

Studi Tingkat Kerentanan *Non-Engineered Building* Menggunakan Dinding Pasangan Bata Merah Setengah Batu

Study of Non-Engineered Building Vulnerability Levels Using Red Brick Half Stone Masonry Walls

Resa Rosliati, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Bangunan rumah sederhana merupakan bangunan *non-engineered* yang memiliki fungsi penting sebagai tempat hunian. Perencanaan struktur bangunan *non-engineered* ini harus memperhatikan berbagai aspek, diantaranya pembebanan dan beban gempa. Bangunan ini seringkali dirancang dengan perhitungan seadanya bahkan material yang digunakan tidak sesuai standar. Maka dari itu, dilakukan pemodelan untuk mengetahui kerentanan bangunan rumah sederhana apabila terjadi gempa bumi. Bangunan yang dimodelkan terdiri dari penampang persegi dan penampang L, juga dinding yang dimodelkan terdiri dari dinding penuh, dinding dengan bukaan pintu, dinding dengan bukaan pintu dan jendela. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* STERA 3D untuk memodelkan bangunan *non-engineered* yang meliputi balok dan kolom dan *software* STERA FEM untuk memodelkan dinding. Pemodelan digunakan untuk menganalisis kekakuan geser bangunan, percepatan gempa, dan defleksi dinding apabila menerima beban. Pembebanan dalam penelitian ini menggunakan beban mati dan beban gempa dengan metode *time history*. Hasil dari pemodelan berupa kekakuan geser terbesar dari bangunan rumah sederhana dengan penampang persegi yang mencapai 35 kN/cm. Percepatan tanah maksimum yang dihasilkan yaitu 8,7227 m/s². Defleksi dinding terbesar terjadi pada beban 20 kN dengan nilai defleksi 58,83 mm pada dinding dengan bukaan pintu dan jendela. Nilai defleksi yang tinggi diakibatkan karena pengaruh lebar bukaan pada dinding dan beban yang diberikan pada dinding.

Kata-kata kunci : bangunan rumah sederhana, defleksi, kekakuan, dan percepatan gempa.

Abstract. Simple house-building is a non-engineered building, it has an important function as a residential place. The plan of the structure of non-engineered building has a various aspects, like loading and earthquake loads. Often this building is designed with a minimum calculation of even material with low quality. So, modeling is carried out to determine the vulnerability of simple house-buildings in case of an earthquake. The building consist of a square cross section and L cross section, also the modeled wall consist of a full infills, door openings infills, door and window openings infills. Needs modeling with STERA 3D software to model non-engineered buildings which beams and columns include it, whereas STERA FEM software to model the walls. Modelling is used to analyze the shear stiffness of buildings, acceleration of its earthquake, and deflection of a wall when receive a load. This study using dead load and earthquake load with time history method. The largest of shear stiffness results in the modeling of a simple house building is a square cross section that reaches 35 kN/mm. The peak ground acceleration produced is 0,7951 m/s². The largest wall deflection reaches when its load is 20 kN with a deflection value 58,83 mm on the door and window openings infills. The high deflection value is caused by the influence of the width of the openings on the wall and the load given to the wall.

Keywords: deflection, earthquake acceleration, simple house-building, and stiffness.

1. Pendahuluan

Bangunan rumah sederhana merupakan bangunan *non-engineered building* yang memiliki fungsi penting sebagai tempat hunian. Bangunan tipe ini seringkali dirancang dengan perhitungan seadanya, bahkan material yang digunakan tidak sesuai standar.

Perencanaan struktur bangunan ini harus memperhatikan terkait pembebanan dan beban gempa, agar terbentuk bangunan yang baik dalam aspek keselamatan. Keselamatan struktur suatu bangunan salah satunya diukur dari kekuatan dalam menerima beban-beban yang bekerja. Oleh sebab itu, untuk

memberikan gambaran mengenai kekuatan dan kerentanan bangunan rumah sederhana, dilakukan pemodelan bangunan rumah sederhana dengan menggunakan *software*.

Kokrmaz dkk. (2018) melakukan penelitian tentang kerentanan seismik bangunan dan mengevaluasi kinerja bangunan yang menghasilkan kurva pushover yang menggambarkan hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan. Avila dkk. (2018) melakukan penelitian tentang penilaian seismik struktur dinding untuk bangunan perumahan yang menghasilkan data percepatan tanah. Catellazzi dkk. (2017) melakukan penelitian pemodelan numerik struktur bangunan monumental bersejarah dan menghasilkan pola retakan, juga kerentanan bangunan akibat gempa. Castori dkk. (2017) melakukan penelitian tentang kerentanan seismik bangunan monumental. Akcay dkk. (2016) melakukan penelitian tentang pendekatan numerik struktur bangunan bersejarah dan menghasilkan retakan struktural pada bangunan, juga metode yang digunakan untuk memperbaiki retakan tersebut.

Baghi dkk. (2018) melakukan penelitian tentang perilaku rangka beton bertulang dengan dinding pengisi bata dan dihasilkan bahwa dinding pengisi dapat meningkatkan kekakuan. Siano dkk. (2018) melakukan penelitian tentang investigasi numerik model rangka untuk dinding pengisi. Penava dkk. (2018) melakukan penelitian tentang kontribusi kolom beton bertulang dan dinding pasangan bata terhadap tahanan geser. Furtado dkk. (2018) melakukan penelitian tentang prediksi respon gempa untuk menganalisis kekakuan dan kekuatan dinding pengisi bata, yang menghasilkan kerusakan, keruntuhan, dan kekakuan dinding. Noh dkk. (2017) melakukan penelitian tentang pemodelan dinding pengisi beton bertulang akibat beban siklik. Yuen dan Kuang (2015) melakukan penelitian tentang respon gempa terhadap rangka beton bertulang dengan konfigurasi dinding yang berbeda

Penelitian ini terdapat beberapa elemen struktur bangunan yang ditinjau diantaranya balok, kolom, dan dinding untuk menganalisis perbandingan antara penampang persegi dan penampang L, serta nilai defleksi dari tipe

dinding dalam pemodelan. Metode yang digunakan yaitu metode elemen hingga (FEM) dengan *software* STERA 3D dan STERA FEM.

2. Bangunan Rumah Sederhana

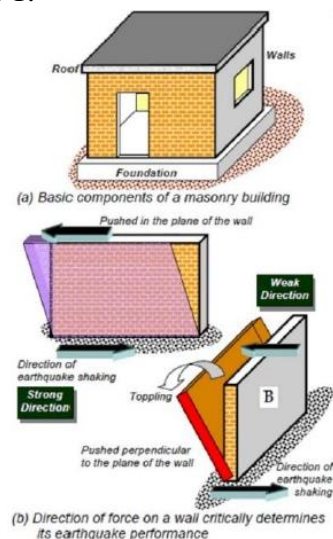
Bangunan rumah sederhana termasuk *non-engineered building* yang termasuk bangunan rumah tinggal yang dibangun oleh pemilik menggunakan tukang, bahan bangunan yang diperoleh setempat, dan tanpa bantuan arsitek maupun ahli struktur.

Prayuda dan Cahyati (2016) menyatakan bahwa perencanaan bangunan rumah sederhana pada umumnya berdasarkan pada:

- mempelajari kerusakan bangunan dari gempa masa lalu,
- menggunakan *engineering judgment* yang terlatih, dan
- menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak.

3. Perilaku Dinding Akibat Gempa

Prayuda dan Cahyati (2016) menyatakan bahwa getaran tanah yang terjadi pada saat gempa bumi menyebabkan gaya inersia pada pusat masa struktur yang terdistribusi dari atap sampai fondasi bangunan. Dinding merupakan elemen yang paling mudah mengalami kerusakan pada saat gempa bumi. Perilaku beban gempa pada dinding dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Perilaku beban gempa pada pasangan dinding (Murty, 2003 dalam Prayuda dan Cahyati, 2016)

4. Kekakuan

Kekakuan elastik didefinisikan sebagai

kemiringan kurva beban simpangan pada beban saat $0,4P_{peak}$ yang digunakan untuk menentukan dan mengetahui bagian elastis kurva, juga untuk menentukan parameter seperti daktilitas, P_{yield} , dan Δ_{yield} . Kekakuan elastik menggunakan persamaan berikut ini.

$$K_e = \frac{0,4P_{peak}}{\Delta_{0,4P_{peak}}} \quad (1)$$

dengan:

K_e = kekakuan elastik (kN/mm),
 P_{peak} = beban pada saat $0,4P_{peak}$, dan
 ΔP_{peak} = simpangan pada saat beban $0,4P_{peak}$.

5. Percepatan Gempa

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah. Semakin besar nilai percepatan maka semakin besar pula risiko yang terjadi. Pengukuran nilai percepatan tanah ini dilakukan secara empiris dengan pendekatan dari beberapa rumus yang diturunkan dari magnitudo gempa atau data intensitas.

Percepatan tanah maksimum adalah nilai percepatan terbesar pada permukaan yang pernah terjadi di suatu wilayah dalam periode tertentu.

6. Finite Element Method

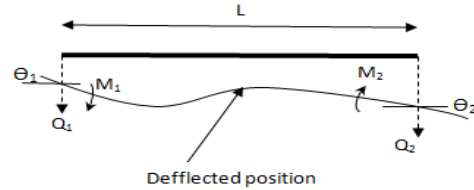
$$\begin{pmatrix} \vdots \\ -M_i(\ddot{u}_{xi} + \ddot{X}_0) \\ -M_i(\ddot{u}_{yi} + \ddot{Y}_0) \\ -M_i(\ddot{u}_{zi} + \ddot{Z}_0) \\ -I_i\ddot{\theta}_{xi} \\ -I_i\ddot{\theta}_{yi} \\ -I_i\ddot{\theta}_{zi} \\ \vdots \end{pmatrix} = -[M] \begin{pmatrix} \vdots \\ \ddot{u}_{xi} \\ \ddot{u}_{yi} \\ \ddot{\delta}_{zi} \\ \ddot{\theta}_{xi} \\ \ddot{\theta}_{yi} \\ \ddot{\theta}_{zi} \\ \vdots \end{pmatrix} - [M] \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{X}_0 \\ \ddot{Y}_0 \\ \ddot{Z}_0 \end{pmatrix} = -[M] \begin{pmatrix} \vdots \\ \ddot{u}_{xi} \\ \ddot{u}_{yi} \\ \ddot{\delta}_{zi} \\ \ddot{\theta}_{xi} \\ \ddot{\theta}_{yi} \\ \ddot{\theta}_{zi} \\ \vdots \end{pmatrix} - [M][U] \begin{pmatrix} \ddot{X}_0 \\ \ddot{Y}_0 \\ \ddot{Z}_0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

7. Metode Penelitian

Materi penelitian ini adalah bangunan rumah sederhana dengan penampang persegi dan penampang bentuk L dengan luas 36 m^2 dengan struktur yang ditinjau yaitu balok, kolom, dan dinding. Dinding menggunakan tipe dinding penuh, dinding dengan bukaan pintu, juga dinding dengan bukaan pintu dan jendela.

Pemodelan pada penelitian ini menggunakan *software* STERA 3D untuk

Sutresman dan Tjandinegara (2013) menyatakan bahwa balok adalah elemen struktur yang menerima beban utama berupa gaya geser dan momen lentur, sehingga perpindahan utamanya adalah defleksi yang tegak lurus sumbu balok dan perpindahan sudut yang sebidang dengan momen lentur, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Elemen balok dengan titik nodal (Sutresman dan Tjandinegara, 2013)

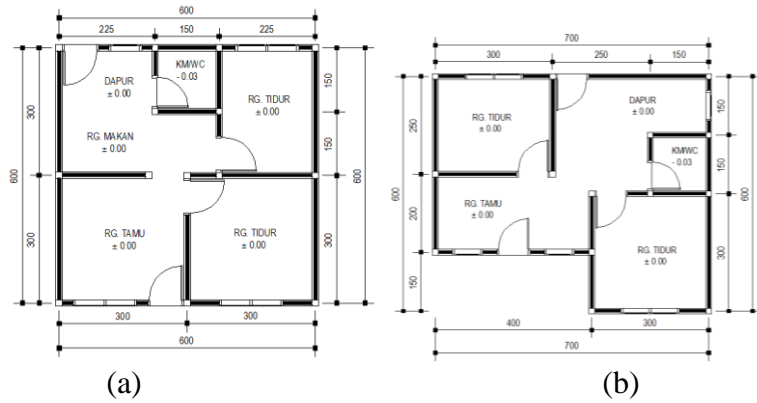
Matriks kekakuan yang menghubungkan vektor perpindahan dan vektor gaya yaitu sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ M_1 \\ Q_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Gempa bumi memiliki tiga komponen percepatan yaitu \ddot{X}_0 , \ddot{Y}_0 , dan \ddot{Z}_0 pada arah X, Y, dan Z. Gaya inersia pada nodal i didefinisikan pada matriks berikut ini.

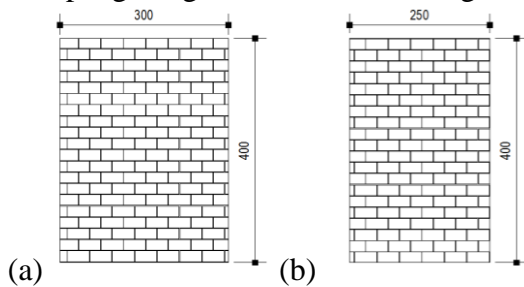
menganalisis balok dan kolom, juga *software* STERA FEM untuk menganalisis dinding. Aspek yang ditinjau meliputi kekakuan geser bangunan, percepatan gempa, dan defleksi dinding. Pembebanan pada pemodelan ini yaitu beban mati dan beban gempa.

Benda uji yang digunakan yaitu bangunan rumah sederhana dengan penampang persegi dan penampang bentuk L yang memiliki denah seperti pada Gambar 3.

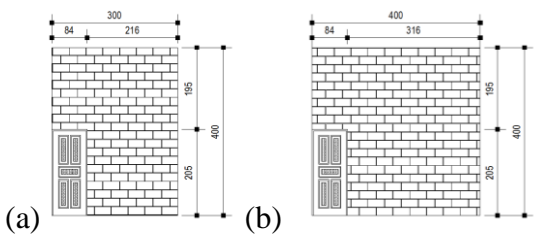


Gambar 3 Denah bangunan dengan (a) penampang persegi; (b) penampang bentuk L dalam satuan cm

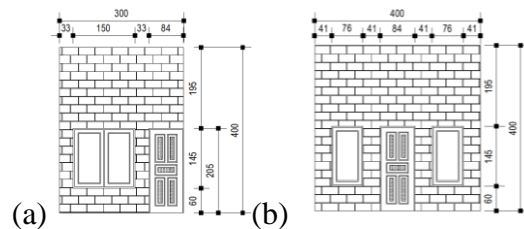
Tipe dinding yang dimodelkan yaitu pada Gambar 4 sampai Gambar 6. Dimensi struktur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi balok dan kolom mencakup $b \times h$, sedangkan dimensi dinding mencakup ketebalan dinding, tinggi, dan lebar dari masing-masing struktur menyesuaikan bentuk penampang bangunan atau denah bangunan.



Gambar 4 Dinding penuh untuk (a) penampang persegi; (b) penampang bentuk L dalam satuan cm



Gambar 5 Dinding dengan bukaan pintu untuk (a) penampang persegi; (b) penampang bentuk L dalam satuan cm



Gambar 6 Dinding dengan bukaan pintu dan jendela untuk (a) penampang persegi; (b) penampang bentuk L dalam satuan cm

Tabel 1 Dimensi struktur

Struktur	Dimensi (mm)
Balok	150×150
Kolom*	150×150
Dinding	100

*Keterangan: ketinggian kolom 4 m

Material properties yang digunakan pada pemodelan balok dan kolom dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan yang digunakan pada pemodelan dinding dengan pasangan bata merah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2 *Material properties* balok dan kolom

Parameter	Balok	Kolom
Kuat tekan beton (MPa)	24	24

Tabel 3 *Material properties* bata merah (Leksono dkk., 2012; Pukhkal dan Murgul, 2017)

Parameter	Nilai
Modulus elastisitas (MPa)	2237,5
Poisson ratio	0,15
Kerapatan (kg/m^3)	1700

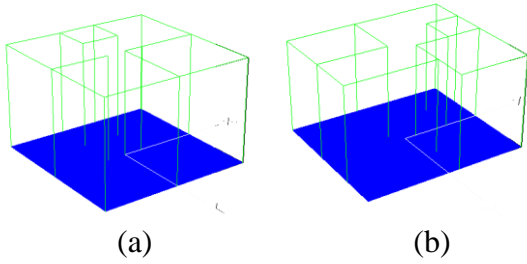
Data gempa yang digunakan data gempa Kobe yang terjadi di Kobe, Jepang pada tahun 1995 yang berkekuatan 6,9 SR magnitudo dengan kedalaman 7,1 km dari pusat gempa dengan periode gempa 20 detik dan dan bangunan terletak 30 km dari pusat gempa.

8. Hasil dan Pembahasan

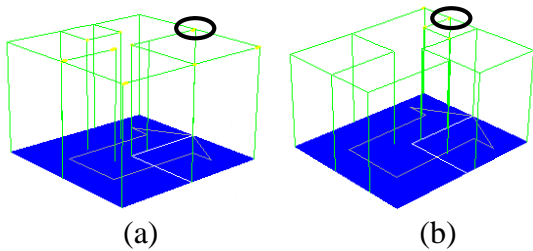
Hasil Analisis Non-Engineered Building

Hasil pemodelan struktur balok dan kolom pada penampang persegi dan penampang bentuk L dapat dilihat pada Gambar 7. Kerusakan pada pemodelan dengan penampang persegi dan penampang bentuk L dapat dilihat pada Gambar 8 dengan bagian yang pertama kali rusak yaitu yang

dilingkari dengan warna hitam. Kerusakan tersebut terjadi ditandai dengan warna kuning, artinya kerusakannya sedang dengan daktilitas <math>< 5</math>.



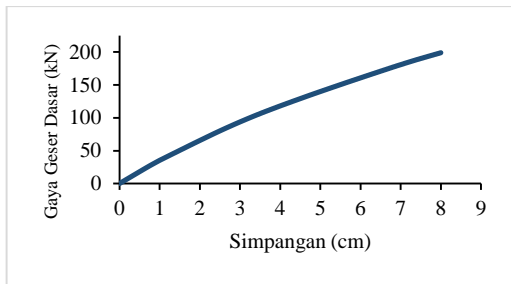
Gambar 7 Hasil pemodelan untuk penampang (a) persegi; (b) L



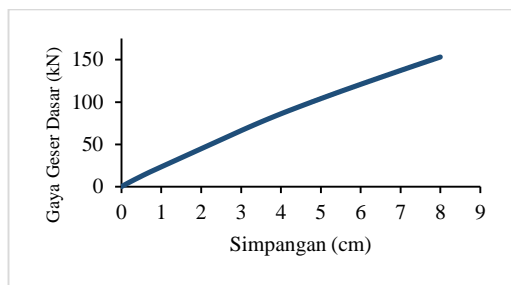
Gambar 8 Kerusakan untuk penampang (a) persegi; (b) L

Kekakuan Geser

Besaran gaya geser dasar yang terjadi pada bangunan berbanding lurus dengan kekakuan bangunan. Kekakuan geser bangunan maksimum pada bangunan dengan penampang persegi mencapai 35 kN/cm pada Gambar 9, sedangkan kekakuan geser bangunan maksimum pada bangunan dengan penampang bentuk L mencapai 25 kN/cm pada Gambar 10.



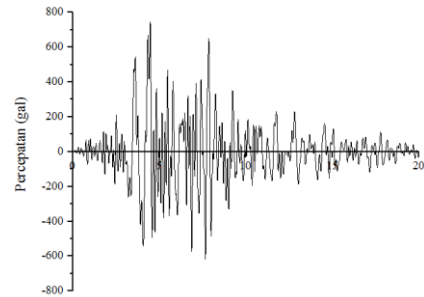
Gambar 9 Hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan untuk penampang persegi



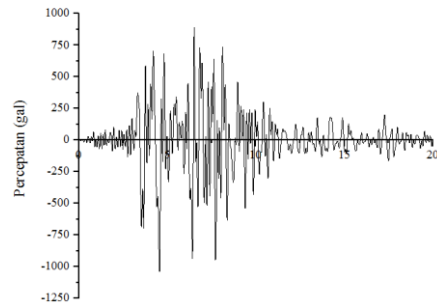
Gambar 10 Hubungan antara gaya geser dasar dan simpangan untuk penampang bentuk L

Percepatan Gempa

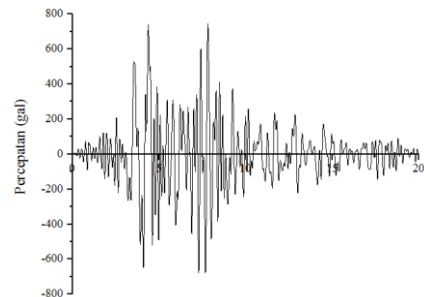
Berdasarkan data gempa Kobe didapatkan nilai percepatan maksimum (PGA) yaitu 79,52 gal atau 0,7951 m/s². Gambar 11 sampai Gambar 14 merupakan hubungan antara percepatan dan waktu sebagai hasil *output* dinamik dari pemodelan.



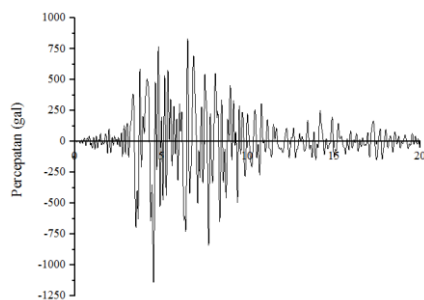
Gambar 11 Hubungan antara percepatan dan waktu untuk penampang persegi arah X



Gambar 12 Hubungan antara percepatan dan waktu untuk penampang persegi arah Y



Gambar 13 Hubungan antara percepatan dan waktu untuk penampang bentuk L arah X



Gambar 14 Hubungan antara percepatan dan waktu untuk penampang bentuk L arah Y

Berdasarkan grafik hubungan waktu dengan percepatan dapat diketahui percepatan gempa tiap satuan waktu pada arah X dan arah Y, juga dapat mengetahui percepatan maksimum gempa yang dapat dilihat pada Tabel x.

Tabel 4 Nilai percepatan maksimum pada tiap penampang bangunan

Waktu (sekon)	Percepatan (gal)			
	Penampang persegi		Penampang L	
	X	Y	X	Y
4,48	746,3			
6,52		887,2		
7,82			745,5	
6,54				835,9

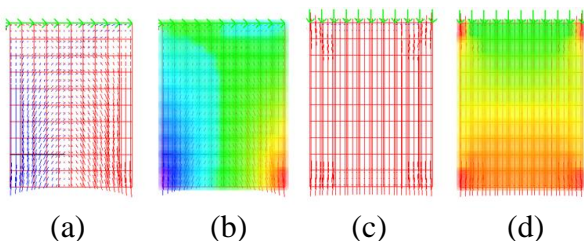
Hasil Analisis Dinding untuk Penampang Persegi

Hasil dari analisis dinding menghasilkan nilai defleksi dan pola keruntuhan. Tabel 5 menjelaskan defleksi dinding pada saat pertama kali retak beserta beban yang diterima dinding.

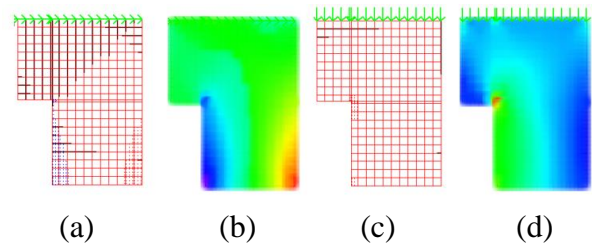
Tabel 5 Nilai defleksi pada saat pertama kali retak

Beban (kN)	Defleksi (mm)					
	Dinding Penuh		Dinding dengan Bukaan Pintu		Dinding dengan Bukaan Pintu dan Jendela	
	X	Y	X	Y	X	Y
0,3	0,17					
27,5		1,90				
0,2			0,23			
1				0,57		
0,05					0,35	
1,1						0,69

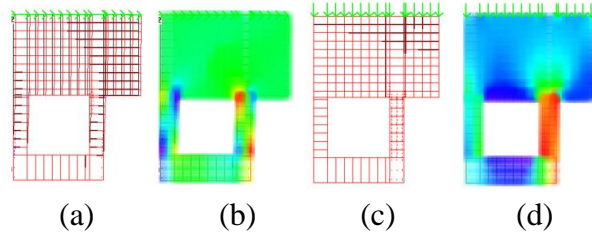
Pola keruntuhan dinding pada tipe dinding penuh, dinding dengan bukaan pintu, juga dinding dengan bukaan pintu dan jendela dapat dilihat pada Gambar 15 sampai Gambar 17.



Gambar 15 Pola keruntuhan dinding dengan beban 2,5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y



Gambar 16 Pola keruntuhan dinding dengan beban 5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y

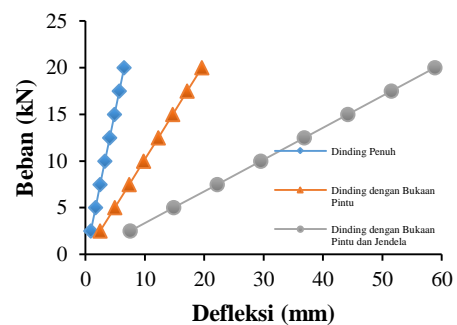


Gambar 17 Pola keruntuhan dinding dengan beban 7,5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y

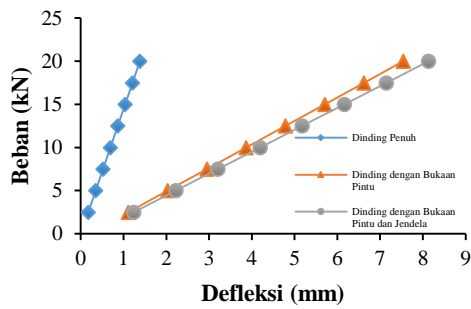
Tabel 6 menjelaskan nilai defleksi beberapa tipe dinding. Berdasarkan nilai defleksi beberapa tipe dinding tersebut menghasilkan hubungan antara beban dan defleksi arah X pada Gambar 18 dan hubungan antara defleksi dan beban arah Y pada Gambar 19.

Tabel 6 Nilai defleksi dinding bangunan untuk penampang bentuk persegi

Beban (kN)	Defleksi (mm)					
	Dinding Penuh		Dinding dengan Bukaan Pintu		Dinding dengan Bukaan Pintu dan Jendela	
	X	Y	X	Y	X	Y
2,5	0,88	0,18	2,49	1,12	7,52	1,24
5	1,68	0,35	4,92	2,03	14,85	2,22
7,5	2,49	0,52	7,37	2,95	22,18	3,21
10	3,29	0,69	9,81	3,87	29,51	4,20
12,5	4,10	0,86	12,26	4,79	36,84	5,18
15	4,91	1,04	14,70	5,71	44,17	6,16
17,5	5,71	1,21	17,15	6,62	51,50	7,15
20	6,52	1,38	19,59	7,54	58,83	8,13



Gambar 18 Hubungan antara beban dan defleksi pada arah X



Gambar 19 Hubungan antara beban dan defleksi pada arah Y

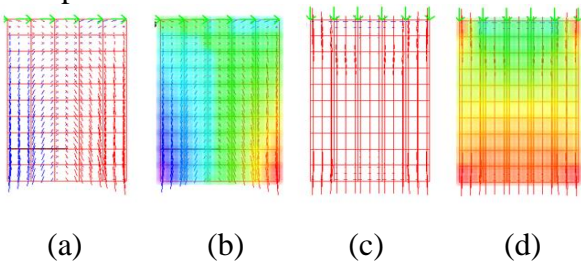
Hasil Analisis Dinding untuk Penampang Bentuk L

Hasil dari analisis dinding menghasilkan nilai defleksi dan pola keruntuhan. Tabel 7 menjelaskan defleksi dinding pada saat pertama kali retak beserta beban yang diterima dinding.

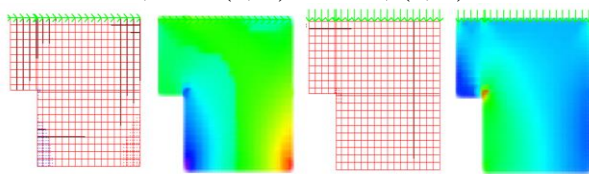
Tabel 7 Nilai defleksi pada saat pertama kali retak

Beban (kN)	Defleksi (mm)					
	Dinding Penuh		Dinding dengan Bukaannya Pintu		Dinding dengan Bukaannya Pintu dan Jendela	
	X	Y	X	Y	X	Y
0,3	0,14					
41		1,83				
0,2			0,18			
1				0,49		
0,2					0,26	
1						0,23

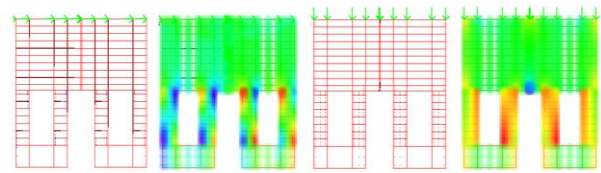
Pola keruntuhan dinding pada beberapa tipe dinding dapat dilihat pada Gambar 20 sampai Gambar 22.



Gambar 20 Pola keruntuhan dinding dengan beban 2,5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y



Gambar 21 Pola keruntuhan dinding dengan beban 5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y

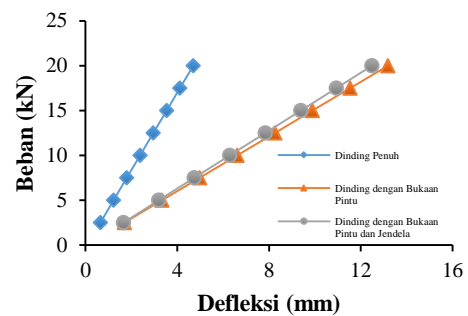


Gambar 22 Pola keruntuhan dinding dengan beban 7,5 kN (a, b) arah X; (c, d) arah Y

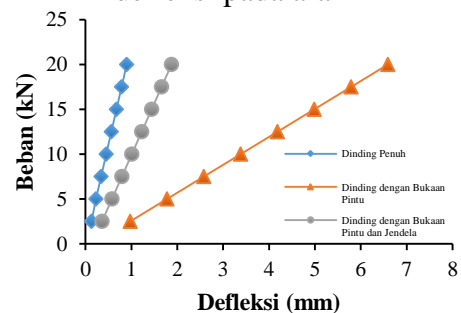
Tabel 8 menjelaskan nilai defleksi beberapa tipe dinding. Berdasarkan nilai defleksi beberapa tipe dinding tersebut menghasilkan hubungan antara beban dan defleksi arah X pada Gambar 24 dan hubungan antara beban dan defleksi arah Y pada Gambar 25.

Tabel 8 Nilai defleksi dinding bangunan untuk penampang bentuk persegi

Beban (kN)	Defleksi (mm)					
	Dinding Penuh		Dinding dengan Bukaannya Pintu		Dinding dengan Bukaannya Pintu dan Jendela	
	X	Y	X	Y	X	Y
2,5	0,65	0,13	1,69	0,97	1,65	0,36
5	1,22	0,23	3,33	1,78	3,20	0,58
7,5	1,80	0,34	4,97	2,58	4,75	0,79
10	2,38	0,45	6,61	3,38	6,29	1,01
12,5	2,95	0,56	8,26	4,18	7,84	1,23
15	3,54	0,67	9,90	4,99	9,39	1,44
17,5	4,12	0,78	11,54	5,79	10,94	1,66
20	4,69	0,90	13,18	6,59	12,49	1,87



Gambar 23 Hubungan antara beban dan defleksi pada arah X



Gambar 24 Hubungan antara beban dan defleksi pada arah Y

9. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dengan metode elemen hingga dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Kekakuan geser bangunan rumah sederhana dengan penampang persegi dan penampang L berturut-turut mencapai 35 kN/cm dan 25 kN/cm.
2. Percepatan tanah maksimum pada saat terjadi gempa bumi yaitu 87,27 gal atau 8,7227 m/s². Percepatan maksimum gempa terhadap bangunan terjadi pada arah Y diantaranya untuk penampang persegi mencapai 887,2 gal atau 8,872 m/s² pada detik ke-6,52 dan untuk penampang L mencapai 835,9 gal atau 8,359 m/s² pada detik ke-6,54.
3. Defleksi dinding terbesar terjadi pada beban 20 kN, diantaranya untuk bangunan dengan penampang persegi terjadi pada dinding dengan bukaan pintu dan jendela; dan untuk bangunan dengan penampang L terjadi pada dinding dengan bukaan pintu.

10. Daftar Pustaka

- Akca, C., Bozkurt, T. S., Sayin, B., dan Yildizlar, B., 2016, Seismic Retrofitting of The Historical Masonry Structures Using Numerical Approach, *Construction and Building Materials*, 113, 752-763.
- Avila, L., Vasconcelos, G., dan Lourenco, P. B., 2018, Experimental Seismic Performance Assessment of Asymmetric Masonry Buildings, *Engineering Structures*, 155, 298-314.
- Baghi, H., Oliveira, A., Cavaco, E., Neves, L., dan Julio, E., 2018, Behavior of Reinforced Concrete Frame with Masonry Infill Wall Subjected to Vertical Load, *Engineering Structures*, 171, 476-487.
- Castellazzi, G., D'Altri, A. M., Miranda, S. D., dan Ulbertini, F., 2017, An Innovative Numerical Modelling Strategy for The Structural Analysis of Historical Monumental Buildings, *Engineering Structures*, 132, 229-248.
- Castori, G., Borri, A., Maria, A. D., Corradi, M., dan Sisti, R., 2017, Seismic Vulnerability Assessment of A Monumental Masonry Building, *Engineering Structures*, 136, 454-465.
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arede, A., Varum, H., Grubisic, M., dan Sipos, T. K., 2018, Prediction of The Earthquake Response of A Three-storey Infilled RC Structure, *Engineering Structures*, 171, 214-235..
- Korkmaz, M., Ozdemir, M. A., Kavali, E., dan Cakir, F., 2018, Performance-based Assessment of Multy-story Unreinforced Masonry Buildings: The Case of Historical Khatib School in Erzurum, Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 94, 195-213.
- Leksono, R. S., Iranata, D., dan Kristijanto, H., 2012, Studi Pengaruh Kekuatan dan Kekakuan Dinding Bata pada Bangunan Bertingkat, *Jurnal Teknik ITS*, 1 (1), D30-D33.
- Noh, N. M., Liberatore, L., Mollaioli, F., dan Tesfamariam, S., 2017, Modelling of Masonry Infilled RC Frames Subjected to Cyclic Loads: State of The Art Review and Modelling with OpenSees, *Engineering Structures*, 150, 599-621.
- Penava, D., Sarhosis, V., Kozar, I., dan Guljas, I., 2018, Contribution of RC Columns and Masonry Wall to The Shear Resistance of Masonry Infilled RC Frames Containing Different in Size Window and Door Openings, *Engineering Structures*, 172, 105-130.
- Prayuda, H., dan Cahyati, M. D., 2016, Gaya Lateral In Plane Struktur Dinding Pasangan Bata ½ Batu Melalui Beban Siklik, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 370-377, Surakarta, Indonesia: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pukhkal, V., Murgul, V., 2017, Calculated heat-and-technical indicators of brick external walls of the historical residential buildings, *Earth and Environmental Science*, 1-5, Rusia: IOP Conference Series.
- Siano, R., Roca, P., Camata, G., Pela, L., Sepe, V., Spacone, E., dan Petracca, M., 2018, Numerical Investigation of Non-linear Equivalent-frame Models for Regular Masonry Walls, *Engineering Structures*, 173, 512-529.
- Sutresman, O. S., dan Tjandinegara, T., 2013, Application of Numerical Simulation Determination of Deflection on HS-75 Profile, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII*, Bandar Lampung, Indonesia: Mekanika Terapan.
- Yuen, Y. P., dan Kuang, J. S., 2015, Nonlinear Seismic Responses and Lateral Force Transfer Mechanisms of RC Frames with Different Infill Configurations, *Engineering Structures*, 91, 125-140.