

**PENGARUH LETAK BUKAAN TERHADAP
KINERJA DINDING BATA TERKEKANG DENGAN
BEBAN SIKLIK LATERAL**

NASKAH TERPUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



PUTRA ADI NUGRAHA

NIM. 115060100111013

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

PENGARUH LETAK BUKAAN TERHADAP KINERJA DINDING BATA TERKEKANG DENGAN BEBAN SIKLIK LATERAL

Putra Adi Nugraha, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Pengaruh Letak Bukaan Terhadap Kinerja Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral*, Dosen Pembimbing : Wisnumurti dan Achfas Zacoeb.

ABSTRAK

Sistem dinding bata terkekang banyak digunakan pada mayoritas rumah di Indonesia, dan merupakan sistem dinding yang lebih tahan terhadap beban gempa dibanding sistem dinding bata merah biasa. Bukaan merupakan komponen bangunan yang tidak terpisahkan terkait dengan fungsi bangunan gedung. Pengurangan luasan dinding melalui penambahan bukaan serta letak bukaan itu sendiri secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap perilaku dinding bata terkekang. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang dengan beban siklik lateral. Adapun kinerja dinding bata terkekang ditinjau berdasarkan kemiringan kurva selubung dari kurva histeresis. Dari hasil penelitian ini, berdasarkan bentuk dan kemiringan kurva selubung, perbedaan kinerja terbesar akibat pembebanan siklik lateral, antara beban dari arah kanan dan kiri, terdapat pada model dinding bukaan tepi (kode C). Sedangkan untuk model dinding tanpa bukaan (kode A) dan model dinding bukaan tengah (kode B), kinerja akibat pembebanan siklik lateral, antara beban dari arah kanan dan kiri, cenderung seimbang. Nilai kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaan (kode A). Sedangkan nilai kekakuan elastis terkecil terdapat pada model dinding dengan bukaan tengah (kode B).

Kata kunci: dinding bata terkekang, beban siklik lateral, kemiringan kurva histeresis, kekakuan elastis

ABSTRACT

Confined masonry wall system is popularly used in many houses in Indonesia. According to earthquake resistance, confined masonry system is better than ordinary masonry system. Opening is a building component which is important according to the building function itself. Wall area reduction caused by opening and opening position itself are indirectly effecting the performance of confined masonry wall. According to it, an attempt is made to research the effects of opening position on confined masonry performance with cyclic lateral load. The slope of envelope curve from hysteresis curve is used to observe confined masonry performance. Based on the shape and slope of envelope curve, result show that the biggest performance difference caused by cyclic lateral load between lateral load from right and left side, is on wall model with side opening (code C). Meanwhile, the performance caused by lateral load from right and left side, on wall model without opening (code A) and wall model with center opening (code B) are inequilibrium. The biggest elastic stiffness is on wall model without opening (code A). Meanwhile, the smallest elastic stiffness is on wall model with center opening (code B).

Keyword: confined masonry wall, cyclic lateral load, slope of hysteresis curve, elastic stiffness

PENDAHULUAN

Dinding bata terkekang merupakan dinding bata merah yang dikekang oleh balok atau kolom beton bertulang pada sisi-sisinya, dimana pengecoran balok dan kolom tersebut dilakukan secara in-situ setelah dinding bata selesai dibangun (Iyer *et al*, 2013). Dinding bata terkekang telah banyak digunakan pada mayoritas rumah di Indonesia, dan merupakan sistem dinding yang lebih tahan terhadap beban gempa dibanding sistem dinding bata merah biasa.

Bukaan merupakan komponen bangunan yang tidak terpisahkan terkait dengan fungsi bangunan gedung. Pengurangan luasan dinding melalui penambahan bukaan serta letak bukaan itu sendiri secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap perilaku dinding bata terkekang.

Untuk itu dilakukan penelitian guna mengetahui pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang dengan beban siklik lateral. Kinerja dinding bata terkekang sendiri ditinjau berdasarkan kemiringan kurva selubung dari kurva histeresis.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui pengujian dengan pembebanan siklik lateral pada model dinding uji. Beban diberikan pada model dinding uji secara bergantian, dari sisi kanan dan kiri. Pengujian dilakukan dengan mengacu pada ASTM E-2126. Jenis metode pengujian yang digunakan adalah metode *ISO 16670 Protocol*. Metode *ISO 16670 Protocol* merupakan metode pembebanan dengan perpindahan-terkontrol dimana siklus pembebanan dikelompokkan pada beberapa fase. Pada setiap fase tersebut terjadi peningkatan besarnya nilai perpindahan. Jumlah siklus dan besarnya nilai perpindahan pada setiap fase dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pada dasarnya, penggunaan ASTM E-2126 dimaksudkan untuk pengujian

dinding geser. Sehingga untuk dapat digunakan pada benda uji berupa dinding bata terkekang, diperlukan beberapa penyesuaian. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Wisnumurti, 2013), diperlukan penyesuaian pada jumlah siklus serta besarnya nilai perpindahan, seperti dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 1 Tahapan pembebanan untuk Metode B

<i>Pattern</i>	<i>Step</i>	<i>Minimum Number of Cycles</i>	<i>Amplitude, % Δm</i>
1	1	1	1,25
	2	1	2,5
	3	1	5
	4	1	7,5
	5	1	10
2	6	3	20
	7	3	40
	8	3	60
	9	3	80
	10	3	100
	11	3	Penambahan sebesar 20% (hingga dinding runtuh)

Sumber : (ASTM E-2126)

Tabel 2 Tahapan pembebanan yang telah disesuaikan

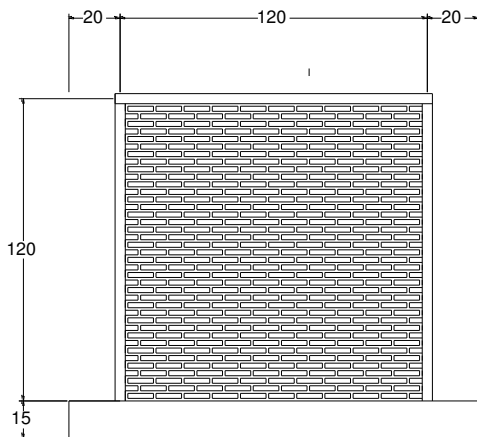
<i>Step</i>	<i>Minimum Number of Cycles</i>	<i>Amplitude, % Δm</i>	<i>Displacement (mm)</i>
1	2	2,5	0.3
2	2	5	0.6
3	2	10	1.2
4	2	20	2.4
5	2	30	3.6
6	2	40	4.8
7	2	60	7.2
8	2	80	9.6
9	2	90	10.8
10	2	100	12
11	2	Penambahan sebesar 20% (hingga dinding runtuh)	

Sumber : (Wisnumurti, 2013)

Dalam **Tabel 1** dan **Tabel 2**, terlihat penggunaan nilai perpindahan

ultimit (Δ_m) sebagai acuan nilai kontrol perpindahan. Dalam penelitian ini, nilai perpindahan ultimit (Δ_m) yang digunakan adalah nilai *drift ratio* maksimum model dinding pada kategori *collapse prevention* dalam FEMA 356. *Drift ratio* sendiri dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya nilai perpindahan (Δ) dengan tinggi sampel atau benda uji. Berdasarkan FEMA 356, nilai *drift ratio* untuk kategori *collapse prevention* adalah 1%. Sehingga dalam penelitian ini, nilai perpindahan ultimit (Δ_m) ditetapkan sebesar 1% dari tinggi model dinding uji.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa model dinding bata merah terkekang dengan dimensi (120 × 120 × 4) cm. Tampak depan ilustrasi model dinding yang diuji dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Tampak depan ilustrasi model dinding

Bata merah yang digunakan berasal dari Kecamatan Turen, Kabupaten Malang. Bata merah yang digunakan telah diperkecil dari dimensi asli. Dimensi dan berat isi bata merah asli dan terskala yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3**. Pengujian juga dilakukan pada bata merah yang digunakan, yaitu meliputi pengujian kuat tekan searah lebar bata merah, pengujian bata merah pejal dengan SNI 15-2094-2000, dan pengujian prisma

pasangan bata merah dengan ASTM C-1314. Hasil pengujian berupa nilai kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 3 Dimensi dan berat isi bata merah asli dan terskala

Nilai rata-rata ± S-Dev	
Asli	
Panjang	22,3 ± 0,1 cm
Lebar	10,8 ± 0,2 cm
Tebal	4,0 ± 0,2 cm
Berat isi	1,4 ± 0,1 gr/cm ³
Terskala	
Panjang	10,8 ± 0,3 cm
Lebar	3,8 ± 0,2 cm
Tebal	2,1 ± 0,1 cm
Berat isi	1,2 ± 0,1 gr/cm ³

Tabel 4 Hasil pengujian kuat tekan pada bata merah terskala

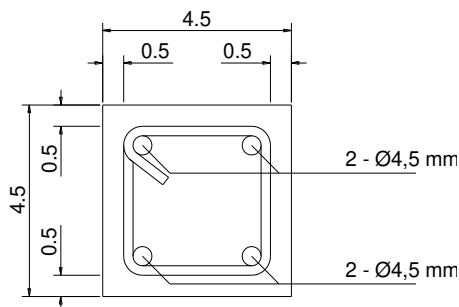
Kuat tekan (kg/cm ²)	
Bata merah pejal	6,33
SNI 15-2094-2000	49,30
ASTM C-1314	44,06

Untuk pembuatan model dinding bata merah, siar horisontal dan vertikal dibuat dengan ketebalan maksimal sebesar 1 cm. Perbandingan semen dan pasir untuk mortar adalah 1 : 5. Pasir yang digunakan, telah lolos saringan no. 8. Dari pengujian kuat tekan mortar yang telah dilakukan, diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 112,02 kg/cm².

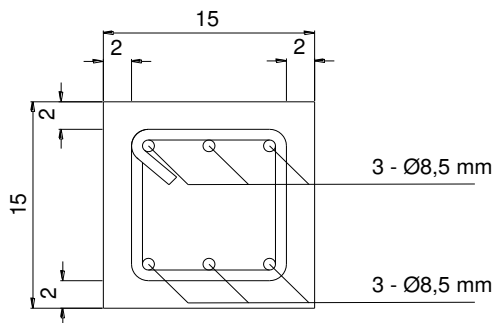
Pada sisi kanan, kiri, dan atas dinding bata merah, model dinding dikekang dengan kolom dan balok pengekang. Untuk kolom dan balok pengekang, digunakan beton bertulang dengan dimensi (4,5 × 4,5) cm. Gambar potongan penulangan kolom dan balok pengekang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Untuk campuran beton, perbandingan semen, agregat halus, dan agregat kasar adalah 1 : 3 : 1, dengan FAS 0,5. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kuat tekan rata-rata beton untuk kolom dan balok

pengegang yang digunakan sebesar $118,61 \text{ kg/cm}^2$.

Pada pasangan dinding bata merah, diletakkan angkur atau *dowel* yang terhubung dengan kolom, untuk setiap 6 lapisan bata merah. Angkur atau *dowel* tersebut terbuat dari baja lunak dengan diameter sekitar 1,5 mm.



Gambar 2 Potongan penulangan kolom dan balok pengegang



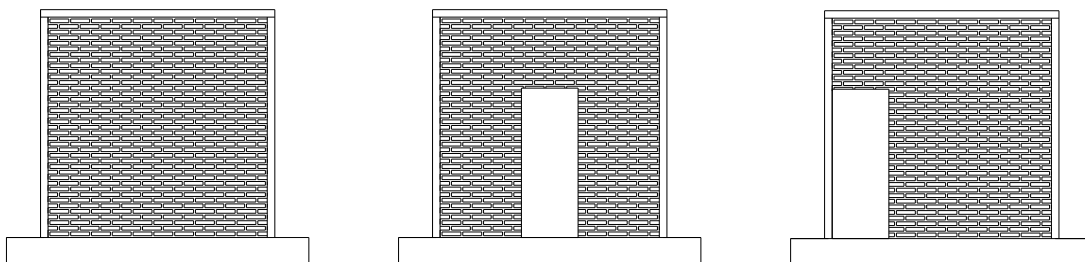
Gambar 3 Potongan penulangan balok *sloof*

Pada bagian bawah model dinding, terdapat balok *sloof* sebagai landasan model dinding. Untuk balok *sloof*,

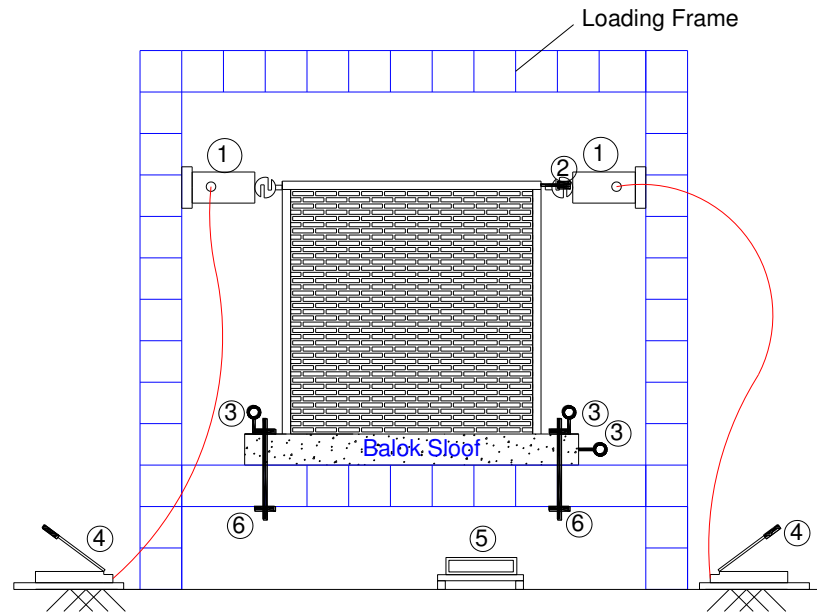
digunakan beton bertulang berdimensi $(15 \times 15) \text{ cm}$, dengan panjang 160 cm. Perbandingan semen, agregat halus, dan agregat kasar untuk campuran beton pada balok *sloof* adalah 1 : 2 : 3, dengan FAS 0,5. Gambar potongan penulangan balok *sloof* dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui kuat tekan rata-rata beton untuk balok *sloof* yang digunakan sebesar $213,952 \text{ kg/cm}^2$.

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan pada delapan model dinding yang terbagi menjadi tiga jenis model dinding, yaitu model dinding tanpa bukaan (kode A) sebanyak dua sampel, model dinding bukaan tengah (kode B) sebanyak tiga sampel, dan model dinding bukaan tepi (kode C) sebanyak tiga sampel. Ilustrasi jenis model dinding yang diuji, dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pengujian pada setiap model dinding dilakukan dengan konfigurasi atau *setting up* alat yang sama. Ilustrasi konfigurasi pengujian untuk salah satu model dinding, dapat dilihat pada **Gambar 5**. Keterangan alat dan perlengkapan yang digunakan adalah sebagai berikut.

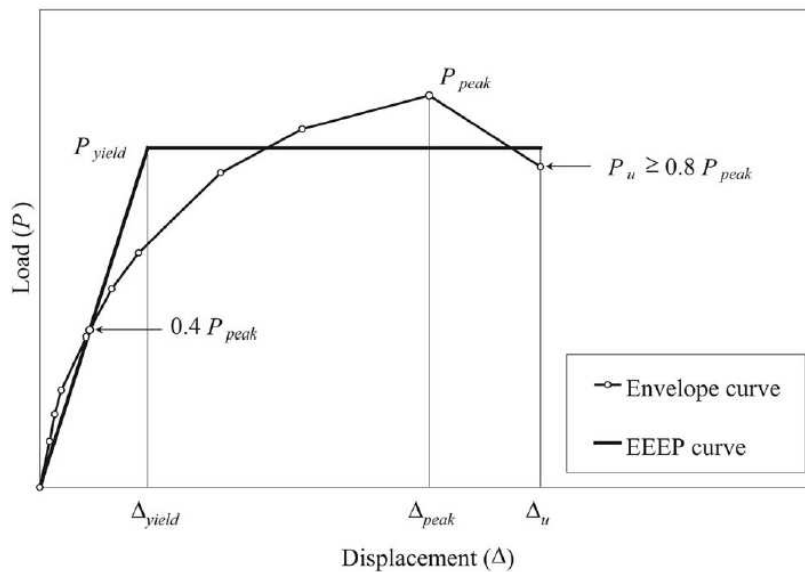
1. *Hydraulic Jack*
2. LVDT
3. *Dial Gauge*
4. Pompa *Hydraulic Jack*
5. *Electronic Transducer*
6. Klem Penguat



Gambar 4 Jenis benda uji berdasarkan letak bukaan



Gambar 5 Setting up pembebanan untuk model dinding tanpa bukaan (kode A)



Gambar 6 Kurva selubung dan kurva EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic*)

Pada **Gambar 5**, terlihat posisi LVDT untuk pembacaan nilai perpindahan terletak di samping kanan-atas model dinding. *Hydraulic jack* sebagai alat pembebanan terletak di samping kanan-kiri model dinding. Pada bagian bawah model dinding (*balok sloof*), terdapat dua *dial gauge* yang dipasang secara vertikal sebagai alat pembacaan kontrol guling. Satu *dial gauge* lainnya dipasang secara horisontal sebagai pembacaan kontrol geser.

Dari pengujian dengan beban siklik lateral, diperoleh hasil berupa kurva histeresis (diagram $P-\Delta$). Dari kurva histeresis tersebut, dapat dibuat kurva selubung dengan menghubungkan puncak siklus dari setiap fase pembebanan. Untuk mengetahui tingkat kemiringan kurva selubung, dibuat kurva EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic*), seperti terlihat pada **Gambar 6**.

Berdasarkan kemiringan garis kekakuan elastis pada kurva tersebut, dapat ditinjau pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang. Semakin besar kemiringan garis kekakuan elastis terhadap sumbu horisontal, semakin besar pula beban lateral (P) yang dibutuhkan untuk mencapai perpindahan (Δ) yang sama.

Garis kekakuan elastis sendiri diperoleh dengan memperpanjang garis hubungan antara titik awal pembebanan (titik nol) dengan titik ($0,4 \times P_{peak}$) pada kurva selubung. Dengan kemiringan sepanjang garis kekakuan elastis adalah sama, maka untuk mengetahui nilai kemiringan pada garis kekakuan elastis, dapat digunakan persamaan berikut.

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

Keterangan :

- K_e = kekakuan elastis (kg/mm)
- P_{peak} = beban maksimum pada kurva selubung (kg)
- Δ_e = perpindahan pada titik $0,4 \times P_{peak}$ (mm)

HIPOTESIS

Hipotesis dalam penelitian ini diperoleh melalui analisa teoritis dengan perhitungan pendekatan secara teoritis berdasarkan data rencana model dinding. Analisa teoritis yang dilakukan meliputi perhitungan pendekatan teoritis nilai kekakuan model dinding dan perbedaan kemiringan kurva histeresis akibat beban dari kanan dan kiri.

Untuk perhitungan pendekatan teoritis nilai kekakuan model dinding, dapat dilakukan dengan persamaan (2). Persamaan tersebut merupakan hasil penurunan rumus kekakuan dinding bata terkekang yang dilakukan oleh (Wisnumurti, 2013).

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{1,2h}{GA}} \quad (2)$$

Keterangan :

- K = kekakuan (kg/cm)
- h = tinggi dinding (cm)
- E = modulus elastisitas (kg/cm²)
- I = momen inersia dinding (cm⁴)
- G = modulus geser ($0,4 \times E$) (kg/cm²)
- A = luas bidang geser (cm²)

Hasil perhitungan pendekatan teoritis nilai kekakuan setiap model dinding dapat dilihat pada **Tabel 5**. Dengan asumsi nilai modulus elastisitas (E) untuk setiap model dinding adalah sama, maka secara teoritis, diketahui bahwa kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaan (kode A). Sedangkan kekakuan elastis terkecil terdapat pada model dinding bukaan tengah (kode B).

Tabel 5 Hasil perhitungan pendekatan nilai kekakuan teoritis

Model Dinding	K (kg/cm)
A	$1,2558 \times E$
B	$0,2398 \times E$
C	$0,6337 \times E$

Secara teoritis, perbedaan kemiringan kurva histeresis dapat diketahui melalui perbandingan nilai tegangan tarik ataupun tekan yang terjadi pada model dinding ketika proses pembebanan. Untuk jenis tegangan yang sama, pada sisi dinding dengan nilai tegangan yang lebih kecil, dibutuhkan gaya yang lebih besar guna mencapai nilai perpindahan yang sama dengan sisi lainnya. Berdasarkan hal tersebut, dengan nilai kekakuan adalah gaya dibagi perpindahan, maka akan terdapat perbedaan kemiringan pada kurva histeresis antara beban dari kanan dan kiri.

Berdasarkan hal itu, dengan membandingkan hasil perhitungan tegangan pada **Tabel 6**, dapat disimpulkan pada model dinding bukaan tepi (kode C), akan terjadi perbedaan kemiringan akibat beban dari sebelah kanan dan kiri yang lebih besar jika dibandingkan model dinding lain. Hal ini didasarkan pada perbedaan besarnya tegangan yang sejenis, akibat beban dari sebelah kanan dan kiri. Untuk perhitungan tegangan pada **Tabel 6** sendiri, dilakukan dengan persamaan (3), dimana tegangan tarik bernilai positif dan tegangan tekan bernilai negatif.

$$\sigma_{1,2} = -\frac{P}{A} \pm \frac{M.y}{I} \quad (3)$$

Keterangan :

- σ_1 = tegangan pada sisi kanan dinding (kg/cm^2)
- σ_2 = tegangan pada sisi kiri dinding (kg/cm^2)
- P = beban aksial berupa berat sendiri dinding bata (kg)
- A = luas penampang (cm^2)
- M = momen akibat beban lateral (kg.cm)
- y = titik berat penampang (cm)
- I = momen inersia penampang (cm^4)

Tabel 6 Hasil perhitungan tegangan pada setiap model dinding

Ket.	Beban dari kiri		Beban dari kanan	
	σ_1 (kg/cm^2)	σ_2 (kg/cm^2)	σ_1 (kg/cm^2)	σ_2 (kg/cm^2)
A	0,9265	-1,3160	-1,3139	0,9286
B	0,9676	-1,4184	-1,4151	0,9908
C	2,7699	-1,8607	-3,2515	1,4372

Dari analisa teoritis di atas, dapat disimpulkan bahwa pada model dinding bukaan tepi (kode C), kinerja model dinding akibat beban dari sebelah kanan dan kiri, ditinjau dari kemiringan kurva histeresis, akan cenderung lebih berbeda dibandingkan model dinding lain. Untuk model dinding tanpa bukaan

(kode A) kinerja model dinding akibat beban dari sebelah kanan dan kiri, akan cenderung seimbang, dengan nilai kekakuan elastis terbesar dibandingkan model dinding lain. Sementara untuk model dinding bukaan tengah (kode B), kinerja model dinding akibat beban dari sebelah kanan dan kiri, akan cenderung seimbang, namun dengan nilai kekakuan elastis terkecil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

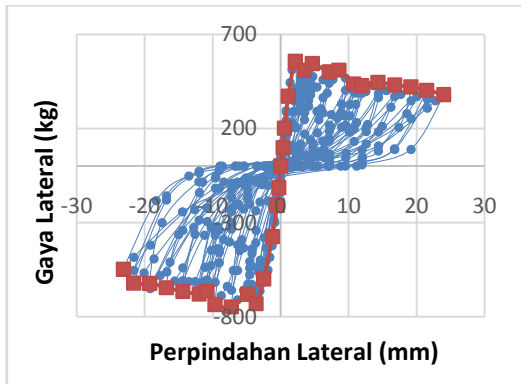
Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil berupa kurva histeresis (diagram P- Δ) untuk setiap model dinding. Di antara delapan hasil pengujian, diambil tiga hasil pengujian terbaik yang mewakili setiap jenis model dinding. Pada ketiga hasil pengujian tersebut, faktor kesalahan dan gangguan teknis maupun non-teknis telah diminimalisir, sehingga hasil yang diperoleh cenderung lebih baik dibandingkan hasil pengujian yang lain.

Dalam pengujian yang telah dilakukan, pembebanan dilakukan hingga mencapai *drift ratio* sebesar 2% atau dua kali lipat *drift ratio* awal. Hal ini dilakukan karena saat pembacaan mencapai titik *drift ratio* awal, model dinding belum mencapai titik runtuh (80% dari P_{peak}).

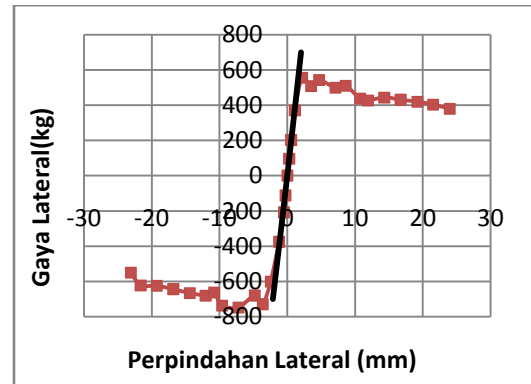
Hasil pengujian berupa kurva histeresis dan kurva selubung untuk model dinding A, model dinding B, dan model dinding C, secara berurutan, dapat dilihat pada **Gambar 7**, **Gambar 8**, dan **Gambar 9**. Kurva selubung pada gambar tersebut merupakan hubungan puncak siklus pertama antar setiap fase. Dari kurva selubung tersebut, dapat dibuat garis kekakuan elastis dengan menggunakan data pada **Tabel 7**. kurva selubung dan garis kekakuan elastis untuk model dinding A, model dinding B, dan model dinding C, secara berurutan, dapat dilihat pada **Gambar 10**, **Gambar 11**, dan **Gambar 12**.

Tabel 7 Nilai P_{puncak} , $P_{(0,4 \times P_{puncak})}$, Δ_e , dan K_e

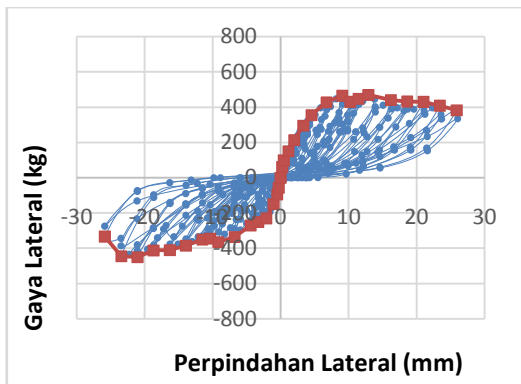
Model Dinding	Beban dari Kanan				Beban dari Kiri			
	P_{peak}	$0,4 P_{peak}$	Δ_e	K_e	P_{peak}	$0,4 P_{peak}$	Δ_e	K_e
	(kg)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(kg)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
A	556,0	222,4	0,649	342,523	-747,0	-298,8	-0,918	325,406
B	470,0	188,0	1,616	116,325	-450,5	-180,2	-1,442	124,952
C	570,0	228,0	1,482	153,824	-308,0	-123,2	-0,646	190,584



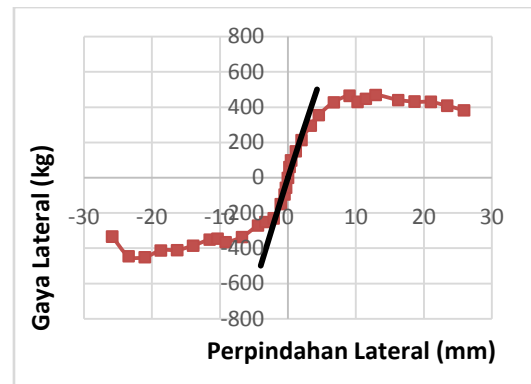
Gambar 7 Kurva histeresis dan kurva selubung model dinding tanpa bukaan (kode A)



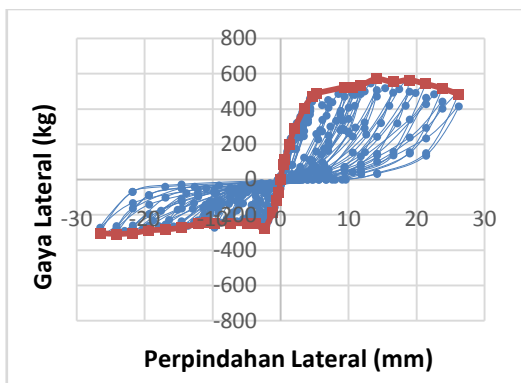
Gambar 10 Kurva selubung dan garis kekakuan elastis model dinding tanpa bukaan (kode A)



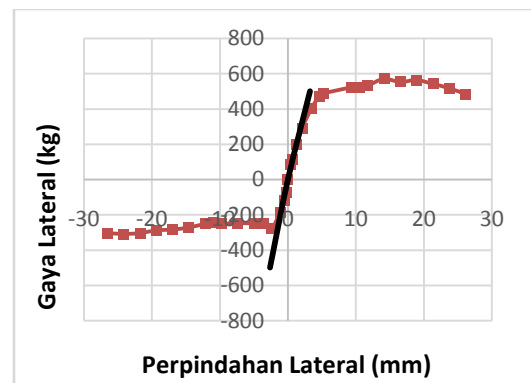
Gambar 8 Kurva histeresis dan kurva selubung model dinding tanpa bukaan (kode B)



Gambar 11 Kurva selubung dan garis kekakuan elastis model dinding bukaan tengah (kode B)



Gambar 9 Kurva histeresis dan kurva selubung model dinding tanpa bukaan (kode C)



Gambar 12 Kurva selubung dan garis kekakuan elastis model dinding bukaan tepi (kode C)

Tabel 7 Rekapitulasi nilai kekakuan elastis (K_e)

Model Dinding	Ke		Rata-rata kekakuan bagian kiri dan kanan	Selisih kekakuan bagian kiri dan kanan
	Beban dari kiri	Beban dari kanan		
A	325,406	342,523	333,965	5,26%
B	124,952	116,325	120,638	6,90%
C	190,584	153,824	172,204	19,29%

Berdasarkan rekapitulasi nilai kekakuan elastis pada **Tabel 7**, terlihat nilai rata-rata kekakuan elastis pada model dinding tanpa bukaan (kode A) lebih besar dibanding model dinding lain. Hal ini sesuai dengan perhitungan pendekatan nilai kekakuan teoritis pada analisa teoritis sebelumnya. Berdasarkan **Tabel 7**, hal yang serupa juga terdapat pada model dinding B dan C, dimana pada model dinding bukaan tengah (kode B), nilai rata-rata kekakuan elastisnya lebih kecil dibandingkan model dinding lain.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, dalam penelitian ini, nilai kemiringan kurva histeresis direpresentasikan dalam nilai kemiringan garis kekakuan elastis. Sehingga dengan menghitung selisih nilai kekakuan elastis antara akibat beban dari sebelah kanan dan kiri, dapat diketahui perbedaan kemiringan kurva histeresis setiap model dinding. Dari **Tabel 7**, dapat diketahui bahwa perbedaan kemiringan terbesar terdapat pada model dinding bukaan tepi (kode C). Sedangkan untuk model dinding tanpa bukaan (kode A) dan bukaan tengah (kode B), selisih kekakuan elastis akibat beban dari kiri dan kanan cenderung kecil. Hal ini sesuai dengan analisa teoritis sebelumnya dimana perbedaan kemiringan terbesar terdapat pada model dinding bukaan tepi (kode C).

Analisa Derajat Inklinasi

Dalam penelitian ini, derajat inklinasi merupakan derajat kemiringan dari kurva selubung yang ditunjukkan dalam bentuk besaran kekakuan (gaya

dibagi perpindahan). Peninjauan derajat inklinasi tersebut dilakukan per segmen, dimana setiap segmen merupakan hubungan antara dua titik pada kurva selubung. Dengan membandingkan kemiringan antar segmen, dapat diketahui tingkat kelinearan kurva selubung. Selain itu, juga dapat diketahui pola kurva selubung dari setiap model dinding.

Untuk mengetahui tingkat kelinearan dari kurva selubung, dihitung selisih antara kemiringan setiap segmen dengan kemiringan segmen pertama. Dengan membandingkan selisih kemiringan tersebut, dapat diketahui tingkat kelinearan dari dua segmen. Jika selisih kemiringan atau inklinasi kurang dari 5%, maka kedua segmen tersebut masih dianggap linear. Sedangkan jika selisih kemiringan atau inklinasi lebih dari 100%, maka inklinasi pada segmen tersebut adalah menurun.

Hasil perhitungan derajat inklinasi untuk model dinding tanpa bukaan (kode A), model dinding bukaan tengah (kode B), dan model dinding bukaan tepi (kode C), secara berurutan, dapat dilihat pada **Tabel 8**, **Tabel 9**, dan **Tabel 10**.

Dari **Tabel 8** untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A, dapat dilihat pola yang hampir sama pada kedua sisi. Seiring bertambahnya nilai perpindahan (kurva selubung menjauhi garis sumbu y), inklinasi kurva selubung semakin landai hingga arah inklinasi berubah turun (selisih derajat inklinasi lebih dari 100 %). Sebelum arah inklinasi berubah turun,

Tabel 8 Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	Δ	P	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi		Δ	P	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi
	(mm)	(kg)	(%)	(%)		(mm)	(kg)	(%)	(%)
0	0,000	0	0	0 %	0	0,000	0	0	0 %
2	-0,300	-113	376,667	0 %	1	0,300	97	323,333	0 %
6	-0,527	-209	422,573	12,19 %	5	0,578	201	374,342	15,78 %
10	-1,254	-376	229,634	39,04 %	9	1,146	371	299,390	7,41 %
14	-2,482	-600	182,523	51,54 %	13	2,180	556	178,888	44,67 %
18	-3,648	-730	111,453	70,41 %	17	3,489	509	-35,897	111,10 %
22	-4,847	-681	-40,860	110,85 %	21	4,675	544	29,518	90,87 %
26	-7,244	-747	27,541	92,69 %	25	7,087	500	-18,241	105,64 %
30	-9,645	-736	-4,581	101,22 %	29	8,581	511	7,361	97,72 %
34	-10,843	-662	-61,779	116,40 %	33	10,730	438	-33,975	110,51 %
38	-12,043	-680	15,000	96,02 %	37	11,926	427	-9,200	102,85 %
42	-14,436	-666	-5,851	101,55 %	41	14,329	444	7,073	97,81 %
46	-16,815	-645	-8,826	102,34 %	45	16,747	430	-5,790	101,79 %
50	-19,282	-624	-8,514	102,26 %	49	19,176	420	-4,118	101,27 %
54	-21,634	-622	-0,850	100,23 %	53	21,492	404	-6,908	102,14 %
58	-23,122	-549	-49,042	113,02 %	57	23,951	380	-9,761	103,02 %

Tabel 9 Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	Δ	P	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi		Δ	P	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi
	(mm)	(kg)	(kg/mm)	(%)		(mm)	(kg)	(kg/mm)	(%)
0	0,000	0		0 %	0	0,000	0		0 %
2	-0,281	-56,5	200,820	0 %	1	0,238	61	256,220	0 %
6	-0,547	-94	141,304	29,64 %	5	0,478	97	150,181	41,39 %
10	-1,024	-149	115,183	42,64 %	9	1,108	150	84,088	67,18 %
14	-2,129	-231,5	74,654	62,83 %	13	1,957	213,5	74,790	70,81 %
18	-3,296	-250	15,852	92,11 %	17	3,359	296	58,840	77,04 %
22	-4,430	-270	17,636	91,22 %	21	4,500	355	51,737	79,81 %
26	-6,796	-336	27,902	86,11 %	25	6,709	428	33,043	87,10 %
30	-9,207	-365	12,025	94,01 %	29	9,016	463	15,170	94,08 %
34	-10,356	-345	-17,410	108,67 %	33	10,213	429	-28,397	111,08 %
38	-11,568	-350,5	4,537	97,74 %	37	11,431	448	15,608	93,91 %
42	-13,937	-385	14,567	92,75 %	41	12,910	470	14,875	94,19 %
46	-16,290	-410	10,623	94,71 %	45	16,184	441	-8,856	103,46 %
50	-18,695	-412	0,832	99,59 %	49	18,581	430,5	-4,382	101,71 %
54	-21,058	-450,5	16,290	91,89 %	53	21,007	429	-0,618	100,24 %
58	-23,485	-444	-2,679	101,33 %	57	23,404	407	-9,181	103,58 %
62	-25,855	-335	-45,979	122,90 %	61	25,918	383	-9,546	103,73 %

Tabel 9 Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	Δ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		Δ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0			0	0	0		
2	-0,287	-73	254,413		1	0,3	87	290,000	
6	-0,587	-116	143,333	43,66 %	5	0,613	115	89,438	64,85 %
10	-1,182	-188	121,008	52,44 %	9	1,203	197	138,983	45,37 %
14	-2,459	-279	71,255	71,99 %	13	2,050	291	111,052	56,35 %
18	-3,678	-247	-26,243	110,32 %	17	3,464	404	79,877	68,60 %
22	-4,901	-248	0,818	99,68 %	21	4,591	473	61,254	75,92 %
26	-7,348	-247	-0,409	100,16 %	25	5,181	488	25,424	90,01 %
30	-9,745	-250	1,252	99,51 %	29	9,365	521	7,887	96,90 %
34	-10,963	-243	-5,744	102,26 %	33	10,549	520	-0,844	100,33 %
38	-12,183	-251	6,561	97,42 %	37	11,739	531	9,244	96,37 %
42	-14,593	-272	8,711	96,58 %	41	14,116	570	16,412	93,55 %
46	-16,995	-283	4,581	98,20 %	45	16,528	552	-7,461	102,93 %
50	-19,438	-288	2,046	99,20 %	49	18,899	564	5,061	98,01 %
54	-21,787	-304	6,811	97,32 %	53	21,334	541	-9,446	103,71 %
58	-24,187	-308	1,667	99,34 %	57	23,769	517	-9,857	103,87 %
62	-26,598	-303	-2,074	100,82 %	61	26,150	483	-14,278	105,61 %

bentuk kurva selubung cenderung non-linear, ditinjau dari selisih derajat inklinasi. Setelah arah inklinasi berubah turun, bentuk kurva selubung mendekati linear hingga pembacaan tidak dapat dilanjutkan.

Berdasarkan **Tabel 9** untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B, dapat dilihat pada sisi kanan dan kiri kurva selubung, terdapat kemiripan pola bentuk kurva selubung antar keduanya, ditinjau dari nilai derajat inklinasi. Seiring bertambahnya nilai perpindahan, inklinasi pada sisi kanan dan kiri akan semakin landai, hingga arah inklinasi berubah turun pada segmen yang sama. Sebelum arah inklinasi berubah turun, bentuk kurva selubung cenderung non-linear, ditinjau dari selisih derajat inklinasi. Setelah arah inklinasi berubah turun, arah inklinasi cenderung naik dan turun,

dengan besarnya inklinasi naik kurang dari 20 % inklinasi awal.

Pada **Tabel 10** untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C, terdapat perbedaan pada titik belok kurva selubung. Pada sisi kiri kurva selubung, titik belok terjadi di antara segmen 4 dan 5 (langkah 10-14-18). Sedangkan pada sisi kanan, titik belok terdapat di antara segmen 8 dan 9 (langkah 25-29-33). Berdasarkan data pada **Tabel 10**, terlihat bahwa kurva selubung cenderung non-linear sebelum titik belok. Namun setelah titik belok, terlihat kelinearan pada beberapa segmen dengan perbedaan selisih derajat inklinasi kurang dari 5 %.

HASIL DAN KESIMPULAN

Besarnya nilai kekakuan elastis berbanding lurus dengan besarnya tingkat kemiringan kurva histeresis terhadap sumbu horisontal, dimana semakin besar nilai kekakuan elastis, maka semakin besar pula nilai gaya/beban lateral (P) yang dibutuhkan untuk mencapai nilai perpindahan yang sama (Δ). Atau dengan kata lain, semakin besar nilai kekakuan elastis, semakin besar pula kemampuan model dinding dalam menahan gaya lateral (P) pada kondisi elastis.

Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan data, diketahui bahwa nilai kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaan (kode A), dengan kinerja antara akibat beban dari sebelah kanan dan kiri cenderung seimbang. Untuk model dinding bukaan tengah (kode B), kinerja akibat beban dari sebelah kanan dan kiri juga cenderung seimbang, namun dengan nilai kekakuan elastis terkecil dibandingkan model dinding lain. Untuk model dinding bukaan tepi (kode C), nilai kekakuan elastis lebih besar dibandingkan model dinding bukaan tengah (kode B), namun dengan kinerja yang cenderung berbeda antara akibat beban dari kanan dan kiri.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E 2616. 2005. *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM C 1314. 2001. *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 15-2094-2000 : Bata Merah Pejal untuk Pasangan Dinding*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- FEMA 356. 2000. *Prestandart and Comentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC : The Federal Emergency Management Agency.
- Iyer, K., Murty, C.V.R., Kulkarni, S.M., Goswami, R., Subramaniam, S. & Vijayanarayanan, A.R. 2013. *Build a Safe House with Confined Masonry*. Gujarat : Gujarat State Disaster Management Authority.
- Wisnumurti. 2013. *Struktur Dinding Pasangan Bata Merah Lokal Dengan Perkuatan Bilah Bambu Di Daerah Rawan Gempa*. *Disertasi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya