian menunjukkan SDK lebih kaku dibandingkan RDP, dengan selisih simpangan sebesar 14,89%. Tegangan maksimum dinding pada SDK lebih kecil dibandingkan tegangan maksimum dinding pada RDP, dimana tegangan maksimum dinding pada SDK 4,5 kali lebih kecil dibandingkan tegangan pada RDP. Namun demikian, tegangan dinding maksimum pada kedua model masih memenuhi batas ijin berdasarkan ACI 530-02. Hasil penelitian juga menunjukkan biaya SDK lebih murah dibandingkan biaya RDP.

Kata kunci: dinding, perilaku struktur, rangka dinding pengisi, struktur dinding terkekang.

BEHAVIOUR COMPARISON OF CONFINED MASONRY AND INFILLED FRAME STRUCTURES FOR FOUR STORY BUILDING

ABSTRACT: *Comparison of the structural behaviour of confined masonry (CM) and infilled frame (IF) was carried out on a 4-story apartment building. Prior to modelling the apartment, model validation was done by comparing the displacement of the CM model with the test results in laboratory reported by others. Based on which the walls in the CM was modelled using shell elements while the walls in the IF was modelled with diagonal strut. The dimensions of the CM structure referred to the IITGN apartment building, while the dimensions of the IF structure used the results of structural analysis and design. The results showed that the CM was stiffer than the IF, with a displacement of 14.89% smaller than that of the IF. The maximum wall stress in CM was also smaller than that of the IF, where the ratio up to 4.5. The maximum stress in both models however, was still within the limit based on the ACI 530-02. In addition, the costs for CM structure was cheaper than that of IF.*

Keywords: *masonry wall, structure behaviour, infilled frame structure, confined masonry structure*

PENDAHULUAN

Struktur dinding terkekang (SDK) pada awalnya terinspirasi dari sering ditemukannya bangunan rumah sederhana, dimana konstruksinya yaitu dinding dengan balok dan kolom praktis dikeempat sisinya, seperti yang sering dibangun di Indonesia. Miripnya konsep pengerjaan SDK dengan bangunan rumah sederhana, menjadi nilai tambah bahwa SDK akan mudah di aplikasikan di lapangan. Kekangan pada keempat sisi dinding SDK dapat meningkatkan kemampuan struktur dinding dalam menerima beban lateral gempa. Elemen struktur ini dapat mengurangi retak akibat respon seismik pada saat terjadi gempa, sehingga dapat mencegah kehancuran struktur bahkan pada gempa besar sekalipun (Meli et al., 2011). SDK dipercaya dapat menghasilkan bangunan yang cukup kuat, bahkan dapat diaplikasikan pada bangunan bertingkat, seperti pada proyek pembangunan kampus IITGN. Selain itu, karena lebih banyak menggunakan material dinding bata daripada material beton bertulang, diprediksi memiliki biaya yang lebih murah daripada sistem RBB. Sistem SDK sudah banyak diaplikasikan di beberapa negara bahkan di daerah dengan intensitas gempa yang tinggi. Seperti di Slovenia, 40% dari hunian bertingkat dibangun dengan sistem SDK. Di Mexico, bahkan 60% dari hunian bertingkat dibangun menggunakan sistem SDK. Beberapa Negara lainnya yang mengadopsi sistem SDK antara lain, Chile, Iran, Peru dan India (Rodriguez et al., 2013). Rangka dinding pengisi (RDP) merupakan sistem struktur yang memiliki komponen elemen struktur yang sama dengan SDK, yaitu terdiri dari portal beton bertulang atau baja dengan dinding pengisi batu bata atau batako. Penelitian mengenai RDP sudah banyak dilakukan, penambahan dinding pada struktur portal dipercaya dapat meningkatkan kekakuan struktur dalam menahan beban lateral.

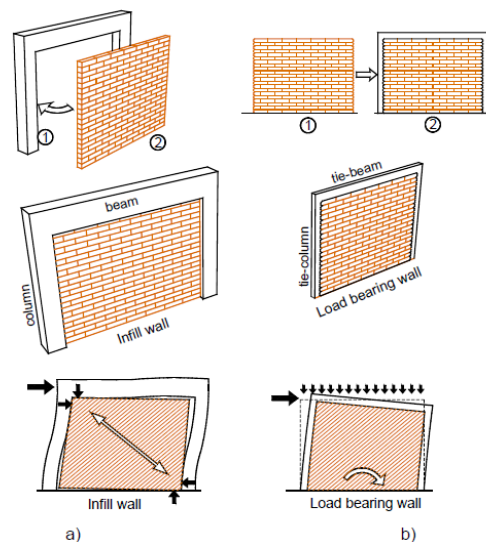
Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini membandingkan perilaku SDK dengan struktur RDP. Model yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada proyek pembangunan kawasan kampus The Indian Institute of Technology Gandhinagar (IITGN) di Desa Palaj, India, dimana pada proyek tersebut beberapa bangunan dibangun

menggunakan sistem SDK. Permodelan dilakukan menggunakan program SAP2000, dimana elemen shell dipilih untuk memodel dinding SDK, dan strat dipilih untuk memodel dinding pada RDP. Sebelumnya, dilakukan langkah validasi, dimana membandingkan hasil pemodelan panel dinding bata yang dikekang oleh kolom dan balok bertulang dengan hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh Bachroni (2013). Tujuannya adalah untuk mendapatkan metode pemodelan yang tepat dalam memodel SDK.

TEORI DAN METODE

Struktur Dinding Terkekang

Struktur dinding terkekang (*Confined Masonry*) adalah elemen struktur dinding dengan pengekan horizontal dan vertikal di keempat sisi-sisinya (Meli et al., 2011). Elemen struktur pengekan vertikal disebut kolom praktis dan elemen struktur pengekan horizontal disebut balok. Elemen struktur balok dan kolom praktis tersebut dibangun setelah dinding selesai dipasang, dan dicor monolit dengan dinding. Pada bangunan dengan sistem SDK, dinding didesain untuk menerima beban struktur, sedangkan balok dan kolom praktis didesain hanya sebagai pengekan dinding.



Gambar 1. Perbandingan RDP (a) dan SDK (b)

Karena menggunakan dinding sebagai elemen struktur utamanya, maka kerapatan dinding merupakan hal penting pada bangunan SDK yang diberikan beban gravitasi dan lateral. Kerapatan dinding (W_d)

adalah total luas permukaan dinding keseluruhan dibagi luas lantai.

$$W_d(\%) = \frac{A_w}{A_p} \times 100 \quad (1)$$

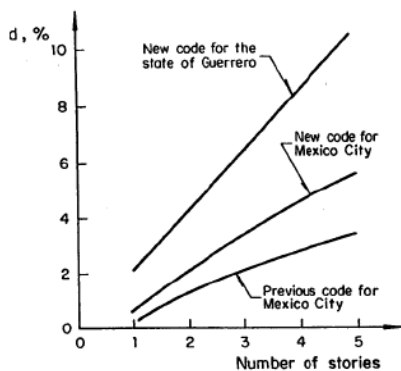
dimana:

W_d = kerapatan dinding;

A_w = luas permukaan dinding; dan

A_p = luas lantai.

Meli dalam Brzev (2007) menyebutkan batas minimal kerapatan dinding yang diperlukan untuk SDK berbeda untuk masing-masing tingkat, juga berdasarkan daerah gempanya. Gambar 2. menjelaskan kebutuhan kerapatan dinding untuk masing-masing tingkat di Mexico. Terdapat juga perbedaan khusus kerapatan dinding yang diperlukan untuk di daerah gempa yang tinggi, contohnya di Guerrero.

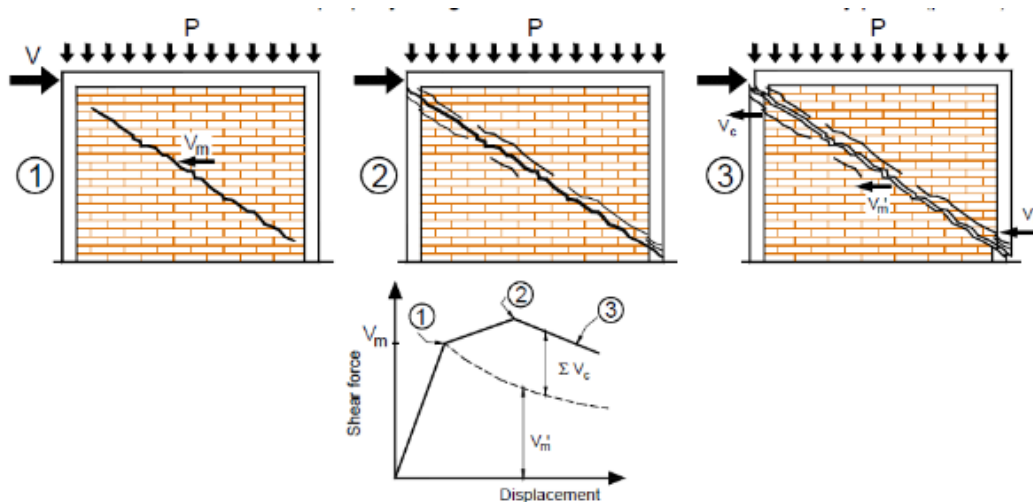


Gambar 2. Kerapatan dinding berdasarkan gempa di Mexico

Perilaku seismik SDK merupakan aksi komposit dari dinding dengan elemen struktur pengekang yaitu kolom dan balok yang dicor secara monolit dan bekerja bersama. Tindakan komposit ini akibat adanya *toothing* antara panel dinding dengan elemen struktur balok dan kolom praktis, sehingga dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan dari struktur dinding tersebut. Kapasitas geser SDK didapatkan dari kontribusi gabungan dari pasangan dinding dengan beton bertulang pengekangnya. Kolom praktis akan mulai untuk menahan beban geser ketika dinding sudah mulai retak, sehingga kapasitas geser dinding menurun. Gambar 3 menjelaskan kekakuan dan kekuatan dari dinding ketika mulai retak hingga runtuh.

Rangka Dinding Pngisi

RDP (*infilled frame*) ialah struktur yang terdiri atas kolom dan balok dari bahan beton bertulang atau baja dengan dinding pengisi batu-bata atau batako. Kegagalan struktur dengan dinding pengisi sering terjadi akibat kegagalan geser pada portal maupun dinding. Selain itu jenis kegagalan lain yang terjadi pada struktur portal dengan dinding pengisi adalah kegagalan terhadap tekan pada bagian pojok atas dinding dan kegagalan tarik yang terjadi pada kolom struktur bagian bawah (Smith dan Coull, 1991).



Gambar 3. Mekanisme keruntuhan Dinding SDK

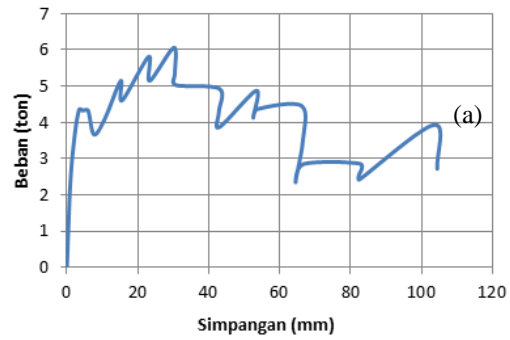
Banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui perilaku portal dengan dinding pengisi. Hasil penelitian Mehrabi et al.

(1994) dalam Dewobroto (2005) membuktikan bahwa struktur portal dengan dinding pengisi mampu menerima beban 2.6 kali

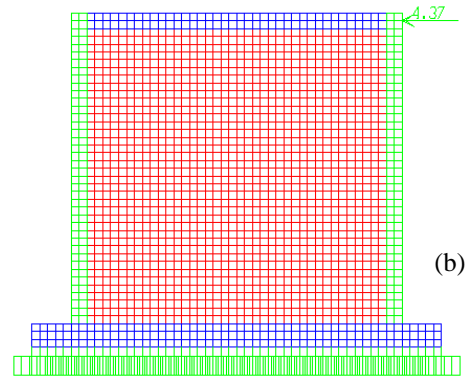
lebih besar dengan lendutan 20 kali lebih kecil dibandingkan dengan portal tanpa dinding pengisi. Hal ini membuktikan bahwa dinding pengisi memberikan pengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan struktur.

Validasi Model

Pada penelitian ini dikerjakan sebuah model validasi berdasarkan pengujian laboratorium oleh Bachroni (2013), dimana pada model tersebut diberikan 7 beban berbeda yang ditingkatkan secara bertahap. Beban yang digunakan berupa beban siklik, dimana diambil titik-titik *backbone* nya dan kemudian di plotkan pada sebuah kurva seperti pada Gambar 4. Beban dikerjakan hingga material dinding dan kolom beton bertulang mengalami retak. Untuk mengikuti sifat dari beban siklik tersebut, pada pemodelan validasi haruslah mengasumsikan adanya reduksi momen inersia dan modulus elastisitas pada elemen struktur dinding, balok dan kolom, sesuai pada Tabel 1.



Gambar 4. Kurva Hasil Pengujian



Gambar 5. Permodelan model validasi pada program SAP2000

Tabel 1. Hasil Model Validasi

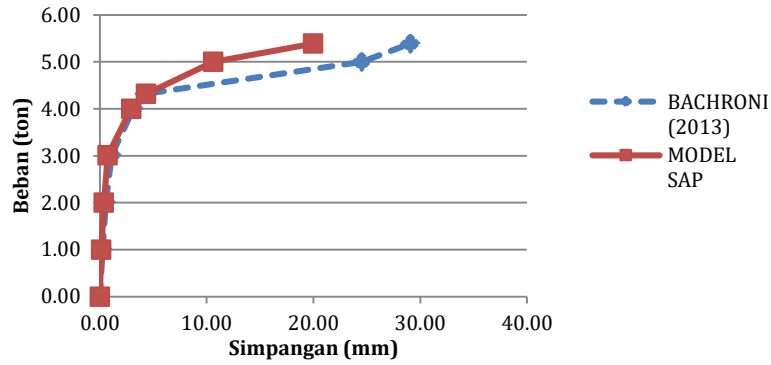
NO MOD EL	BACHRONI (2013)		MODEL SAP		MODULUS ELASTISITAS		REDUKSI INERSIA		
	SIMPANGAN (mm)	BEBAN (Ton)	SIMPANGAN (mm)	BEBAN (Ton)	BETON Ec (MPa)	BATA Em (MPa)	KOLOM Ic	BALOK Ib	BATA Im
0	0.00	0.00	0.00	0.00	19984.67	2932.50	1	1	1
1	0.25	1.00	0.13	1.00	19984.67	2932.50	1	1	1
2	0.57	2.00	0.37	2.00	17284.02	2799.11	0.9	0.8	0.7
3	1.09	3.01	0.73	3.01	15330.49	2507.98	0.85	0.65	0.6
4	3.14	4.00	2.93	4.00	12837.73	1955.00	0.8	0.55	0.5
5	4.23	4.32	4.33	4.32	9040.00	1303.33	0.7	0.35	0.45
6	24.52	5.00	10.62	5.00	5353.73	586.50	0.7	0.35	0.35
7	29.07	5.39	19.98	5.39	3171.82	293.25	0.7	0.35	0.35

Berdasarkan hasil penelitian model validasi, didapatkan kurva simpangan model SAP mendekati kurva hasil pengujian laboratorium pada Gambar 6, terutama pada saat material struktur masih bersifat elastis. Ketika sudah melewati retak pertama, terjadi perbedaan nilai simpangan yang cukup signifikan, hal ini dapat disebabkan oleh

perbedaan metode pembebanan yang dilakukan pada pengujian menggunakan beban siklik, yang mana memungkinkan terjadinya retak setelah beban pertama diberikan. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pemodelan dengan cara memodel elemen struktur balok, kolom dan dinding sebagai *shell element*, serta didukung

dengan variasi terhadap modulus elastisitas material dan variasi inersia tiap elemen struktur, dapat menghasilkan hasil yang menyerupai hasil uji laboratorium. Sehingga,

metode tersebut bisa digunakan sebagai metode untuk memodel SDK.

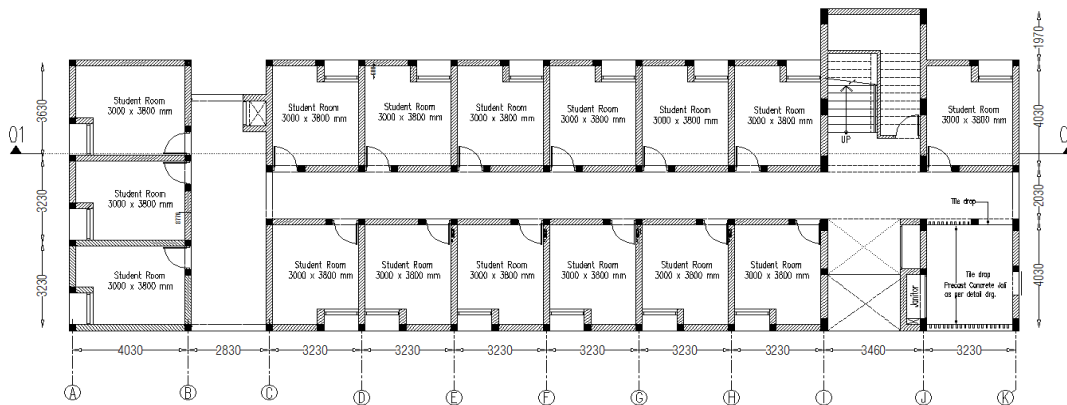


Gambar 6. Grafik beban-simpangan hasil uji Bachroni (2013) dan model SAP

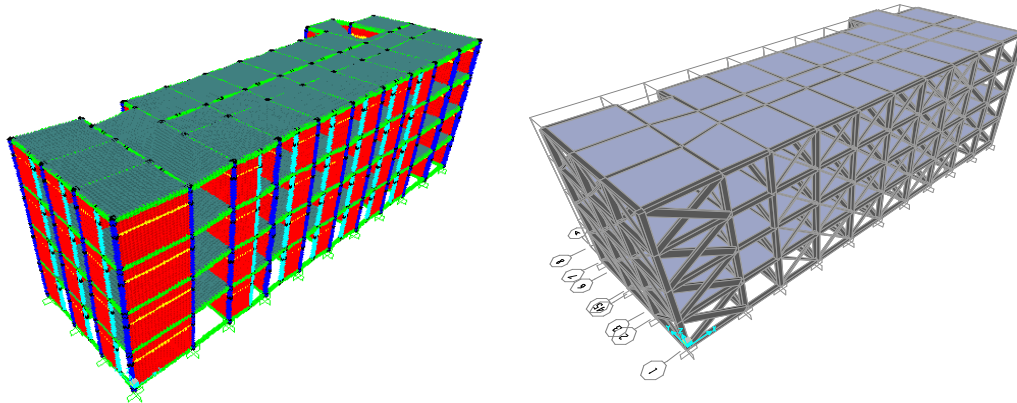
Model Aplikasi

Model aplikasi yang dikerjakan sesuai dengan bangunan yang sudah dibangun, yaitu sebuah gedung apartemen di kawasan universitas IITGN di Gujarat, India. Dimana bangunan tersebut merupakan bangunan dengan sistem struktur dinding terkekang 4 lantai yang berfungsi sebagai hunian. Denah model sesuai dengan Gambar 7, dengan

tinggi tiap tingkat 3200 mm. Metode permodelan yang digunakan model SDK ini sesuai dengan metode permodelan yang digunakan pada model validasi. Kemudian sebagai pembandingan, dikerjakan model lainnya yang memiliki denah yang sama tetapi menggunakan sistem struktur RDP.



Gambar 7. Denah SDK dan RDP



Gambar 8. Model 3D SDK (kiri) dan RDP (kanan)

Gambar 8 adalah gambar 3D model SDK dan RDP yang telah dimodel pada SAP2000. Tabel 2 adalah dimensi elemen struktur kedua model SDK dan RDP, dimana dimensi elemen struktur SDK sesuai dengan gedung IITGN, India, dan dimensi elemen struktur

RDP menyesuaikan hasil analisis struktur setelah diberikan beban D+L dan D+L+E. Kedua model dikerjakan beban gempa Autoload.

Tabel 2. Dimensi Elemen model SDK dan RDP

Elemen Struktur	SDK (mm)				RDP (mm)			
	Lt 1	Lt 2	Lt 3	Lt 4	Lt 1	Lt 2	Lt 3	Lt 4
Kolom	230/230	230/230	230/230	230/230	300/300	300/300	300/300	300/300
Balok	Arah X	230/300	230/300	230/300	230/300	250/350	250/350	250/300
	Arah Y	230/300	230/300	230/300	230/300	250/350	250/350	250/300
Lintel Band	Arah X	230/125	230/125	230/125	230/125	-	-	-
	Arah Y	230/125	230/125	230/125	230/125	-	-	-
Dinding	Arah X	230	230	230	230	150	150	150
	Arah Y	230	230	230	230	150	150	150

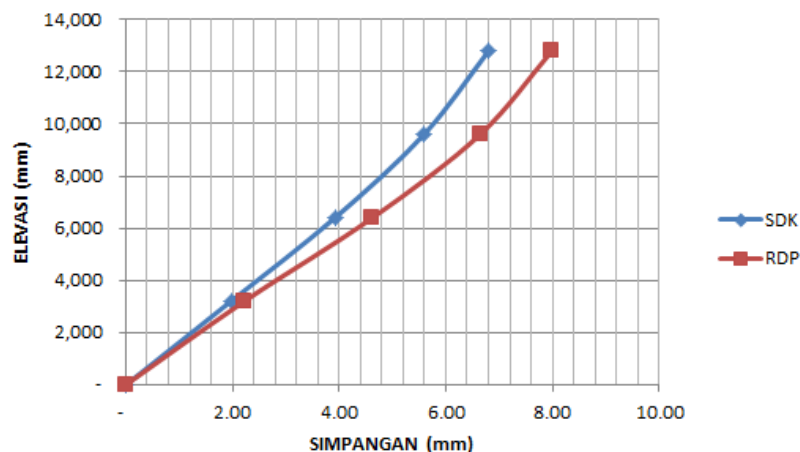
HASIL DAN PEMBAHASAN Simpangan dan Drift Ratio

Perilaku struktur bangunan dilihat dari simpangan yang dihasilkan, dimana kemudian dapat dihitung *drift ratio*. *Drift ratio* adalah rasio simpangan antar tingkat (Δ) dengan tinggi tingkat (h). Untuk menentukan

simpangan tersebut ditinjau pada AS 1-1 lantai 4 berdasarkan kombinasi beban maksimum D+L+E. Hasil dari simpangan tersebut dan *drift ratio* yang didapatkan ditampilkan pada Tabel 3. dan Gambar 9.

Tabel 3 Simpangan antar lantai MSDK dan MRDP

Elevasi (mm)	Simpangan (mm)		Drift Ratio (%)		Selisih Simpangan (%)
	SDK	RDP	SDK	RDP	
3200	1.97	2.22	0.0006	0.0007	11.26%
6400	3.92	4.62	0.0006	0.0007	15.15%
9600	5.59	6.64	0.0006	0.0007	15.81%
12800	6.80	7.99	0.0005	0.0006	14.89%



Gambar 9. Grafik simpangan antar lantai model SDK dan RDP

Berdasarkan hasil simpangan antar lantai yang ditampilkan pada Tabel 3. dan Gambar 9, simpangan maksimum terjadi pada lantai 4, yaitu pada SDK sebesar 6.80 mm, dan pada RDP sebesar 7.99 mm, dengan selisih simpangan kedua model adalah sebesar 14,89%. Kontrol simpangan dilakukan berdasarkan Tabel 16 SNI 1726-2012, yaitu simpangan ijin kedua model tidak boleh melebihi 128 mm, sehingga kedua model memenuhi kontrol simpangan ijin yang disyaratkan. Berdasarkan penyajian diatas, dapat disimpulkan bahwa model SDK lebih kaku dalam menahan beban maksimum akibat kombinasi D+L+E dibandingkan model RDP, dengan hasil simpangannya yang lebih kecil.

Drift ratio terbesar terjadi pada lantai 3, dimana untuk model SDK *drift ratio* yang didapatkan adalah sebesar 0.006%, sedangkan *drift ratio* model RDP adalah sebesar 0.007%. Saat ini, belum ada peraturan resmi di Indonesia yang mengatur mengenai *drift ratio* untuk SDK, sehingga pada penelitian ini dikontrol berdasarkan peraturan Chile, dimana mensyaratkan *drift ratio* ijin maksimum sebesar 0.2%. Berdasarkan peraturan tersebut, didapatkan bahwa *drift ratio* baik untuk model SDK dan RDP keduanya masih memenuhi persyaratan.

Berat Struktur dan Kerapatan Dinding

Perbedaan dimensi elemen struktur kedua model mengakibatkan perbedaan berat struktur yang dihasilkan, dimana berat struktur model SDK sebesar 1.470.226 kg dan berat struktur RDP sebesar 1.194.240 kg. Disimpulkan bahwa, berat struktur model

SDK lebih berat dibandingkan RDP, hal ini disebabkan oleh dinding pada model SDK digunakan dengan ketebalan 230 mm, sedangkan pada RDP menggunakan ketebalan 150 mm. Perbedaan berat struktur ini akan berpengaruh terhadap dimensi pondasi pada saat pengerjaannya. Tetapi, pada penelitian ini pondasi tidak ditinjau.

Kerapatan dinding (W_d) adalah total luas permukaan dinding keseluruhan dibagi luas lantai. Berdasarkan hasil perhitungan kerapatan dinding arah X adalah sebesar 8,26% dan kerapatan dinding arah Y adalah sebesar 6,63%. Nilai ini akan sama seiring bertambahnya jumlah tingkat dikarenakan layout dinding dan luas lantai adalah sama untuk lantai 1 sampai dengan lantai 4. Kontrol dilakukan berdasarkan Eurocode 8 (1996) bahwa batas kerapatan dinding yang diijinkan minimal 2% untuk daerah dengan percepatan tanah dasar 0.2g, dan juga berdasarkan grafik kerapatan dinding yang mengacu pada gempa Mexico untuk struktur SDK (Brezev, 2007), bahwa batas kerapatan dinding untuk bangunan 4 lantai adalah sebesar 4,7%. Berdasarkan kedua kontrol diatas, didapatkan bahwa hasil perhitungan kerapatan dinding SDK untuk arah X maupun Y masih memenuhi yaitu lebih besar dari batas minimal yang diijinkan.

Tegangan Dinding

Tegangan dinding dihitung untuk mengetahui kekuatan elemen struktur dinding pada model SDK dan RDP dalam menahan gaya tarik, tekan dan geser. Saat ini, belum ada aturan resmi yang mengontrol besarnya tegangan-tegangan tersebut pada model SDK. Oleh

karena itu kontrol tegangan ijin tekan, tarik dan geser yang digunakan mengacu pada ACI 530-02, dimana :

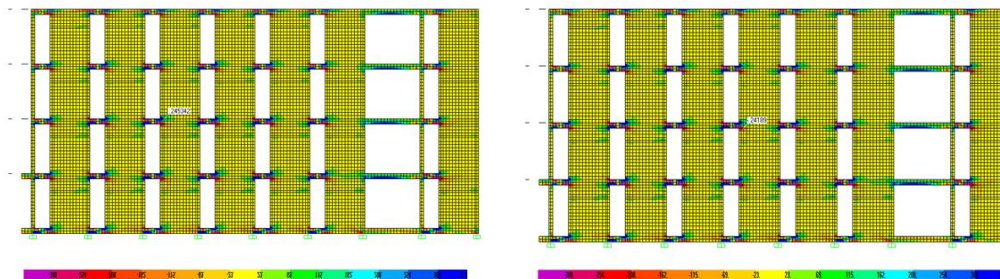
- Tegangan tekan (f') < f'_m , yaitu 3,91 MPa
- Tegangan tarik (f_t) < 0,414 MPa
- Tegangan geser, tidak boleh melebihi :
 - a. $1,5 \sqrt{f'_m} = 2.966$ MPa
 - b. 120 psi (827 kPa) = 0,827 MPa
 - c. $v + 0.45 N_v/A_v$
 - Untuk kombinasi beban $D+L+Ex+0.3Ey = 0,061$ MPa
 - Untuk kombinasi beban $D+L+Ey+0.3Ex = 0,031$ MPa

pada AS 4-4. Untuk tegangan pada model dinding RDP didapatkan dari perhitungan gaya-gaya dalam pada strut. Tegangan tarik, tekan dan geser kedua model kemudian ditampilkan pada Tabel 4, dimana tegangan tersebut terjadi akibat kombinasi beban D+L+E. Selain itu, tegangan maksimal juga dicari untuk elemen struktur lainnya seperti balok, kolom dan sloof, dan digunakan untuk mengestimasi jumlah tulangan yang digunakan pada model SDK. Dengan diketahuinya jumlah tulangan pada kedua model, maka perhitungan terhadap RAB kedua model pun lebih mudah dilakukan.

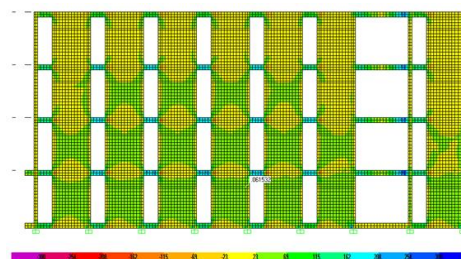
Pada kedua model baik SDK maupun RDP, tegangan maksimum dinding didapatkan

Tabel 4 Tegangan dinding model SDK dan RDP

Tegangan		SDK		RDP		Batas Ijin
		D + L + Ex + 0.3 Ey	D + L + 0.3Ex + Ey	D + L + Ex + 0.3 Ey	D + L + 0.3Ex + Ey	
Tegangan Tekan (MPa)	S11	-0.242	-0.070	-1.10	-0.78	3.91
	S22	-0.163	-0.101			
Tegangan Tarik (MPa)	S11	0.245	0.142	-	-	0.414
	S22	0.047	0.133			
Tegangan Geser (MPa)	S12	0.061	0.031	0.65	0.46	a. 2.96 b. 0.827 c. 0.102 (SDK) d. 0.471 (RDP)



Gambar 10. Tegangan Tarik Maksimum (kiri) dan Tegangan Tekan Maksimum (kanan) S11 Dinding SDK Akibat Beban D+L+Ex+0.3Ey



Gambar 11. Tegangan Geser Maksimum Dinding SDK Akibat Beban D+L+Ex+0.3Ey

Berdasarkan hasil tegangan pada Tabel 4. didapatkan bahwa, untuk tegangan tekan dan geser RDP lebih besar dibandingkan SDK. Dapat disimpulkan bahwa model SDK lebih baik dalam menahan beban tekan dan geser dibandingkan model RDP. Tegangan-tegangan tersebut kemudian dikontrol pada tegangan ijin berdasarkan ACI 530-02, dimana didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Tegangan Tekan

Kontrol terhadap tegangan tekan dinding, dimana tegangan yang dihasilkan tidak boleh melebihi kuat tekan dinding yaitu 3,91 MPa. Berdasarkan hasil yang didapatkan bahwa pada model SDK, tegangan tekan maksimum didapatkan -0,242 Mpa. Sedangkan untuk model RDP, tegangan tekan maksimum yang didapatkan adalah sebesar -1,10 MPa. Disimpulkan bahwa, tegangan tekan pada model SDK dan model RDP memenuhi kontrol tegangan tekan ijin berdasarkan ACI 530-02.

2. Tegangan Tarik

Kontrol terhadap tegangan tarik dinding, dimana tegangan yang dihasilkan tidak boleh melebihi 0,414 MPa (ACI 530-02, 2002). Kontrol tegangan tarik hanya dilakukan pada struktur model SDK. Pada model RDP tidak dilakukan kontrol tegangan tarik dinding, dikarenakan strut pada RDP tidak dapat menahan tarik. Hasil penelitian menunjukkan tegangan tarik maksimum model SDK sebesar 0,245 MPa. Disimpulkan bahwa

tegangan tarik model SDK memenuhi kontrol tegangan tarik ijin berdasarkan ACI 530-02, artinya dinding pada model SDK dapat menahan gaya tarik yang diberikan.

3. Tegangan Geser

Kontrol terhadap tegangan geser, dimana tegangan geser dinding disyaratkan tidak melebihi aturan berdasarkan ACI 530-02, seperti dijelaskan diatas. Tegangan geser maksimum model SDK sebesar 0,061 MPa, sedangkan RDP sebesar 0,65 MPa. Sehingga, nilai tegangan maksimum geser kedua model masih berada dibawah tegangan geser ijin yang disyaratkan.

Perhitungan Penulangan Balok dan Kolom SDK

Perhitungan penulangan dilakukan untuk dapat menghitung biaya pembangunan. Penulangan pada model RDP didapat dari mencari luas tulangan pada elemen struktur balok dan kolom model SAP2000 pada tab *display design info*. Sedangkan pada SDK, karena balok dan kolom dimodel menggunakan elemen shell, sehingga tidak dapat dicari luas tulangnya seperti cara RDP, sehingga penulangannya dilakukan dengan cara menghitung tegangan tarik maksimum yang terjadi pada elemen struktur balok dan kolom SDK, yang kemudian dihitung menjadi jumlah luas tulangan yang dibutuhkan. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kebutuhan tulangan balok dan kolom model SDK dan RDP

Elemen Struktur	SDK		RDP	
	Dimensi (mm)	Tulangan	Dimensi (mm)	Tulangan
Kolom	230/230	4D13, ϕ 8 - 150	300/300	12D13, ϕ 8 - 150
			150/150	4D8, ϕ 6 - 150
Balok	230/300	4D13, ϕ 8 - 150	250/350	5D13, ϕ 8 - 137.5
	230/125	4D10, ϕ 8 - 150	300/350	4D13, ϕ 8 - 150
			350/350	4D13, ϕ 8 - 137.5
			250/300	5D16, ϕ 8 - 150

Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan biaya yang dilakukan hanya berdasarkan elemen struktur utamanya saja, yaitu balok, kolom, dinding dan pelat. Hal ini akan berpengaruh terhadap volume struktur dan kemudian terhadap biaya yang dihabiskan, tidak termasuk perhitungan

terhadap *finishing*/arsitektural. Harga satuan didapatkan berdasarkan analisa harga satuan AHSP Bidang Cipta Karya Dinas PUPR Kota Denpasar (2018), dimana harga satuan material menggunakan harga satuan Kota Denpasar tahun 2018 yang tersaji pada Tabel 6. Perbandingan RAB pada kedua model

tersaji pada Tabel 7. Berdasarkan hasil perhitungan biaya antara SDK dan RDP yang tersaji pada Tabel 7, didapatkan bahwa biaya pembangunan struktur RDP dan SDK memiliki selisih sebesar 3.04%, dimana SDK lebih murah dibandingkan RDP. Apabila hanya dilihat dari perbedaan harga material beton bertulang saja, yang mencakup biaya

beton, tulangan dan bekisting, didapatkan selisih biaya pembangunan hingga sebesar 12.23% SDK lebih murah dibandingkan RDP. Sedangkan untuk biaya pembangunan untuk dinding saja, SDK 34.78% lebih mahal daripada RDP.

Tabel 6. Perbandingan harga material pada SDK dan RDP

Keterangan	SDK (Rp)	RDP (Rp)
Beton (m3)	1,189,770	1,189,770
Tulangan (kg)	15,799	15,799
Bekisting kolom (m2)	186,323	293,123
Bekisting balok (m2)	186,323	303,748
Bekisting plat (m2)	293,123	293,123
Bata (m3)	1,150,659	1,150,659

Tabel 7. Perbandingan RAB SDK dan RDP

Keterangan	SDK (Rp)	RDP (Rp)	selisih (persentase)
Biaya pembangunan struktur beton bertulang (kolom, balok & plat lantai)	1,592,634,448	1,814,646,530	12.23%
Biaya pembangunan dinding bata	454,011,602	296,094,523	34.78%
Biaya total pembangunan (struktur beton bertulang dan dinding bata)	2,046,646,050	2,110,741,052	3.04%
Harga/m2	1,220,639	1,258,866	

Hal ini disebabkan oleh perbedaan dimensi struktur akibat perbedaan sistem struktur, dimana untuk model SDK menggunakan dinding bata sebagai komponen struktur utama sehingga, memiliki volume dinding bata yang cukup besar apabila dibandingkan dengan sistem struktur RDP. Dapat disimpulkan, biaya pembangunan model SDK lebih murah dibandingkan biaya pembangunan RDP, perbandingan tersebut ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan biaya SDK dan RDP

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan Struktur Dinding Terkekang (SDK) pada proyek Pembangunan Apartemen IITGN India yang sudah terbangun. Bangunan tersebut juga dimodel sebagai Rangka Dinding Pengisi (RDP), kemudian perilaku struktur berupa simpangan dan tegangan dinding serta biaya pembangunan dibandingkan. Sebelumnya dilakukan validasi model SDK dengan hasil uji laboratorium, dimana dinding pada SDK dimodel dengan elemen *shell* sedangkan dinding pada RDP dimodel dengan strat diagonal. Dimensi struktur SDK mengacu pada gedung apartemen IITGN, sedangkan dimensi struktur RDP mengacu pada hasil analisis struktur. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan tersebut, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur SDK lebih kaku dibanding struktur RDP, dengan selisih simpangan sebesar 14,89%.
2. Tegangan tekan dan geser maksimum dinding pada SDK jauh lebih kecil dibandingkan tegangan tekan dan geser

- dinding pada RDP, dimana tegangan maksimum dinding pada SDK 4,5 kali lebih kecil dibandingkan RDP. Namun tegangan yang terjadi pada keduanya masih dalam batas kekuatan dindingnya.
3. Dari hasil simpangan dan tegangan dinding disimpulkan bahwa bangunan struktur SDK aman dan menghasilkan perilaku yang lebih baik dibandingkan RDP.
 4. Biaya pembangunan struktur SDK lebih murah 3,04% dibandingkan struktur RDP. Melihat potensi keuntungan yang diperoleh pada SDK, maka sistem struktur dinding terkekang perlu dikembangkan lagi sebagai pedoman pembangunan SDK di Indonesia dan sebagai acuan bagi para pengembang (*developer*) dalam perencanaan maupun pembangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachroni, C. B. (2013). *Pengaruh Penambahan Baja Tulangan Horizontal Pada Dinding Pasangan Bata Merah Terkekang*. Jurnal Permukiman, 1-12.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Brzev, S. (2007). *Earthquake Resistant Confined Masonry Construction*. Kanpur (India): National Information Center of Earthquake Engineering.
- Dewobroto, W. (2005). *Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. Jurnal Teknik Sipil. IS:1893 (Part 1). (2002). *Indian Standart - Criteria for Earthquake-Resistant Design of Structure*. New Delhi, India: Berau of Indian Standards.
- Jain, S. K., Basu, D., Ghosh, I., Rai, D. C., Brzev, S., & Bahrgava, L. K. (2014). *Application Of Confined Masonry in A Major Project in India*. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering. Alaska.
- Jain, S. K., Brzev, S., Bhargava, L. K., Basu, D., Ghosh, I., Rai, D. C., et al. (2015). *Confined Masonry for Residential Construction*. Indian Institute of Technology Gandhinagar.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., & Boen, T. (2011). *Seismic Design Guide For Low Rise Confined Masonry Buildings*. California: EERI.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.
- Rodriguez, V., Yacante, M., & Reiloba, S. (2013). *Confined Masonry House*. Retrieved Februari 17, 2018, from World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute: <http://www.world-housing.net/>
- Smith, B. (1991). *Tall Building Structure: Analysis and Design*. John Wiley and Sons, Inc.