

PERILAKU STRUKTUR RANGKA DINDING PENGISI DENGAN BUKAAN PADA GEDUNG EMPAT LANTAI

Ida Bagus Dharma Giri¹, Dharma Putra¹, Gusti Putu Satria Eka Pratama²
¹Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar
²Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar
e-mail: guidha_82@yahoo.com

Abstrak :Dinding Pengisi sering digunakan sebagai penyekat atau pemisah ruangan yang biasanya terbuat dari pasangan bata, batako, atau beton ringan. Dalam perencanaan struktur gedung dinding pengisi biasanya dianggap sebagai komponen non struktural. Dinding dapat berinteraksi dengan struktur yang ditempatinya pada saat ada beban horizontal yang bekerja. Analisa study ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan perilaku struktur yang dimodel tanpa dinding pengisi, dengan dinding pengisi penuh dan dinding dengan bukaan. Langkah awal pemodelan dibuat Model Awal yang dibandingkan dengan hasil tes di lab, setelah hasil yang didapat dari pemodelan Model Awal sama dengan hasil tes di lab maka pemodelan struktur gedung empat lantai bisa dilakukan. Dalam pemodelan gedung empat lantai akan dibuat tiga buah model. Model pertama yang disebut M1 adalah model rangka terbuka yaitu menganggap dinding sebagai beban saja. Model kedua yang disebut M2 adalah Model Rangka dengan Dinding Pengisi Penuh yaitu hanya memodel dinding yang tanpa bukaan dengan *shell elemen* sedangkan yang terdapat bukaan hanya dianggap sebagai beban. Model ketiga yang disebut M3 adalah Model Rangka Dinding Pengisi dengan Bukaan yaitu dengan memodel semua dinding yang ada baik dengan maupun tanpa bukaan sebagai *shell elemen*. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa simpangan arah x M1 lebih besar 67,274% dari M2 dan 67,444% dari M3. Sedangkan untuk arah y didapatkan bahwa M1 lebih besar 0,445% dari M2 dan 24,411% dari M3. Tegangan tekan dan geser yang terjadi pada dinding masih dalam batas kekuatan bahan dinding yang diijinkan, namun untuk tegangan tarik tidak memenuhi persyaratan kuat tarik. Berdasarkan analisis juga diperoleh jika gaya dalam seperti momen dan gaya geser pada kolom dan balok untuk struktur tanpa dinding pengisi menghasilkan nilai yang lebih besar jika dibandingkan dengan struktur yang dimodel dengan dinding pengisi. Namun untuk aksial yang terjadi pada kolom, struktur dengan dinding pengisi menghasilkan aksial yang lebih besar daripada struktur tanpa dinding pengisi. Selain itu diketahui juga bahwa struktur tanpa dinding pengisi memerlukan kebutuhan tulangan yang lebih besar daripada struktur yang dimodel dengan dinding pengisi.

Kata kunci : dinding pengisi, dinding dengan bukaan, *shell element*

BEHAVIOR OF INFILLED FRAME STRUCTURE WITH OPENING ON FOUR STOREY BUILDING

Abstract: The infilled wall is often used as a room divider or separator is usually made of masonry, brick or lightweight concrete. In planning the building structure infilled wall is usually regarded as non-structural components. The walls can interact with the structure at the moment there are horizontal load. This Analysis aimed to obtain comparative behavior of the modeled structure without infilled wall, with a full infilled wall and infilled walls with openings. The first step was made Preliminary Modeling that compared with the results of the test in the laboratory, after the results obtained from the Preliminary Modeling same as the results of laboratory tests so four-storey building structure modeling can be done. In modeling the four-storey building will be made of three models. The first model, called M1 is a model of an open framework that considers the wall as a load. The second model is called the M2 Model Frame with Full Infilled Wall is only modeling the wall without openings with shell elements, while the only openings are considered a load. The third model is called M3 Model Infilled Wall with Openings is to remodel all existing wall openings both with and without a shell elements. Based on the analysis we found that the deviation direction M1 larger x 67.274% than M2 and 67.444% than M3. As for the direction y showed that M1 larger 0.445% than M2 and 24.411% than M3. Compressive stress and shear occurring on the wall is allowable to strength of the wall, but for the tensile stress did not meet the requirements for tensile strength. Based on analysis also obtained if the moments and shear forces on the columns and beams for the structure without infilled wall produces greater value when compared with the structures modeled with a infilled wall. But for axial force in a column, structure with infilled wall produces greater value than the structure without infilled wall. In addition it is also known that the structure without infilled wall need more reinforcement than the modeled structure with the infilled wall.

Keywords: infilled wall, a wall with openings, shell element

PENDAHULUAN

Dinding Pengisi sering digunakan sebagai penyekat atau pemisah ruangan yang biasanya terbuat dari pasangan bata, batako, atau beton ringan. Dalam perencanaan struktur gedung dinding biasanya dianggap sebagai komponen non structural (dianggap sebagai beban). Pada kenyataannya dinding dapat berinteraksi dengan struktur yang ditempatinya yaitu pada saat ada beban gempa. Adanya bukaan (pintu dan jendela) pada dinding dapat mengurangi kekakuan dinding, sehingga mengurangi kemampuan dinding dalam memikul beban.

Penelitian tentang dinding pengisi dengan bukaan sudah banyak dilakukan salah satunya adalah Kakaletsis and Karayannis (2009) pada penelitian ini dibuat *specimens* dinding pengisi adanya konfigurasi bukaan pintu dan jendela pada struktur rangka beton bertulang satu tingkat. Berdasarkan latar belakang tersebut akan dilakukan penelitian tentang pengaruh dinding pengisi dengan bukaan pada struktur gedung empat lantai. Dalam penelitian ini dinding akan dimodel dengan *shell elemen* pada program SAP 2000v15 agar dapat memodel adanya bukaan pada dinding.

MATERI DAN METODE

Interaksi antara portal dan dinding dapat menimbulkan efek positif dan negatif. Efek positif yang ditimbulkan adalah meningkatnya kekakuan struktur terutama akibat beban lateral. Efek negatif yang ditimbulkan adalah apabila struktur lantai bawah yang memiliki dinding yang lebih sedikit dibandingkan dengan lantai di atasnya sehingga kekakuan lantai bawah lebih kecil dibandingkan dengan lantai di atasnya. Hal ini pada umumnya akan menimbulkan bahaya mekanisme soft storey (Kermani et.al.,2008). Pada penelitian Kakaletsis and Karayannis (2009) dibuat *specimens* dinding pengisi adanya konfigurasi bukaan pintu dan jendela pada struktur rangka beton bertulang satu tingkat. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kekakuan struktur RDP dengan bukaan adalah 1,57 hingga 1,99 kali dari *bare frame* sedangkan struktur RDP dengan dinding solid meningkatkan kekakuan 2,48 kali dari *bare frame*. Struktur RDP bukaan jendela dan pintu dengan lebar antara 25% sampai 50% dari panjang dinding pengisi menyebabkan pengurangan rata-rata 26,3% dan 30,3% terhadap kekakuan awal.

Dalam memodel struktur dalam sap 2000 ada beberapa elemen – elemen yang tersedia. Elemen – elemen yang ada pada program SAP 2000 diantaranya adalah elemen frame, elemen shell dan elemen gap. Berikut adalah penjelasan dari masing – masing elemen tersebut.

1. Elemen Frame

Dewobroto (2004) menjelaskan bahwa elemen frame pada SAP 2000 telah disiapkan untuk memodel struktur yang dapat diidealisasikan sebagai rangka (elemen garis atau elemen satu dimensi) dalam orientasi ruang/3D. degree of freedom (d.o.f) adalah jumlah derajat kebebasan suatu titik nodal untuk mengalami deformasi yang dapat berupa translasi (perpindahan) maupun rotasi (perputaran) terhadap tiga sumbu pada orientasi ruang/3D.

2. Elemen Shell

Dewobroto (2004) menjelaskan bahwa *elemen shell* dapat disederhanakan menjadi elemen membrane dan elemen pelat. Elemen membrane hanya memperhitungkan gaya – gaya sebidang atau momen drilling (momen yang berputar pada sumbu tegak lurus arah bidangnya). Sedangkan elemen pelat hanya memperhitungkan momen dan gaya transversal yang dihasilkan oleh gaya – gaya yang bekerja tegak lurus elemen bidang tersebut.

3. Elemen Gap

Dalam pemodelan struktur, pada program SAP 2000 menyediakan berbagai macam elemen – elemen penghubung yang dapat digunakan. Salah satu yang digunakan dalam penelitian ini adalah elemen gap. Elemen ini umumnya digunakan untuk menunjukkan hubungan antara dua elemen struktur yang berbeda dan menyalurkan hubungan gaya antar keduanya. Missal antara elemen frame dengan elemen shell. Elemen gap ini mempunyai kekakuan yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$K_i = E_i \times t \quad (1)$$

$$K_g = 0,0378 K_i + 347 \quad (2)$$

Pembeban pada struktur mengacu pada Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain Tahun 2013 (SNI 1727 : 2013) yakni :

1. Beban Vertikal

Beban vertikal adalah beban yang bekerja akibat gravitasi, beban vertikal ada dua yaitu beban mati dan beban hidup.

a. Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian – penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. Beban hidup ini dibagi menjadi dua yaitu beban hidup pada lantai dan beban hidup pada atap.

2. Beban Horisontal

Beban horizontal yang bekerja pada struktur ada dua yaitu beban angin dan beban gempa.

a. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan karena selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau.

b. Beban Gempa

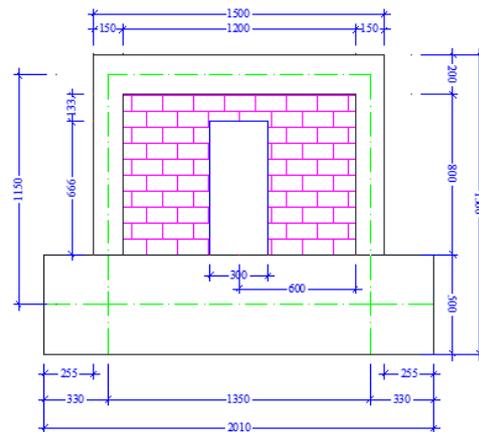
Pada penelitian ini beban gempa dihitung dengan fitur *Auto Lateral Load* yang ada pada program SAP 2000v15 yang parameternya disesuaikan dengan SNI 03 - 1726 - 2012. Parameter yang disesuaikan adalah faktor modifikasi respon (R) = 8 Omega (system overstrength) = 3, C_d = 5,5 untuk parameter system struktur beton bertulang rangka pemikul momen kusus. $I = 1$ untuk faktor keutamaan gedung. Parameter kategori desain seismic untuk wilayah Nusa Dua Bali adalah $S_s = 0,9$, $S_1 = 0,3$, dan kelas situs D. Dengan memasukan nilai - nilai tersebut maka beban gempa akan dihitung secara otomatis dengan perosedur perhitungan beban gempa static ekuivalen. Kombinasi pembebanan menurut SNI 03 - 2847 - 2012 adalah :

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (A \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L$
6. $1,2D + 1,0E_y + 0,3 E_x + L$
7. $0,9D + 1,0W$
8. $0,9D + 1,0 E_x + 0,3 E_y$
9. $0,9D + 1,0E_y + 0,3 E_x$

Tahap awal pemodelan struktur adalah pemodelan Model Awal yang dibandingkan dengan hasil eksperimen dari Kakaletsis and Karayannis (2009). Setelah hasil pemodelan Model Awal sama dengan hasil eksperimen maka akan dilanjutkan dengan pemodelan yang kedua yaitu pemodelan struktur gedung empat lantai yang akan dibuat sebanyak tiga model.

1. Pemodelan Model Awal

Pada pemodelan ini, geometri struktur yang digunakan sesuai dengan specimen dari Kakaletsis and Karayannis (2009), yaitu struktur rangka beton bertulang satu tingkat. Rincian desain untuk struktur rangka beton bertulang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Dimensi balok (100x200) mm dan kolom (150x150) mm. Diameter tulangan memanjang pada balok dan kolom $\varnothing 5.60$ mm, diameter tulangan memanjang pada balok bawah (*Base Beam*) $\varnothing 8$ mm, dan diameter sengkang $\varnothing 3$ mm.



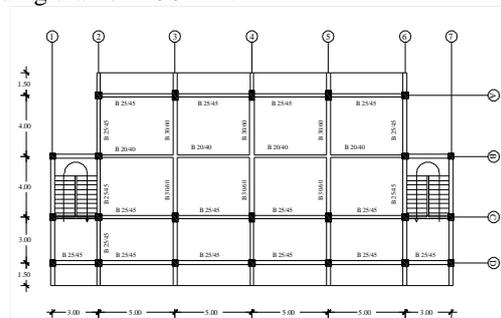
Gambar 1 Model Awal dengan Bukaan Pintu

2. Pemodelan Gedung Empat Lantai

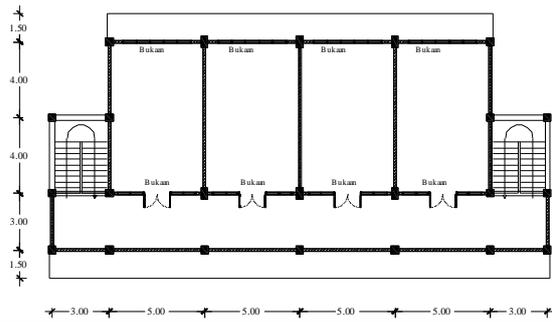
Dalam pemodelan ini akan dibuat tiga buah model yaitu :

- a. Model pertama atau M1 adalah model struktur rangka terbuka dengan menganggap dinding sebagai beban.
- b. Model kedua atau M2 adalah model struktur rangka dinding pengisi penuh yaitu dinding yang tanpa bukaan dimodel dengan *shell elemen* sedangkan yang terdapat bukaan dianggap sebagai beban.
- c. Model yang ketiga atau M3 adalah struktur rangka dinding pengisi dengan bukaan yaitu semua dinding yang ada dimodel dengan *shell elemen*.

Untuk menentukan dimensi struktur terlebih dahulu dilakukan estimasi dimensi. Perkiraan dimensi balok untuk portal arah X adalah $1/10L$ sampai $1/15L$. L yang dipakai adalah panjang bentang balok terpanjang yaitu 8 m. maka digunakan B 300/600. Sedangkan untuk portal arah Y digunakan dimensi balok 300/450 dan dimensi balok anak digunakan 200/400. Dan untuk dimensi kolom memakai dimensi 300/600 dan 400/400. Untuk tebal pelat lantai diambil 120 mm dan untuk pelat atap diambil 11 mm, sedangkan untuk tebal dinding diambil 150 mm.

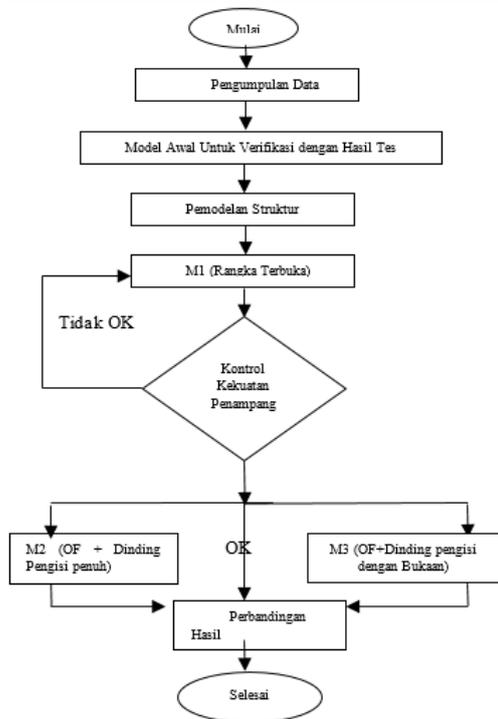


Gambar 2 Denah Struktur



Gambar 3 Denah Arsitektur

Secara garis besar langkah – langkah dalam penelitian ini dapat disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), seperti pada Gambar berikut.

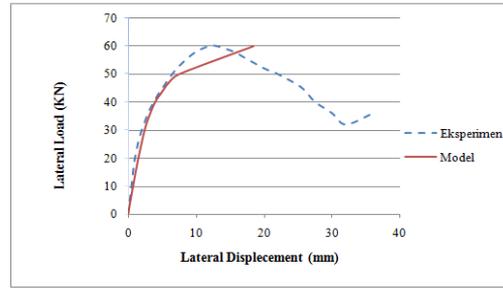


Gambar 4 Diagram Alir Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi Model SAP dengan Hasil Tes

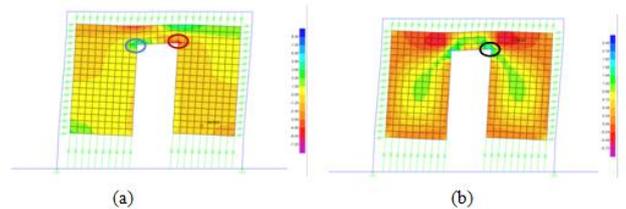
Model awal merupakan pemodelan struktur rangka beton bertulang satu tingkat dengan memodelkan adanya bukaan pintu pada dinding pengisi. Posisi bukaan terletak di tengah dengan lebar bukaan sebesar 25% dari panjang dinding. Dari analisis, diperoleh nilai deformasi yang disajikan pada Gambar 5 berupa grafik hubungan beban lateral dan deformasi. Hasil ini dibandingkan dengan hasil pengujian di laboratorium.



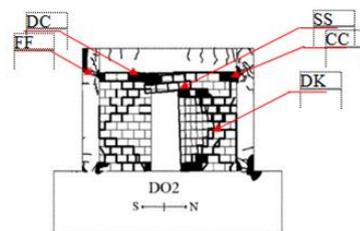
Gambar 5 Hubungan beban lateral dan deformasi antara Eksperimen dengan Model Awal.

Tegangan Yang Terjadi Pada Dinding Model Awal

Tegangan tarik maksimum terjadi pada sudut bagian kiri atas bukaan pintu, ditunjukkan pada lingkaran biru Gambar 6 (a) dengan nilai sebesar 5,55 N/mm². Untuk tegangan tekan maksimum terjadi pada sekitar sudut kanan atas bukaan pintu, ditunjukkan pada lingkaran merah Gambar 6 (a) dengan nilai sebesar 5,801 N/mm². Pada Gambar 4.3 (b) merupakan kontur tegangan geser yang terjadi pada Model Awal. Tegangan geser maksimum terjadi pada sekitar sudut atas bukaan bagian kanan, yang ditunjukkan pada lingkaran hitam dengan nilai sebesar 1,990 N/mm².



Gambar 6 (a) Tegangan S11 dan (b)Tegangan S12 pada beban lateral puncak Model Awal

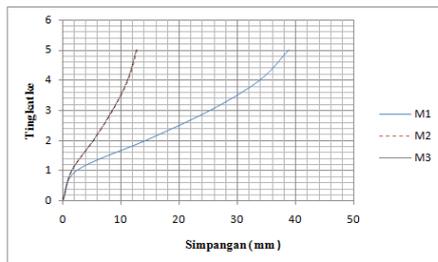


Gambar 7 Pola kegagalan yang terjadi pada Specimens Model Awal hasil pengujian.

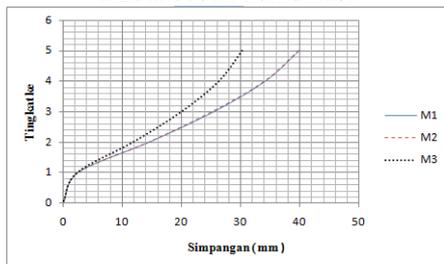
Pola kegagalan dari hasil pemodelan sama dengan pola kegagalan dari hasil eksperimen. Sehingga cara pemodelan yang digunakan untuk memodel Model Awal sudah bisa dipakai untuk memodel struktur gedung empat lantai. Namun jika pada Model Awal dimodel dengan analisis non linier, pada pemodelan struktur gedung empat lantai tidak menggunakan analisis non linier dan analisis konstruksi bertahap.

Simpangan Struktur

Setelah hasil Model SAP sudah mampu menirukan hasil tes di lab maka dilakukan pemodelan gedung sekolah empat lantai yaitu sebanyak tiga model. Untuk selanjutnya dibandingkan perilaku struktur dari ketiga model tersebut yaitu berupa simpangan, tegangan, gaya - gaya dalam dan keperluan tulangan pada balok dan kolom.



Gambar 8 Simpangan struktur arah x pada portal 4 akibat beban kombinasi



Gambar 9 Simpangan struktur arah y pada portal C akibat beban kombinasi

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9 pemodelan struktur gedung empat lantai diperoleh deformasi arah x yang terjadi pada bagian atas yang terbesar terjadi pada M1, lebih besar 67,274% lebih besar dari M2 dan 67,444% lebih besar dari M3. Untuk deformasi arah y yang terjadi pada bagian atas yang terbesar terjadi pada M1, lebih besar 0,445% dari M2 dan 24,411% dari M3.

Tegangan Pada Dinding Gedung Empat lantai Tegangan Tekan

Tegangan tekan yang terjadi pada dinding pengisi tidak boleh melebihi 0,85 *f_m*. Maka tegangan tekan ijin pada dinding adalah sebagai berikut.

$$f_x = 0,85 \cdot f_m$$

$$f_x = 0,85 \cdot 7 = 5,95 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 1 Tegangan Tekan Pada Dinding

Lt	Tegangan pada M2 (N/mm ²)	<i>f_x</i> (N/mm)	Ket	Tegangan pada M3 (N/mm ²)	<i>f_x</i> (N/mm)	Ket
1	0,705	5,95	Memenuhi	1,903	5,95	Memenuhi
2	0,587	5,95	Memenuhi	1,709	5,95	Memenuhi
3	0,459	5,95	Memenuhi	1,388	5,95	Memenuhi
4	0,273	5,95	Memenuhi	0,864	5,95	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 1 tegangan tekan yang terjadi pada dinding tidak melebihi tegangan tekan nominal, sehingga tegangan tekan pada dinding masih memenuhi persyaratan kuat tekan dinding.

Tegangan tarik

Kuat tarik dinding pengisi (*f_x*) adalah,

$$f_x = 10\%(\sqrt{7}) = 0,264 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 2 Tegangan Tarik Pada Dinding

Lt	Tegangan pada M2 (N/mm ²)	<i>f_x</i> (N/mm)	Ket	Tegangan pada M3 (N/mm ²)	<i>f_x</i> (N/mm)	Ket
1	0,647	0,264	Tidak Memenuhi	1,589	0,264	Tidak Memenuhi
2	0,568	0,264	Tidak Memenuhi	1,456	0,264	Tidak Memenuhi
3	0,443	0,264	Tidak Memenuhi	1,153	0,264	Tidak Memenuhi
4	0,268	0,264	Memenuhi	0,768	0,264	Tidak Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2 tegangan tarik yang terjadi pada dinding lebih besar daripada tegangan tarik nominal, sehingga tegangan tarik dinding tidak memenuhi persyaratan kuat tarik dinding.

Tegangan Geser

Kuat geser dinding pengisi (*f_v*) :

$$f_v = \frac{\sqrt{7}}{6} = 0,440 \text{ N/mm}^2$$

Maka kontrol tegangan geser yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$\frac{\tau_{xy}}{f_v} \leq 4$$

Tabel 3 Tegangan Geser pada Dinding

L1	Tegangan geser (τ_{xy}) pada M2	Kontrol		Tegangan geser (τ_{xy}) pada M3	Kontrol
		$\frac{\tau_{xy}}{f_v} \leq 4$	$\frac{\tau_{xy}}{f_v} \leq 4$		
1	1,566	3,56	Memenuhi	1,750	3,98
2	1,439	3,27	Memenuhi	1,546	3,51
3	1,140	2,59	Memenuhi	1,246	2,83
4	0,745	1,69	Memenuhi	0,807	1,83

Berdasarkan Tabel 3 tegangan geser yang terjadi pada dinding tidak melebihi persyaratan tegangan geser, sehingga tegangan geser pada dinding masih memenuhi persyaratan kuat geser dinding.

Perbandingan Momen, Geser dan Aksial pada Portal

Table 4 Momen pada kolom akibat beban kombinasi 1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L

Kolom	Momen (nmm)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
K1	22733721.40	90024398.66	90171083.74	60.40	60.34
K2	276597584.40	103690194.90	104103010.60	62.51	62.36
K3	308023632.30	118677046.40	119054438.90	61.47	61.35
K4	292415136.30	117268726.40	117498701.70	59.90	59.82
K5	256819925.00	12084403.00	11996201.00	52.95	53.29
K6	310607764.00	126576735.00	125989111.00	59.25	59.44
K7	380491851.00	149113578.00	148668910.00	60.81	60.93
K8	371521677.00	145696559.00	102418256.50	60.78	72.43
K9	39578810.00	22783092.10	21598780.30	42.44	45.43
K10	72290765.89	28935519.40	28237694.60	59.97	60.94
K11	102898327.90	34673696.66	35241693.73	66.30	65.75
K12	120984628.00	36676730.03	36998293.71	69.68	69.42
	Rata - rata			59.71	60.96

Berdasarkan Tabel 4 diketahui jika momen yang terjadi pada kolom Model 1 lebih besar rata –rata 59,71% daripada momen yang terjadi pada model 2, dan lebih besar rata – rata 60,96% daripada Model 3. Hal ini menunjukkan bahwa adanya dinding pada portal dapat mengurangi momen yang terjadi pada kolom.

Table 5 Gaya Geser pada kolom akibat beban kombinasi 1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L

Kolom	Geser (N)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
K1	96880.80	51642.80	51598.97	46.69	46.74
K2	123293.06	67934.14	67925.02	44.90	44.91
K3	146837.19	84722.27	84675.42	42.30	42.33
K4	142802.32	80156.49	80098.36	43.87	43.91
K5	116543.74	69427.53	69412.21	40.43	40.44
K6	145103.51	81527.20	81436.15	43.81	43.88
K7	185243.89	99664.49	99612.96	46.20	46.23
K8	178169.50	93533.78	93512.15	47.50	47.52
K9	17723.13	10451.39	9875.97	41.03	44.28
K10	34169.34	12612.38	12518.18	63.09	63.36
K11	51061.84	17317.58	17283.74	66.09	66.15
K12	59600.17	16883.44	16773.83	71.67	71.86
	Rata - rata			49.80	50.13

Berdasarkan Tabel 5 diketahui jika gaya geser yang terjadi pada kolom Model 1 lebih besar rata –

rata 49,80% daripada model 2, dan 50,13% daripada Model 3.

Table 6 Aksial pada kolom akibat beban kombinasi 1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L

Kolom	Aksial (N)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
105	258644.06	284008.34	288888.50	-9.81	-11.69
106	711383.02	758765.61	751214.55	-6.66	-5.60
107	1184575.98	1281866.17	1261256.47	-8.21	-6.47
108	1668629.78	1845539.24	1808708.61	-10.60	-8.39
110	247209.53	268453.63	272891.81	-8.59	-10.39
111	689939.07	696309.38	691580.16	-0.92	-0.24
112	1137886.36	1157934.47	1144410.25	-1.76	-0.57
113	1594278.56	1655206.85	1629764.75	-3.82	-2.23
115	154888.22	150569.84	149543.76	2.79	3.45
116	402611.37	370189.92	367468.61	8.05	8.73
117	688181.93	597282.74	593112.76	13.21	13.81
118	998122.01	825671.72	820526.52	17.28	17.79
	Rata - rata			-0.75	-0.15

Berdasarkan Tabel 6 diketahui jika aksial yang terjadi pada kolom Model 1 justru lebih kecil rata – rata 0,75% daripada gaya aksial yang terjadi pada model 2, dan lebih kecil rata – rata 0,15% daripada Model 3.

Table 7 Momen pada balok akibat beban kombinasi 1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L

Balok	Momen (Nmm)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
Lantai 1					
B1	28698469.40	29882515.60	28492072.40	-4.13	0.72
B2	558259119.00	245566706.00	244216057.00	56.01	56.25
B3	235877798.00	80696960.00	80213927.00	65.79	65.99
B4	33082871.00	31135861.80	31341453.50	5.89	5.26
Lantai 2					
B5	27748409.80	29949937.40	28577207.80	-7.93	-2.99
B6	514565795.00	221667174.00	220596597.00	56.92	57.13
B7	178593611.00	77019944.00	76012300.00	56.87	57.44
B8	31640592.00	31049284.80	31264271.50	1.87	1.19
Lantai 3					
B9	27720753.10	29994535.00	28629930.50	-8.20	-3.28
B10	433216419.00	182900827.00	181892617.00	57.78	58.01
B11	110508211.00	67460584.00	66180642.00	38.95	40.11
B12	31067341.40	30901051.60	31121958.90	0.54	-0.18
Lantai 4					
B13	20013113.50	20567605.50	20184966.40	-2.77	-0.86
B14	233872798.00	104520455.00	104177088.00	55.31	55.46
B15	55753449.00	40968785.00	40144042.00	26.52	28.00
B16	21599994.80	21592546.20	21668902.70	0.03	-0.32
	Rata - rata			24.97	26.12

Berdasarkan Tabel 7 diketahui jika momen yang terjadi pada balok Model 1 lebih besar rata –rata 24,97% daripada model 2, dan 26,12% daripada Model 3.

Table 8 gaya geser pada balok akibat beban kombinasi 1,2D + 1,0E_x + 0,3 E_y + L

Balok	Geser (N)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
Lantai 1					
B1	28462.45	29092.03	27255.90	-2.21	4.24
B2	258272.51	205145.18	203653.97	20.57	21.15
B3	153681.22	64051.02	63378.96	58.32	58.76
B4	32367.60	29910.46	30108.13	7.59	6.98
Lantai 2					
B5	27500.18	29167.93	27358.12	-6.06	0.52
B6	246367.97	185041.59	183838.76	24.89	25.38
B7	119722.87	62564.02	61524.20	47.74	48.61
B8	30926.12	29829.00	30035.51	3.55	2.88
Lantai 3					

B9	26903.66	29212.33	27411.25	-8.58	-1.89
B10	226559.94	156843.16	155724.73	30.77	31.27
B11	80309.14	56142.45	54900.80	30.09	31.64
B12	29834.20	29681.98	29894.30	0.51	-0.20
Lantai 4					
B13	19613.14	20192.91	19683.56	-2.96	-0.36
B14	127793.10	84269.66	83890.70	34.06	34.35
B15	38655.56	34587.49	33773.13	10.52	12.63
B16	21182.92	21181.72	21254.95	0.01	-0.34
Rata - rata				14.64	16.19

Berdasarkan Tabel 8 diketahui jika gaya geser yang terjadi pada balok Model 1 lebih besar rata – rata 14,64% daripada model 2 dan 16,19% daripada Model 3.

Perbandingan Luas Tulangan pada Portal

Tabel 9 Rekapitulasi Luas Tulangan Longitudinal pada Kolom Struktur M1, M2 dan M3

Kolom	Tulangan Longitudinal (mm ²)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
K1	2624.68	2275.00	2275.00	13.32	13.32
K2	2275.00	2275.00	2275.00	0.00	0.00
K3	3349.75	2275.00	2275.00	32.08	32.08
K4	4014.21	2275.00	2275.00	43.33	43.33
K5	3360.84	2275.00	2275.00	32.31	32.31
K6	3221.57	2275.00	2275.00	29.38	29.38
K7	4358.43	2275.00	2275.00	47.80	47.80
K8	4861.78	2275.00	2275.00	53.21	53.21
K9	1600.00	1600.00	1600.00	0.00	0.00
K10	1752.16	1632.29	1600.00	6.84	8.68
K11	2405.60	2071.10	1600.00	13.90	33.49
K12	2909.05	2217.18	1600.00	23.78	45.00
Rata - rata				24.66	28.22

Berdasarkan hasil analisis didapatkan luas tulangan kolom M1 lebih besar 24,66% dari M2 dan 28,22% terhadap M3. Berikut ini disajikan rekapitulasi luas tulangan pada kolom.

Tabel 10 Rekapitulasi Luas Tulangan Transversal pada Kolom Struktur M1, M2 dan M3

Kolom	Tulangan Transversal (mm ² /m)			Rasio antara M1 & M2	Rasio antara M1 & M3
	M1	M2	M3		
K1	1593.00	1543.00	1233.00	3.14	22.60
K2	1539.00	1391.00	1001.00	9.62	34.96
K3	934.00	934.00	934.00	0.00	0.00
K4	934.00	934.00	934.00	0.00	0.00
K5	1610.00	1525.00	1246.00	5.28	22.61
K6	934.00	934.00	934.00	0.00	0.00
K7	934.00	934.00	934.00	0.00	0.00
K8	934.00	934.00	934.00	0.00	0.00
K9	1012.00	1007.00	1006.00	0.49	0.59
K10	1061.00	1059.00	907.00	0.19	14.51
K11	1201.00	575.00	575.00	52.12	52.12
K12	1312.00	575.00	575.00	56.17	56.17
Rata - rata				10.58	16.96

Berdasarkan Tabel 10 diketahui jika kebutuhan luas tulangan transversal pada kolom portal tanpa pemodelan dinding pengisi cenderung lebih besar dari kebutuhan luas tulangan transversal kolom portal pada M2 sebesar 10,58% dan M3 sebesar 16,96%.

Tabel 11 Rekapitulasi Luas Tulangan Longitudinal pada Balok Struktur M1, M2 dan M3

Balok	Tulangan Longitudinal (mm ²)			Rasio antara M1 & M2 (%)	Rasio antara M1 & M3 (%)
	M1	M2	M3		
B1	292.33	304.55	290.20	-4.18	0.73
B2	3646.69	1474.48	1465.90	59.57	59.80
B3	1998.37	630.84	626.92	68.43	68.63

B4	337.62	317.49	319.61	5.96	5.33
B5	282.54	305.24	291.08	-8.04	-3.02
B6	3317.02	1323.55	1316.83	60.10	60.30
B7	1465.21	601.08	594.67	58.98	59.41
B8	322.71	316.59	318.82	1.89	1.21
B9	282.25	305.70	291.62	-8.31	-3.32
B10	2728.49	1082.42	1076.21	60.33	60.56
B11	876.02	594.67	594.67	32.12	32.12
B12	316.78	315.06	317.35	0.54	-0.18
B13	203.11	208.79	204.87	-2.80	-0.87
B14	1400.43	810.65	807.92	42.11	42.31
B15	574.64	419.53	410.94	26.99	28.49
B16	219.36	219.28	220.07	0.03	-0.32
Rata - rata				27.28	28.46

Berdasarkan Tabel 11 diketahui jika luas tulangan longitudinal yang diperlukan pada portal tanpa dinding pengisi M1 lebih besar jika dibandingkan dengan luas tulangan longitudinal yang diperlukan pada M2 yaitu sebesar 27,28% dan lebih besar 28,46% dibandingkan dengan M3.

Tabel 12 Rekapitulasi Luas Tulangan Transversal pada Balok Struktur M1, M2 dan M3

Balok	Tulangan Transversal (mm ² /m)			Rasio antara M1 & M2	Rasio antara M1 & M3
	M1	M2	M3		
345	727.00	768.00	726.00	-5.64	0.14
123	2292.00	1819.00	1809.00	20.64	21.07
132	2532.00	1152.00	1143.00	54.50	54.86
133	826.00	793.00	798.00	4.00	3.39
98	711.00	770.00	728.00	-8.30	-2.39
122	2199.00	896.00	882.00	59.25	59.89
130	1927.00	1149.00	1131.00	40.37	41.31
131	803.00	790.00	796.00	1.62	0.87
30	712.00	771.00	730.00	-8.29	-2.53
121	1461.00	575.00	562.00	60.64	61.53
128	1348.00	1094.00	1076.00	18.84	20.18
129	791.00	786.00	792.00	0.63	-0.13
125	527.00	542.00	530.00	-2.85	-0.57
120	503.00	503.00	503.00	0.00	0.00
126	810.00	697.00	677.00	13.95	16.42
127	569.00	569.00	571.00	0.00	-0.35
Rata - rata				19.86	21.52

Berdasarkan Tabel 12 diketahui jika luas tulangan transversal yang diperlukan pada portal tanpa dinding pengisi M1 lebih besar jika dibandingkan dengan luas tulangan transversal yang diperlukan pada M2 yaitu sebesar 19,86% dan lebih besar 21,52% dibandingkan dengan M3.

**PENUTUP
Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis terhadap model struktur dengan dan tanpa dinding pengisi dapat dijabarkan kesimpulannya sebagai berikut :

1. Tegangan tekan dan geser yang terjadi pada dinding masih memenuhi persyaratan, sedangkan untuk tegangan tarik pada dinding yang terjadi lebih besar dari tegangan tarik nominal.
2. Dari hasil analisis didapatkan momen kolom M1 lebih besar dari momen M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 59,71% dan 60,96%. Gaya geser kolom M1 lebih besar daripada gaya

geser M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 49,80% dan 50,13%. Sedangkan gaya aksial yang terjadi pada kolom M1 lebih kecil daripada gaya aksial yang terjadi pada M2 dan M3 dengan ratio rata – rata berturut – turut 0,75% dan 0,15%. Sedangkan pada balok momen yang terjadi pada M1 lebih besar daripada momen yang terjadi pada M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 24,97% dan 26,12%. Gaya geser balok M1 lebih besar daripada gaya geser yang terjadi pada M2 dan M3 dengan rasio berturut – turut 14,64% dan 16,19%.

3. Berdasarkan hasil analisis diketahui jika kebutuhan tulangan longitudinal kolom M1 lebih besar daripada kebutuhan tulangan longitudinal M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 24,66% dan 28,22%. Dan kebutuhan tulangan transversal pada kolom M1 lebih besar daripada kebutuhan tulangan transversal M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 10,58% dan 16,96%. Sedangkan pada balok kebutuhan tulangan longitudinal M1 lebih besar daripada M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 27,28% dan 28,46%. Dan kebutuhan tulangan transversal balok M1 lebih besar daripada M2 dan M3 dengan rasio rata – rata berturut – turut 19,86% dan 21,52%.

Saran

1. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka dapat disarankan jika perlunya pengaruh dinding pengisi diperhitungkan dalam perencanaan struktur suatu bangunan, karena dinding pengisi terbukti memberikan pengaruh terhadap kekakuan maupun kebutuhan tulangan dari komponen struktur.

Kermani, et.al. 2008. *The Behaviour of RC Frames with Masonry Infill in Wenchuan Earthquake*. Dept of Civil and Environmental Engineering, The University of Melbourne, VIC 3010, Australia.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedungdan Non Gedung (SNI 1726 : 2012)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 20013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727 : 2013)*. Jakarta: BSN.
- Dewobroto. W. 2004. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 200 Edisi Baru*, Alex Media Komputindo, Jakarta
- Kakaletsis, D.J. and Karayannis, C.G. 2009. Experimental Investigation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Openings. *ACI Structural Journal*. Title no. 106-S14, April 2009.