

# STUDI EKSPERIMEN KEKAKUAN DINDING PASANGAN BATA DENGAN MORTAR CAMPURAN KAPUR, BUBUKAN BATA DAN PASIR AKIBAT BEBAN SIKLIK

\*) **Firnimus Bhara<sup>1</sup>, Yohanes G. G. L. Duran<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Nusa Nipa, Maumere, 86111, Indonesia

\*) Email: ferrybhara@gmail.com

## ABSTRACT

*Indonesian building construction is categorized into two major categories, those are engineered building structures and non-engineered building structures. Non-engineered building structures are very vulnerable to lateral loads such as earthquakes, both moderate earthquakes and large earthquakes that cause collapse. Hence, mitigation needs to be conducted on the strength of buildings by relying on the strength of the masonry. Current research was carried out aiming to determine the stiffness changes and lateral deformation of the masonry wall structure with a mortar mixture of lime, brick powder, and sand due to lateral static loads. Furthermore, the object employed in this study was a wall with a size of 3 x 3 x 0.23 m using 1 stone masonry which was tested after 60 days. Based on the test results, the wall can accept maximum load of 68.38 KN and maximum deformation of 9.0 mm, while the changes in stiffness that occurred due to repeated lateral static loading caused the wall to have lateral failure.*

**Keyword:** *Masonry, Mortar, Stiffness, Cyclic Load, Displacement*

## ABSTRAK

Konstruksi bangunan gedung di Indonesia dikategorikan dalam dua kelompok besar, yaitu struktur bangunan yang dihitung dan struktur bangunan yang tidak dihitung (non-engineered building). Struktur bangunan gedung yang tidak dihitung sangat rentan terhadap beban lateral yang berupa gempa, baik gempa sedang maupun gempa besar yang mengakibatkan keruntuhan secara mendadak sehingga perlu dilakukan mitigasi kekuatan bangunan yang mengandalkan kekuatan pasangan bata. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perubahan kekakuan dan deformasi lateral pada struktur dinding pasangan bata dengan mortar campuran kapur, bubuk bata dan pasir akibat beban statik lateral. Benda uji pada penelitian ini berupa sebuah dinding dengan ukuran 3 x 3 x 0,23 m dengan menggunakan pasangan bata 1 batu yang diuji setelah berumur 60 hari. Dari hasil pengujian diperoleh beban maksimal dan deformasi maksimal yang mampu diterima oleh dinding serta perubahan kekakuan yang terjadi akibat pembebanan statik lateral yang berulang-ulang sehingga akhirnya dinding dinyatakan mengalami kegagalan lateral.

**Kata kunci:** Pasangan Bata, Mortar, Kekakuan, Beban Siklik, Perpindahan

## 1. PENDAHULUAN

Pada masa pendudukan Belanda, bangunan tembokan di Indonesia mengikuti bangunan tembokan dari Eropa dengan ketebalan dinding lebih dari ketebalan satu bata, menggunakan pilar bata tanpa perkuatan kolom beton bertulang. Pada waktu itu Belanda menggunakan campuran adukan yang terdiri atas bubuk bata merah, bubuk kapur dan pasir yang dicampur dengan air. Sebagian besar bangunan tembokan dengan ketebalan satu atau satu setengah bata atau dua bata yang dibangun sesuai dengan tradisi/arsitektur Belanda usianya sangat tua dan banyak yang lapuk karena kurang dirawat. Seperti dapat diamati di banyak bencana gempa bumi, ada hubungan antara umur bangunan dengan mutunya. Menurunnya kekuatan bahan terutama adukannya, merupakan salah satu penyebab terjadinya kerusakan dan/atau robohnya bangunan-bangunan tembokan dengan ketebalan satu atau satu setengah bata (Boen, T., 2016).

Diantara berbagai bencana alam yang ada di bumi ini, gempa merupakan bencana yang paling membahayakan dan paling sering terjadi. Banyak daerah dengan populasi penduduk tertinggi adalah kawasan rawan gempa, diantaranya Jepang, Amerika Tengah dan khususnya Indonesia. Secara geografis, Indonesia terletak di lokasi yang tidak stabil, yaitu di dalam ring of fire, sebuah zona yang menandakan suatu daerah dikelilingi oleh lempeng benua yang aktif yaitu lempeng tektonik Eurasia, Australia dan Pasifik dimana hal ini sangat memungkinkan terjadi gempa lebih banyak dengan berbagai macam variasi kekuatan dan kedalamannya (Prayuda, H., 2015).

## 2. LANDASAN TEORI

### Perilaku Bangunan Dinding Pasangan Bata ketika Gempa

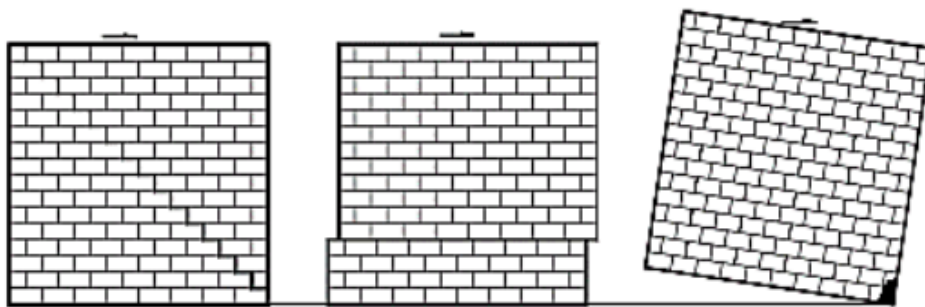
Sejarah kegempaan di Indonesia menunjukkan kerusakan terbesar terjadi pada bangunan yang tidak dihitung atau non-engineered structures. Kajian yang muncul dari laporan-laporan pengamatan sebagian besar menyatakan kekurangan detail yang baik pada struktur pasangan bata merah. Pada tahap perencanaan bangunan dengan struktur

pasangan bata merah lokal diperlukan data perencanaan berupa kuat tekan, kuat tarik, kuat lekat, kuat geser, modulus elastisitas dan modulus geser untuk struktur pasangan. Namun penelitian yang mendalam mengenai perilaku bahan penyusun belum dilaporkan secara detail (Elgawady, M dkk., 2004).

a. Akibat beban gempa *in-plane*

Beban gempa *in-plane* adalah beban yang memiliki arah sejajar dengan bidang dinding. mekanisme kerusakan dinding masonry akibat beban gempa *in-plane* dapat dikategorikan menjadi 3 jenis (ElGawady, M.A dkk., 2002), yaitu:

- *Shear failure* akibat adanya kombinasi gaya horisontal dan vertikal yang bekerja pada dinding. Kerusakan ini berupa retak diagonal (Gambar 1a) dikarenakan unit bata lebih kuat daripada mortar spesi (*strong bricks and weak mortars*). Dalam kondisi mortar spesi lebih kuat dari unit bata (*weak bricks and strong mortars*), maka kerusakan akan melalui unit batanya.
- *Sliding mode* berupa retak horisontal pada bagian mortar spesi akibat beban vertikal yang kecil dan lemahnya koefisien gesek serta kualitas mortar yang kurang bagus (Gambar 1b)
- *Flexural (rocking) mode* yang terjadi akibat besarnya momen (*shear ratio*) dan kemampuan geser dinding yang bagus, sehingga daerah dinding yang mengalami gaya desak (tepi bawah) hancur dan dinding berguling seperti ditunjukkan pada Gambar 1c.

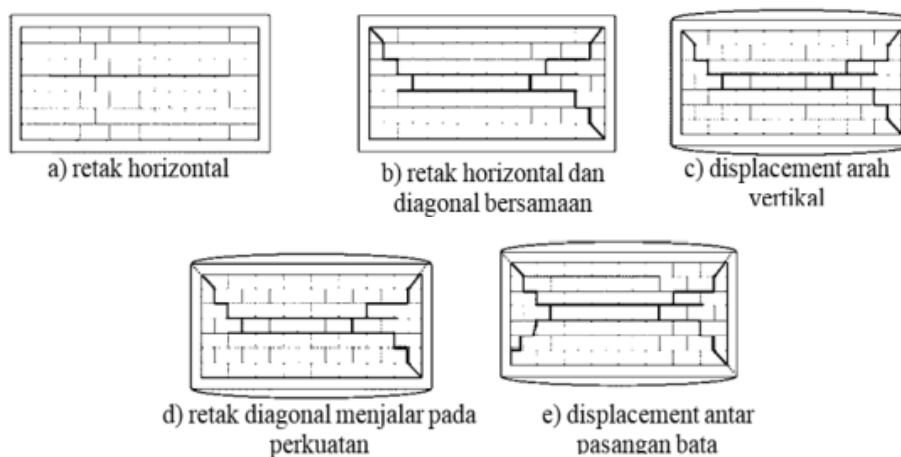


a) Shear failure    b) Sliding mode    c) Flexural (rocking) mode

**Gambar 1.** Mekanisme kerusakan dinding masonry akibat beban gempa *in-plane*

b) Akibat beban gempa *out-of-plane*

Beban gempa *out-of-plane* adalah beban yang memiliki arah tegak lurus dengan bidang dinding. Perilaku dinding masonry akibat beban arah *out-of-plane* sangat tergantung dari kondisi dukungan, aspek rasio, rasio kelangsingan, kekakuan rangka, dan beban aksial (Varela-Rivera, J.L dkk., 2011). Beberapa tipe kerusakan dinding pasangan bata merah akibat beban *out-of-plane* ditunjukkan pada Gambar 2.



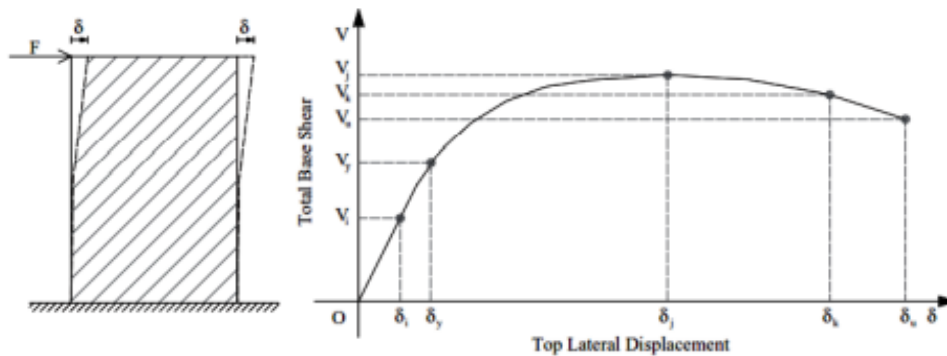
**Gambar 2.** Tipe kerusakan dinding pasangan bata merah akibat

Penelitian oleh Siddiq, S., (2004), dengan beban statik lateral menggunakan skala penuh dengan ukuran 3m x 3m x 0,15 m dengan menggunakan perkuatan kolom dan balok beton. Dari penelitian diperoleh hasil beban pada saat crack sebesar 1,67 Ton dengan defleksi sebesar 1,4 mm. Sedangkan beban maksimal diperoleh sebesar 1,9–2,4 Ton dengan defleksi maksimal sebesar 2,6– 2,7 mm. Pada saat runtuh diperoleh beban runtuh sebesar 2,4 Ton dengan defleksi runtuh sebesar 6,3 mm.

Daktilitas dan kekakuan elemen pasangan bata penahan lateral sangat penting untuk struktur yang mengalami pembebanan seismik. Untuk tujuan ini, studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa geometri, kekuatan sambungan, dan sifat material, tidak mempengaruhi hanya kekuatan tetapi juga kapasitas deformasi dan degradasi siklik dari pasangan bata (Vasconcelos G & Lourenço PB., 2009). Misalnya, tes siklik pada dinding pasangan bata tanah liat-bata/kapur-mortar tanpa perkuatan ambient-kering dengan rasio tinggi terhadap kedalaman 0,7 telah menunjukkan respons yang pada dasarnya elastis hingga penyimpangan lateral sekitar 0,05%, kerusakan terbatas hingga 0,1%, dan penyimpangan akhir sekitar 0,6% (Lozincã E dkk., 2016). Perbandingan uji siklik pada pasangan bata mortar kering kekuatan rendah juga menunjukkan modifikasi dalam mode kegagalan dari gabungan kegagalan lentur dan geser ke kegagalan lentur ketika rasio aspek tinggi-ke-dalam meningkat dari 0,7 menjadi 1,4, mewakili jongkok dan elemen ramping, masing-masing (ElGawady MA dkk., 2005). Tes lain dalam skala kecil pasangan bata bersejarah yang kering menunjukkan kegagalan retak diagonal, mencapai penyimpangan akhir di bawah 0,4% (Capozucca R., 2011). Kapasitas drift pamungkas dari pasangan bata padat dengan mortar kapur, sesuai dengan deformasi pada beban lateral 80% dari puncak resistensi, adalah 0,83-1,21% dalam tes laboratorium dan 0,89-1,38% dalam tes in-situ (Kržan M dkk., 2015).

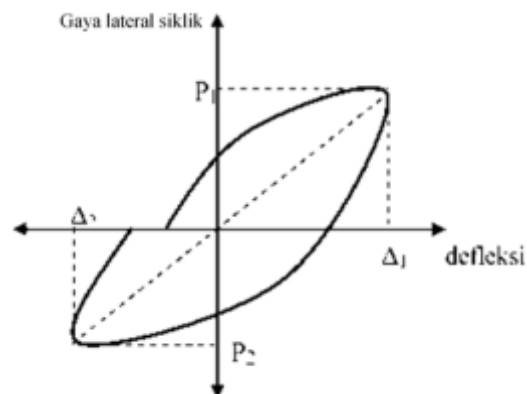
### Kekakuan (stiffness), k

Kekakuan adalah gaya yang diperlukan oleh suatu elemen untuk berdefleksi sebesar satu satuan unit, akibat adanya pembebanan lateral. Kekakuan adalah rasio antara aksi dan deformasi (Elnashai, A & Sarno, L.D., 2008), seperti dijelaskan pada Gambar 3. Nilai kekakuan bukanlah nilai yang konstan, dan merupakan tangensial antara dua keadaan.



**Gambar 3.** Respon struktur akibat gaya lateral siklik

Kekakuan juga dapat dihitung dari kurva histeritik hasil dari pengujian siklik suatu struktur. Kekakuan ditetapkan sebagai kemiringan garis (*tangensial*) yang menghubungkan antara puncak-puncak beban maksimum arah positif dan negatif dari kurva beban dan defleksi (Gambar 4), dan dapat dihitung dengan Persamaan 1. Beberapa tipikal kekakuan dari beberapa macam sistem struktur seperti ditunjukkan pada Tabel 1.



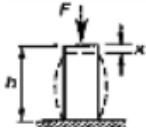




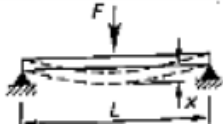
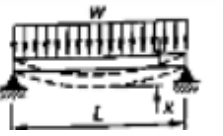
**Gambar 4.** Kurva histeritik pada pengujian siklik

$$K = \left[ \left( \frac{P_1}{\Delta_1} \right) + \left( \frac{P_2}{\Delta_2} \right) \right] \times 0,5 \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

- $\Delta_1$  : defleksi maksimum positif (mm)
- $\Delta_2$  : defleksi maksimum negative (mm)
- $P_1$  : Gaya lateral siklik pada saat  $\Delta_1$  (kN)
- $P_2$  : Gaya lateral siklik pada saat  $\Delta_2$  (kN)

**Tabel 1.** Defleksi maksimum dan kekakuan beberapa sistem struktur (Lindeburg, M.R & McMullin, K.M., 2008).

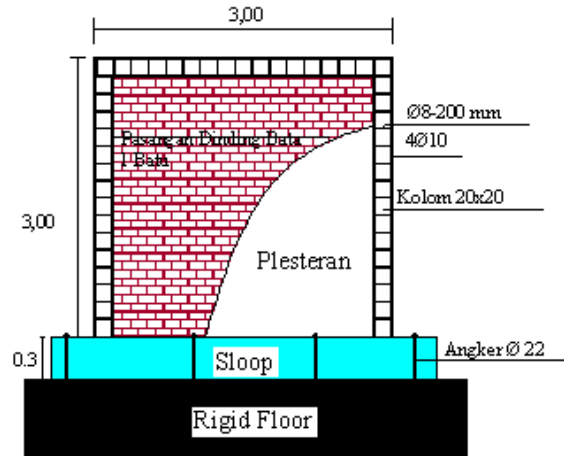
Sistem Struktur	Defleksi Maksimum (x)	Kekakuan (k)
	$\frac{Fh}{AE}$	$\frac{AE}{h}$
	$\frac{Fh^3}{3EI}$	$\frac{3EI}{h^3}$
	$\frac{Fh^3}{12EI}$	$\frac{12EI}{h^3}$
	$\frac{wh^4}{8EI}$	$\frac{8EI}{h^4}$
	$\frac{Fh^3}{12EI(I_1 + I_2)}$	$\frac{12EI(I_1 + I_2)}{h^3}$
	$\frac{FL^3}{48EI}$	$\frac{48EI}{L^3}$
	$\frac{5wL^4}{384EI}$	$\frac{3EI}{5L^3}$

### 3. METODE PENELITIAN

#### Deskripsi Model Dinding

Model dinding dibangun dengan batu bata tanah liat dengan ukuran  $210 \times 105 \times 55 \text{ mm}^3$ , diproduksi di wilayah Yogyakarta. Mortar campuran 1 kapur: 1 bubuk batu bata: 3 pasir digunakan untuk mewakili dari bahan yang digunakan dalam mortar dinding bangunan kuno atau bangunan bersejarah (Torney, C., 2014). Gambar 5, menyajikan model konstruksi dinding dan geometrinya.

Dinding memiliki panjang sama dengan 3,00 m, tinggi sama dengan 3,00 m, dan ketebalan 1 batu bata sama dengan 0,21 m, yang sesuai dengan ketebalan batu bata. Ketebalan sendi mortar  $\pm 2,0$  cm. Dinding terletak pada sloop beton yang dipasang ke lantai dasar dengan baut dan semua pengujian dilakukan setelah 60 hari pembuatan dinding.



Gambar 5. Model Dinding

## Pengujian Siklik

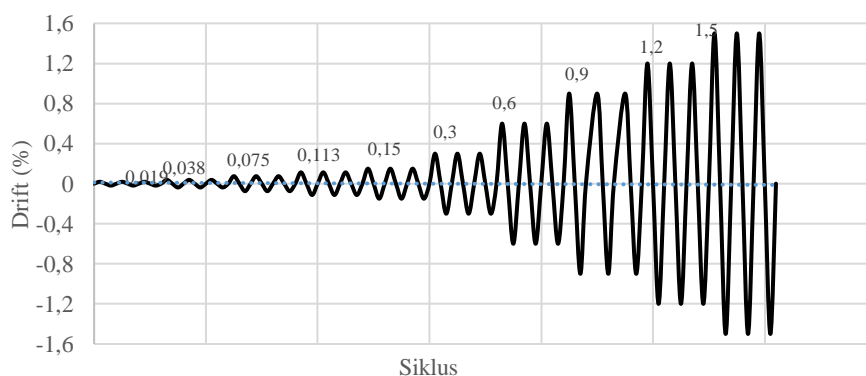
### 1. Peralatan untuk pengujian siklik

- Hidrolyc jack* dan *load cell* digunakan untuk membebani *speciment* secara lateral *static*.
- Data Logger* digunakan untuk mencatat beban yang bekerja dari *load cell* dan mencatat simpangan yang terjadi melalui LVDT.
- LVDT digunakan untuk mengukur *displacement* yang terjadi pada dasar benda uji dan puncak benda uji.
- Microcrack detector* digunakan unruk mengukur retak pada yang terjadi pada benda uji dinding.

### 2. Prosedur pengujian siklik.

Setelah sampel didiamkan selama 60 hari, setting alat uji static dilakukan dengan memasang *hidraulic jack* dan *load cell* pada satu sisi atas benda uji dengan cara sejajar benda uji. Sedangkan sisi sebelahnya dipasang LVDT untuk mengetahui *displacement* yang terjadi. Semua LVDT dan *load cell* dikalibrasi terlebih dahulu dengan kontrol *data logger* untuk memastikan alat-alat tersebut berfungsi secara baik.

Benda uji dimulai dengan pemeriksaan frekuensi pada saat beban = 0 kg lalu diberikan beban secara bertahap dan diamati besar *displacement* dan retak tiap penambahan beban. Pembebanan yang dilaksanakan saat pengujian statis yaitu pembebanan siklik. Pembebanan dilakukan beberapa siklus yang dikelompokkan ke dalam beberapa step, dengan meningkatkan target perpindahan secara bertahap (*displacement control*). Tiap step dilakukan sebanyak 3 siklus, seperti ditunjukkan dalam skenario pembebanan pada gambar 6 dan tabel 2. Dalam tabel juga diberikan target besarnya defleksi sesuai riwayat pembebanan, dengan tinggi efektif dinding adalah 300 cm.

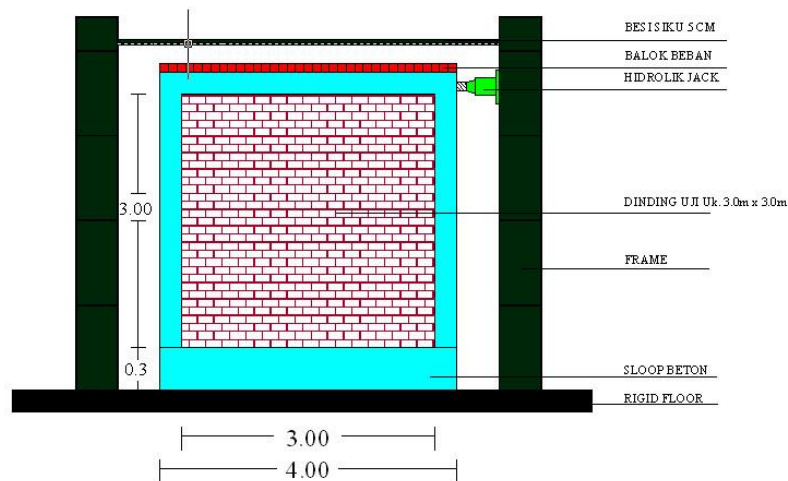


Gambar 6. Riwayat Pembebanan

**Tabel 2.** Target perpindahan (mm)

Step	Siklus ke-	Drift (%)	Perpindahan(mm)
1	1 s/d 3	0,01875	0,5625
2	4 s/d 6	0,0375	1,125
3	7 s/d 9	0,075	2,25
4	10 s/d 12	0,1125	3,375
5	13 s/d 15	0.15	4,5
6	16 s/d 18	0.3	9
7	19 s/d 21	0.6	18
8	22 s/d 24	0.9	27
9	25 s/d 27	1.2	36
10	28 s/d 30	1.5	45

Pembebanan tahap pertama dilakukan hingga diperoleh retak pertama pada dinding. setelah diperoleh retak pertama, dicatat beban yang diperoleh dan diukur lebar retaknya, dengan menambah beban hingga benda uji dikategorikan rusak dan tidak mampu menahan beban maka pengujian dihentikan. Hasil pengujian statis berupa: hubungan beban dengan displacement pada setiap tahap pembebanan dan pola retak yang terjadi di setiap tahap pembebanan.

**Gambar 7.** Setting pengujian statis

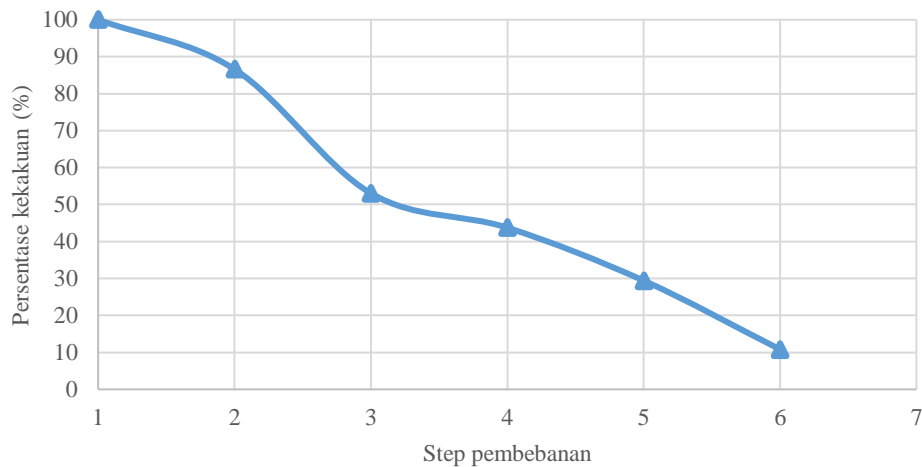
#### 4. HASIL DAN DISKUSI

Hasil perhitungan kekakuan struktur ditunjukkan pada Tabel 3. Kekakuan semua dinding mengalami penurunan akibat pembebanan lateral siklik. Penurunan kekakuan dapat dikarenakan munculnya rongga antara material penyusunnya akibat gaya yang diberikan. Semakin banyak tahap pembebanannya, maka rongga yang muncul akan semakin banyak pula. Pada kondisi tertentu mengakibatkan rusaknya struktur akibat ikatan antara material penyusunnya tidak dapat menahan gaya geser dari pembebanan. Penurunan kekakuan (dalam %) terhadap kekakuan awal dapat dilihat pada Gambar 8.

Kekakuan benda uji mengalami penurunan sebesar 32.93% menjadi 4,82 kN/mm, kekakuan benda uji kemudian semakin menurun menjadi 4,82 kN/mm, hal ini mengalami penurunan sebesar 41,83 % dari nilai kekakuan pengujian tahap pertama diperoleh.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan kekakuan dinding

Step	P <sub>1</sub> KN	P <sub>2</sub> KN	Δ <sub>1</sub> mm	Δ <sub>2</sub> mm	K KN/mm	Rasio terhadap kekakuan awal (%)
1	25,35	24,6	0,56	0,56	44,60	100,00
2	43,1	43,04	1,11	1,12	38,63	86,61
3	49,03	49,39	2,15	2,17	23,65	53,04
4	68,38	66,38	3,37	3,38	19,51	43,74
5	60,17	57,5	4,5	4,5	13,12	29,43
6	44,08	42,88	9	9,02	4,82	10,81



**Gambar 8.** Penurunan kekakuan dinding

## 5. KESIMPULAN

1. Benda uji mengalami perubahan kekakuan setiap tahap pembebanannya, pada saat pembebanan pertama memiliki kekakuan sebesar 44,60 kN/mm, kemudian berkurang sebesar 33,57 % menjadi 38,63 kN/mm pada saat pengujian tahap ke-2, benda uji hanya menyisakan kekakuan 4,82 kN/mm atau hanya 89.19 % dari kekakuan awal.
2. Benda uji mampu menerima beban statik maksimal sebesar 68,83 kN yang menghasilkan simpangan maksimal sebesar 9,0 mm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boen, T. (2016). "Non-Engineered Construction in Indonesia," Learning from Damage Caused by Earthquake of Non-Engineered Wall Building in Indonesia, First Edition. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Prayuda, H. (2015). "Gaya Lateral In-Plane Struktur Portal Dinding Pasangan Bata ½ Batu Melalui Analisis Numerik, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol. 18. No. 2. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- Elgawady, M., Lestuzzi, M. Bodoux. (2004). "A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for Unreinforced Masonry", 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam.
- ElGawady, M.A., Lestuzzi, P., Badoux, M. (2002). "Dynamic In-Plane Behavior of URM Wall Upgraded with Composites", Researchgate 13.
- Varela-Rivera, J.L., Navarrete-Macias, D., Fernandez-Baqueiro, L.E., Moreno, E.I. (2011). "Out-of-plane behaviour of confined masonry walls". Engineering Structures, Vol. 33, 1734–1741.
- Siddiq, S. (2004). "Pengaruh Sistem Perkuatan Terhadap Kekuatan dan Daktilitas Dinding Struktur Pasangan Bata Polos yang Telah Rusak Geser". Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan II, Yogyakarta.
- Vasconcelos G, Lourenço PB. (2009). "In-plane experimental behavior of stone masonry walls under cyclic loading". J Struct Eng 135(10):1269–1277.
- Lozineă E, Popa V, Coțofană D Cheșcă AB. (2016) "Unidirectional cyclic behavior of old masonry walls in Romania". The 1940 Vrancea earthquake. Issues, insights and lessons learnt. Springer, Cham, pp 351–361.
- ElGawady MA, Lestuzzi P, Badoux M. (2005) "In-plane seismic response of URM walls upgraded with FRP". J Compos Constr 9(6):524–535.
- Capozucca R. (2011) "Experimental analysis of historic masonry walls reinforced by CFRP under in-plane cyclic loading". Compos Struct 94(1):277–289.
- Kržan M, Gostič S, Bosiljkov V. (2015) "Application of diferent in-situ testing techniques and vulnerability

assessment of Kolizej palace in Ljubljana”. Bull Earthq Eng 13(1):389–410

Elnashai, A., Sarno, L.D. (2008) “Fundamentals of Earthquake Engineering”. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc.

Lindeburg, M.R., McMullin, K.M. (2008). “Seismic Design of Building Structures: A Professional’s Introduction to Earthquake Forces and Design Details”. Ninth. ed. Professional Publication, Inc., Belmont, California.

Torney, C. (2014) “Lime Mortars in Traditional Buildings”. Short Guide 6. Historic Scotland Alba Aosmhor, Scotland.