

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

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**PUTRA ADI NUGRAHA**  
**NIM. 115060100111013**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**

**LEMBAR PENGESAHAN**

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

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**PUTRA ADI NUGRAHA  
NIM. 115060100111013**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 24 Juni 2016

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Wisnumurti, MT.**  
NIP. 19641207 199002 1 001

**Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST., MT.**  
NIP. 19751122 199903 1 003

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1**

**Dr.Eng. Indradi W, ST., M.Eng (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002

**LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 24 Juni 2016

Mahasiswa,

**PUTRA ADI NUGRAHA**

**NIM. 115060100111013**



**HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI**

Judul Skripsi :

Pengaruh Letak Bukaannya terhadap Kinerja Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral

Nama Mahasiswa : Putra Adi Nugraha

NIM. : 115060100111013

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

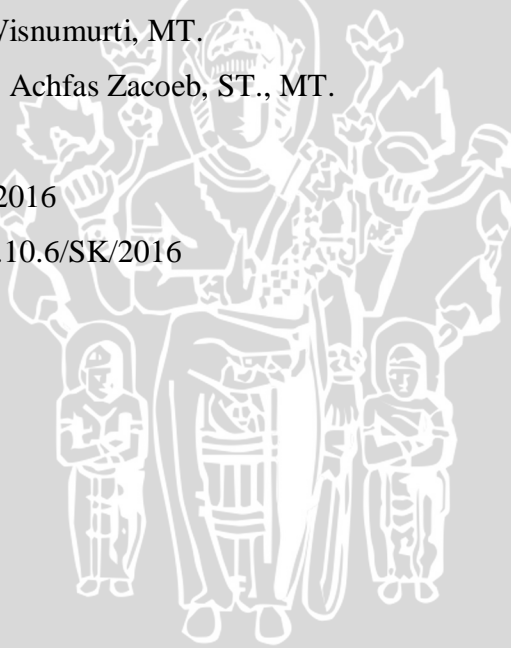
Dosen Penguji 1 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST., MT.

Tanggal Ujian : 16 Juni 2016

SK Penguji : 742/UN.10.6/SK/2016



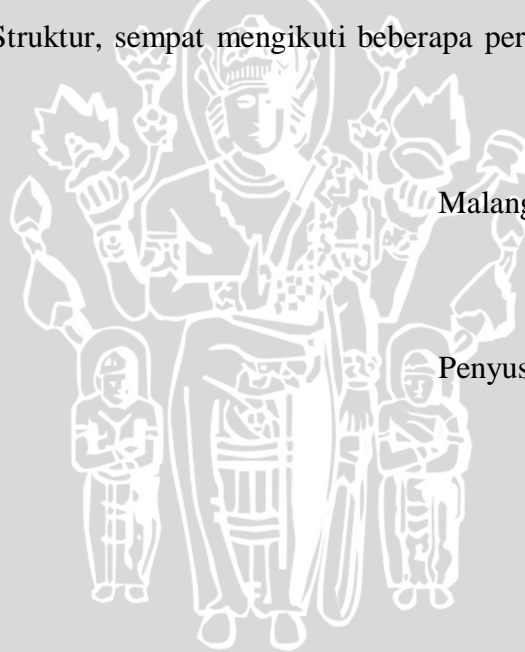
## RIWAYAT HIDUP

Putra Adi Nugraha, kelahiran Malang, 17 Juli 1993, merupakan putra kedua dari dua bersaudara dari pasangan Sunaryo dan Li'anah. Mulai mengenyam pendidikan dasar di SDN Landungsari 02, Kabupaten Malang sejak tahun 1999 dan lulus pada tahun 2005. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 13 Kota Malang dan lulus pada tahun 2008. Selepas pendidikan menengah pertama, melanjutkan pendidikan di SMKN 4 Malang, dengan bidang keahlian Multimedia hingga tahun 2011.

Pada tahun 2011, teringat pada impian masa kecil untuk menjadi perancang bangunan handal, memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Selama masa kuliah, aktif menjadi asisten dan laboran Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, serta sempat terlibat dalam beberapa proyek penyelidikan tanah. Selain itu, untuk mengasah keilmuan dalam bidang Struktur, sempat mengikuti beberapa perlombaan dalam skala nasional.

Malang, Juni 2016

Penyusun



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Letak Bukaian terhadap Kinerja Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral”. Tidak lupa sholawat serta salam selalu saya curahkan kehadirat junjungan umat Islam, Nabi Besar Muhammad SAW yang selalu membimbing kami dalam kebenaran.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah membantu akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan, oleh karena itu saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Wisnumurti, MT. dan Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
2. Christin Remayanti N., ST., MT., selaku dosen penguji dan dosen struktur, yang telah memberikan masukan dalam pengerjaan serta penulisan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS., selaku kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, yang telah memberikan izin, kemudahan, masukan, serta berbagai bantuan selama penelitian kami.
4. Ir. Sugeng P. Budio, MS., dan Ir. Siti Nurlina, MT., selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, yang telah membimbing dari awal perkuliahan hingga tugas akhir ini.
5. Dr.Eng. Indradi W, ST., M.Eng (Prac), selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya, yang telah memberikan kemudahan dalam pengerjaan penelitian kami ini.
6. Ibu, Bapak, Kakak, dan segenap keluarga yang telah memberi bantuan moral dan materi dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Rekan Tim Penelitian dan Skripsi, Jalu Narayana, yang telah bekerja sama dan berjuang bersama dalam penelitian skripsi ini.
8. Bapak Sugeng dan Mas Dino selaku laboran Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi yang telah membantu serta memberikan berbagai masukan selama penelitian kami di Laboratorium.
9. Pak Suwardi dan Mas Ipul, yang telah membantu pengerjaan pembuatan sampel.

10. Jono, Rizki, Mamen, Aji, Mustofa, dan seluruh teman-teman Teknik Sipil angkatan 2011 lainnya, yang telah bersedia menyisihkan waktu dan tenaga untuk membantu penelitian kami di Laboratorium.
11. Seluruh sahabat dan teman-teman, yang selalu memberikan *support* semangat hingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini.
12. Pak Pardi, Mas Anto, Pak Hadi serta berbagai pihak yang secara tidak langsung telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

Kritik dan saran saya harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini juga bermanfaat bagi pembaca khususnya untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, Juni 2016

Penyusun





## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Dinding Bata Merah .....	5
2.1.1 Bata Merah.....	6
2.1.2 Mortar .....	6
2.2 Dinding Bata Terkekang (Confined Masonry).....	6
2.2.1 Karakteristik Keruntuhan pada Dinding Bata Terkekang .....	7
2.2.2 Mekanisme Keruntuhan pada Dinding Bata Terkekang .....	9
2.3 Bukaan .....	10
2.4 <i>Cyclic Load Test</i> (ASTM E 2126).....	11
2.5 Uji Kuat Tekan Prisma Pasangan Bata Merah .....	15
2.6 Faktor Koreksi.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	19
3.1 Rancangan Penelitian.....	19
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	20
3.5 Prosedur Penelitian .....	22
3.6 Variabel Penelitian .....	23
3.7 Benda Uji dan <i>Setting Up</i> .....	23

3.8 Metode Analisis .....	27
3.9 Hipotesis.....	28
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Analisa Material Penyusun Model Dinding Bata Terkekang.....	29
4.1.1 Karakteristik Fisik Bata Merah .....	29
4.1.1.1 Kuat Tekan Bata Merah .....	31
4.1.1.2 Uji Tegangan Lentur Bata Merah .....	32
4.1.1.3 Uji Kuat Tekan Mortar .....	33
4.1.1.4 Uji Kuat Tekan Bata Merah (SNI 15-2094-2000).....	35
4.1.1.5 Uji Kuat Tekan Prisma Pasangan Bata Merah .....	37
4.1.2 Beton.....	38
4.1.2.1 Kolom-Balok Pengekang .....	38
4.1.2.2 Balok <i>Sloof</i> .....	39
4.1.3 Tulangan .....	40
4.2 Pengujian Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral .....	42
4.3 Hasil Pengujian Beban Siklik Lateral .....	44
4.3.1 Model Dinding Tanpa Bukaan (Kode A) .....	45
4.3.2 Model Dinding Bukaan Di Tengah (Kode B) .....	49
4.3.3 Model Dinding Bukaan Di Tepi (Kode C) .....	54
4.4 Analisis Teoritis Perbedaan Kemiringan pada Kurva Histeresis .....	58
4.5 Analisis Kurva Selubung Pada Kurva Histeresis .....	59
4.6 Analisis Derajat Inklinasi pada Kurva Selubung .....	62
4.6.1 Model Dinding tanpa Bukaan (Kode A) .....	63
4.6.2 Model Dinding Bukaan Tengah (Kode B) .....	65
4.6.3 Model Dinding Bukaan Tepi (Kode C) .....	68
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran .....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai amplitudo untuk pola kedua (Metode B).....	13
Tabel 2.2	Nilai amplitudo untuk metode B yang telah disesuaikan .....	13
Tabel 2.3	Hubungan antara ( $h_p/t_p$ ) dan faktor koreksi .....	16
Tabel 2.4	Perbandingan kuat tekan beton terhadap bentuk sampel .....	18
Tabel 2.5	Perbandingan kuat tekan beton terhadap berbagai umur beton .....	18
Tabel 3.1	Rencana form pengujian siklik lateral pada dinding .....	28
Tabel 4.1	Hasil pengukuran dimensi bata asli dan terskala .....	30
Tabel 4.2	Hasil pengujian kuat tekan bata merah .....	31
Tabel 4.3	Hasil pengujian tegangan lentur bata merah .....	33
Tabel 4.4	Hasil pengujian kuat tekan mortar .....	35
Tabel 4.5	Hasil pengujian kuat tekan bata merah .....	36
Tabel 4.6	Hasil pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah .....	38
Tabel 4.7	Hasil pengujian kuat tekan beton kolom-balok pengekang .....	39
Tabel 4.8	Hasil pengujian kuat tekan beton balok <i>sloof</i> .....	40
Tabel 4.9	Diameter tulangan yang digunakan .....	41
Tabel 4.10	Rekapitulasi tanggal pembuatan dan pengujian dinding .....	43
Tabel 4.11	Nilai $P_{puncak}$ , $P_{(0,4 \times P_{puncak})}$ , $\Delta_e$ , dan $K_e$ kurva selubung pertama .....	44
Tabel 4.12	Nilai $P_{puncak}$ , $P_{(0,4 \times P_{puncak})}$ , $\Delta_e$ , dan $K_e$ kurva selubung kedua .....	44
Tabel 4.13	Nilai $\sigma_{1,2}$ untuk setiap model dinding dengan beban dari kanan dan kiri .....	59
Tabel 4.14	Rekapitulasi nilai kekakuan elastis siklus pertama .....	60
Tabel 4.15	Rekapitulasi nilai kekakuan elastis siklus kedua .....	60
Tabel 4.16	Hasil pendekatan nilai kekakuan teoritis model dinding .....	61
Tabel 4.17	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A1 .....	63
Tabel 4.18	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A2 .....	64
Tabel 4.19	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B1 .....	66
Tabel 4.20	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B2 .....	66
Tabel 4.21	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B3 .....	67
Tabel 4.22	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C1 .....	68

Tabel 4.23	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C2 .....	69
Tabel 4.24	Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C3 .....	70



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Aturan penyusunan bata merah.....	5
Gambar 2.2	Ilustrasi dinding terkekang ( <i>confined masonry</i> ) .....	7
Gambar 2.3	Karakteristik keruntuhan pada dinding bata terkekang .....	8
Gambar 2.4	Keruntuhan pada dinding dengan bukaan .....	8
Gambar 2.5	Mekanisme keruntuhan geser .....	10
Gambar 2.6	Konfigurasi pengujian pembebanan siklik lateral.....	11
Gambar 2.7	<i>Cyclic Displacement Schedule</i> (Metode B) .....	12
Gambar 2.8	Contoh kurva histeresis dan envelope curve untuk metode B.....	14
Gambar 2.9	<i>Envelope curve</i> dan kurva <i>EEEEP</i> .....	14
Gambar 2.10	Ilustrasi sampel prisma pasangan bata merah .....	15
Gambar 2.11	Grafik hubungan antara kuat tekan mortar dan ketebalan sampel .....	16
Gambar 2.12	Grafik hubungan antara kuat tekan beton dan ukuran sampel kubus .....	17
Gambar 2.13	Kurva hubungan kuat tekan beton dan diameter benda uji .....	18
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian .....	20
Gambar 3.2	Tampak depan dan samping model dinding benda uji .....	23
Gambar 3.3	Detail tulangan untuk balok sloof .....	24
Gambar 3.4	Detail tulangan untuk kolom-balok pengekang .....	24
Gambar 3.5	Ukuran bata merah yang digunakan .....	25
Gambar 3.6	Jenis benda uji berdasarkan letak bukaan .....	25
Gambar 3.7	<i>Setting up</i> pembebanan untuk model dinding tanpa bukaan (kode A) .....	26
Gambar 3.8	<i>Setting up</i> pembebanan untuk model dinding bukaan di tengah (kode B) .....	26
Gambar 3.9	<i>Setting up</i> pembebanan untuk model dinding bukaan di tepi (kode C) .....	27
Gambar 4.1	Bata merah terskala dan bata merah asli .....	29
Gambar 4.2	Alat pengukur dimensi dan berat bata merah .....	30
Gambar 4.3	Pengujian kuat tekan bata merah, sebelum dan sesudah pembebanan .....	32

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.4	Pengujian tegangan lentur pada salah satu benda uji .....	33
Gambar 4.5	Sampel uji kuat tekan mortar .....	34
Gambar 4.6	Pengujian kuat tekan mortar pada salah satu sampel .....	34
Gambar 4.7	Sampel uji kuat tekan bata merah .....	35
Gambar 4.8	Konfigurasi pengujian kuat tekan bata merah .....	36
Gambar 4.9	Pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah .....	37
Gambar 4.10	Benda uji kubus 5 x 5 x 5 cm .....	38
Gambar 4.11	Pengukuran diameter tulangan kolom .....	41
Gambar 4.12	Pengukuran diameter tulangan balok <i>sloof</i> .....	41
Gambar 4.13	Instalasi pengujian siklik lateral .....	42
Gambar 4.14	Pola kerusakan model dinding A1 tanpa bukaan dengan kurva histeresisnya .....	46
Gambar 4.15	Kurva selubung benda uji A1 .....	46
Gambar 4.16	Kemiringan kurva selubung A1 .....	46
Gambar 4.17	Pola kerusakan model dinding A3 tanpa bukaan dengan kurva histeresisnya .....	47
Gambar 4.18	Kurva selubung benda uji A3 .....	47
Gambar 4.19	Kemiringan kurva selubung A3 .....	47
Gambar 4.20	Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding A .....	48
Gambar 4.21	Pola kerusakan model dinding B1 bukaan di tengah dengan kurva histeresisnya .....	50
Gambar 4.22	Kurva selubung benda uji B1 .....	50
Gambar 4.23	Kemiringan kurva selubung B1 .....	50
Gambar 4.24	Pola kerusakan model dinding B2 bukaan di tengah dengan kurva histeresisnya .....	51
Gambar 4.25	Kurva selubung benda uji B2 .....	51
Gambar 4.26	Kemiringan kurva selubung B2 .....	51
Gambar 4.27	Pola kerusakan model dinding B3 bukaan di tengah dengan kurva histeresisnya .....	52
Gambar 4.28	Kurva selubung benda uji B3 .....	52
Gambar 4.29	Kemiringan kurva selubung B3 .....	52

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.30	Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding B .....	53
Gambar 4.31	Pola kerusakan model dinding C1 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya .....	55
Gambar 4.32	Kurva selubung benda uji C1 .....	55
Gambar 4.33	Kemiringan kurva selubung C1 .....	55
Gambar 4.34	Pola kerusakan model dinding C2 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya .....	56
Gambar 4.35	Kurva selubung benda uji C2 .....	56
Gambar 4.36	Kemiringan kurva selubung C2 .....	56
Gambar 4.37	Pola kerusakan model dinding C3 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya .....	57
Gambar 4.38	Kurva selubung benda uji C3 .....	57
Gambar 4.39	Kemiringan kurva selubung C3 .....	57
Gambar 4.40	Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding C .....	58
Gambar 4.41	Perbandingan rata-rata kurva selubung siklus pertama .....	62
Gambar 4.42	Ilustrasi perhitungan derajat inklinasi kurva selubung .....	63





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## RINGKASAN

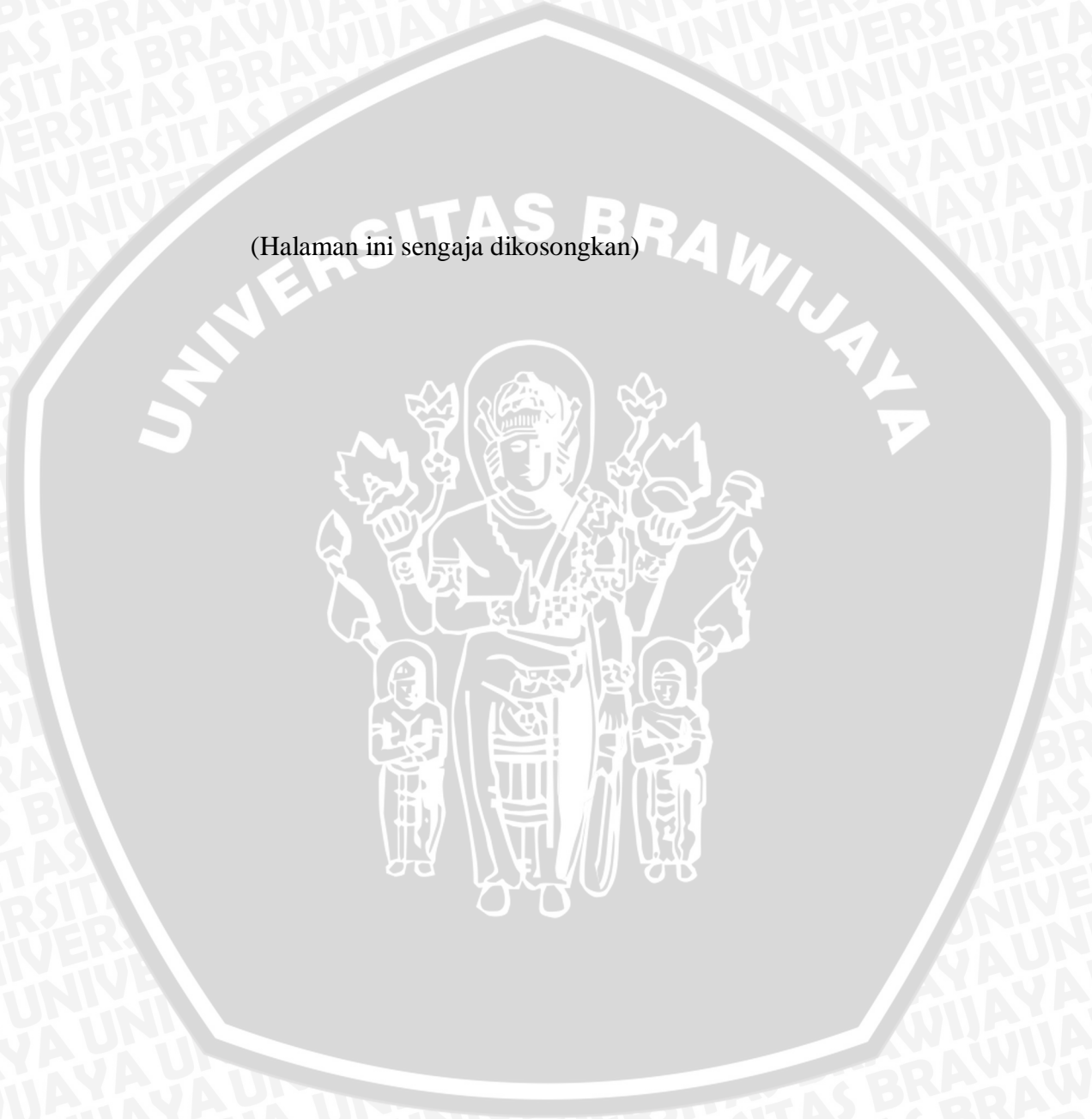
**Putra Adi Nugraha**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juni 2016, *Pengaruh Letak Bukaannya Terhadap Kinerja Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral*, Dosen Pembimbing : Wisnumurti dan Achfas Zacoeb.

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

Pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh letak bukaannya terhadap kinerja dinding bata terkekang dengan beban siklik lateral. Model dinding bata terkekang dibuat dalam skala model 1:2,5. Bata merah yang digunakan merupakan bata merah lokal cetak tangan produksi Turen, Kab. Malang. Dalam penelitian ini, kinerja dinding bata terkekang sendiri ditinjau berdasarkan kemiringan kurva histeresis. Kemiringan kurva histeresis sendiri merupakan representasi nilai kekakuan elastis. Dalam penelitian ini, model dinding yang diuji terdiri dari tiga macam variasi berdasarkan letak bukaannya, antara lain model dinding tanpa bukaannya (kode A), bukaannya di tengah (kode B), dan bukaannya di bagian tepi (kode C). Pengujian dilakukan dengan membebani model dinding benda uji dengan beban siklik lateral, sesuai metode *ISO 16670 Protocol ASTM E 2126* yang telah disesuaikan untuk pembebanan pada dinding bata terkekang. Penyesuaian tersebut didasarkan pada penelitian sebelumnya. Pembacaan saat pengujian dilakukan dengan kontrol *displacement*.

Hasil pengujian menunjukkan, dengan mengacu pada hasil pengujian terbaik (A3, B1, dan C2), berdasarkan kemiringan kurva histeresis, perbedaan kinerja terbesar akibat pembebanan siklik lateral, antara beban dari arah kanan dan kiri, terdapat pada model dinding bukaannya tepi (kode C2). Sedangkan untuk model dinding tanpa bukaannya (kode A2) dan model dinding bukaannya tengah (kode B1), kinerja akibat pembebanan siklik lateral, antara beban dari arah kanan dan kiri, cenderung seimbang. Nilai kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaannya (kode A2). Sedangkan nilai kekakuan elastis terkecil terdapat pada model dinding dengan bukaannya tengah (kode B1).

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



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## SUMMARY

**Putra Adi Nugraha**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2016, *Effect of Opening Position on Confined Masonry Performance with Cyclic Lateral Load*, Academic Supervisor : Wisnumurti and Achfas Zacoeb.

Confined masonry wall is unreinforced masonry wall which confined with reinforced concrete on side of wall vertically and horizontally. The reinforced concrete is casted in-situ with the wall. Concrete of the reinforced concrete is poured after the unreinforced masonry wall has been made. 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.

To find out the effect of opening position on confined masonry performance with cyclic lateral load, cyclic lateral load test on confined masonry model was performed. The test was performed on confined masonry model with 1 : 2,5 scale, which made of locally handmade bricks of Turen, Malang district. The loading test was conducted based on ISO 16670 Protocol method of ASTM E 2126 which has been adjusted for confined masonry loading test. The adjustment of the method was based on previous research. Eight confined masonry models which consists of two models without opening (code A), three models with center opening (code B), and three models with side opening (code C), were tested. Using the slope of envelope curve from hysteresis curve, which is representation of elastic stiffness, the confined masonry performance was observed.

Based on the best test data (A2, B1, and C2), with referring to the slope of envelope curve from hysteresis 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 C2). Meanwhile, the performance caused by lateral load from right and left side, on wall model without opening (code A2) and wall model with center opening (code B1) are inequilibrium. The biggest elastic stiffness is on wall model without opening (code A2). Meanwhile, the smallest elastic stiffness is on wall model with center opening (code B1).

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



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dinding merupakan salah satu komponen yang tidak dapat dipisahkan dari konstruksi bangunan, khususnya konstruksi bangunan gedung. Pada dasarnya, dinding merupakan pelingkup, pemisah, dan pelindung ruang-ruang interior dalam bangunan gedung (Ching & Adams, 2008).

Salah satu jenis dinding yang umum digunakan oleh masyarakat Indonesia adalah dinding bata merah. Oleh masyarakat Indonesia, dinding bata merah dinilai lebih ekonomis dan kuat jika dibandingkan dengan jenis dinding lain. Selain itu, dinding bata merah juga dinilai relatif lebih mudah dalam pengerjaannya serta ketersediaan material bata merah yang cukup melimpah.

Meskipun demikian, dinding bata merah merupakan komponen bangunan yang rentan terhadap keruntuhan, khususnya keruntuhan akibat beban gempa. Hal ini karena oleh masyarakat Indonesia, dinding bata merah masih dianggap sebagai struktur sekunder suatu bangunan. Anggapan tersebut berdampak pada kurangnya perhatian terhadap perilaku sesungguhnya dinding bata merah, khususnya bata merah lokal cetak tangan. Pada kejadian gempa besar ditunjukkan bahwa mayoritas korban jiwa timbul karena runtuhnya struktur dinding yang berakibat pada keruntuhan bangunan secara total.

Di Indonesia, perencanaan dan analisis untuk melihat perilaku struktur dinding bata merah, masih didasarkan pada referensi dari negara-negara maju. Padahal menurut (Frick, 1980), karakter bata merah lokal kurang keras dan padat jika dibandingkan dengan bata negara maju.

Di samping itu, adanya bukaan pada struktur dinding juga dapat berpengaruh terhadap perilaku struktur dinding. Bukaan merupakan luasan berlubang pada struktur dinding yang berfungsi sebagai penunjang kegiatan dalam bangunan gedung. Bukaan merupakan akses keluar-masuk manusia maupun sirkulasi udara pada bangunan gedung. Bukaan dapat berupa pintu, jendela, ataupun lubang angin. Berdasarkan teori kekakuan bahan pada umumnya, besarnya luasan bahan pada sumbu potongan yang searah beban, berbanding lurus dengan besarnya kekakuan bahan. Sementara, besarnya

kekakuan bahan juga berbanding lurus dengan kekuatan bahan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan bukaan pada struktur dinding berpengaruh terhadap perubahan perilaku struktur dinding.

Pembuatan diagram P- $\Delta$  merupakan salah satu cara untuk melihat perilaku sesungguhnya suatu struktur bangunan, khususnya akibat beban gempa. Diagram P- $\Delta$  merupakan diagram hubungan antara besarnya beban yang diberikan dan deformasi yang terjadi pada suatu struktur. Pembuatan diagram P- $\Delta$  dapat dilakukan berdasarkan data pembebanan bolak-balik (siklik lateral) pada dinding. Prosedur pelaksanaan pembebanan siklik lateral dapat dilakukan dengan mengacu pada ASTM E 2126 tentang “*Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*”.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian untuk melihat perilaku sesungguhnya struktur dinding bata merah lokal cetak tangan mutlak diperlukan. Hal ini merupakan solusi jangka pendek dalam upaya pengurangan kerugian akibat bencana gempa bumi, khususnya kerugian berupa korban jiwa. Dalam penelitian ini, penelitian akan difokuskan pada pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding terkekang dengan beban siklik lateral.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, dapat diidentifikasi bahwa perilaku sesungguhnya dari struktur dinding bata merah lokal cetak tangan terhadap beban siklik lateral, khususnya akibat pengaruh letak bukaan pada dinding, masih harus diteliti. Adapun beberapa perilaku yang dimaksud adalah kekakuan dinding serta kemiringan diagram P-  $\Delta$ .

### **1.3 Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan sebelumnya, adapun beberapa rumusan masalah yang muncul adalah bagaimana pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang akibat beban siklik lateral, ditinjau dari kemiringan diagram hubungan P- $\Delta$  ?

#### 1.4 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Kinerja dinding bata terkekang ditinjau terhadap kemiringan diagram hubungan  $P-\Delta$ .
2. Kekakuan dinding yang ditinjau adalah kekakuan elastis berdasarkan kurva *EEEEP (Equivalent Energy Elastic-Plastic)*.
3. Untuk setiap model dinding benda uji, hanya digunakan satu jenis bata.
4. Jenis pasangan dinding bata merah yang digunakan adalah pasangan setengah bata.
5. Model dinding benda uji dibuat dengan skala 1 : 2,5

#### 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang akibat beban siklik lateral. Dengan kinerja dinding bata terkekang ditinjau berdasarkan kemiringan diagram hubungan  $P-\Delta$ .

#### 1.6 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi perencanaan dan analisis struktur dinding bata merah lokal cetak tangan.
2. Dengan data perilaku struktur dinding bata merah lokal cetak tangan yang diteliti, diharapkan dapat digunakan dalam upaya pencegahan dampak gempa bumi.
3. Dapat menjadi sumber referensi untuk penelitian dengan inovasi lebih lanjut mengenai struktur dinding bata merah lokal cetak tangan.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





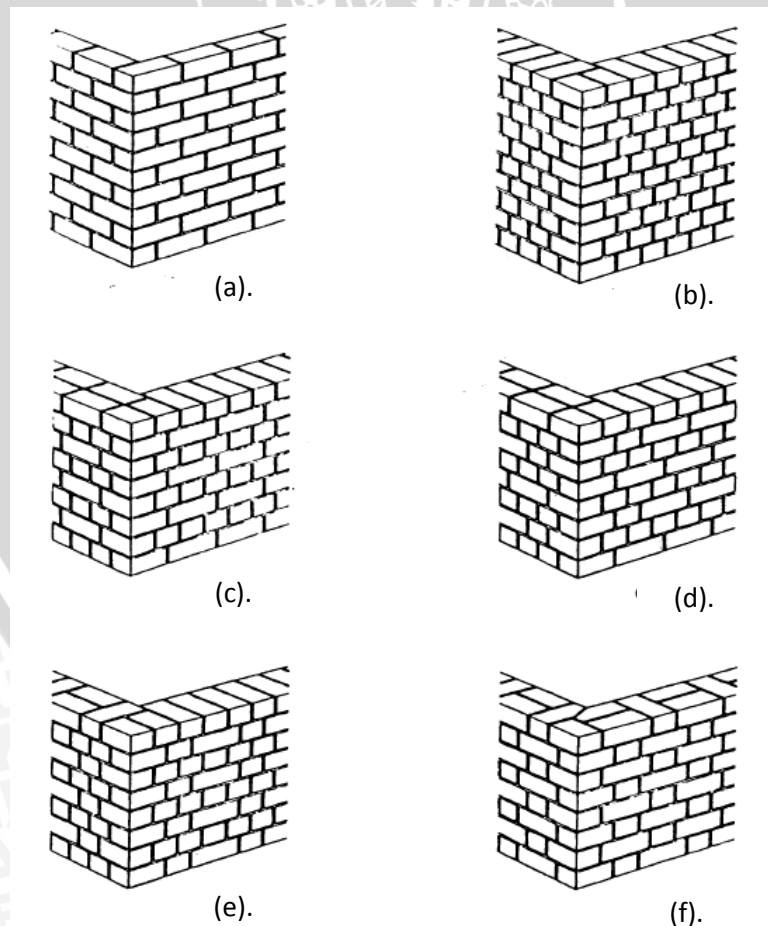
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dinding Bata Merah

Dinding merupakan konstruksi vertikal pada bangunan yang berfungsi sebagai pelingkup dan pemisah ruang-ruang interior di dalamnya (Ching & Adams, 2008). Selain itu, dinding juga berfungsi sebagai peredam suara serta penahan suhu panas untuk ruang interior di dalamnya (Turang, Sumajouw, & Windah, 2014).

Berdasarkan jenis bahan penyusunnya, konstruksi dinding dapat dibedakan dalam beberapa jenis. Salah satu jenis dinding yang umum digunakan oleh masyarakat Indonesia adalah dinding bata merah. Hal ini terkait dengan kemudahan pengerjaan serta ketersediaan material batu bata yang cukup melimpah.



**Gambar 2.1** Aturan penyusunan bata merah  
Sumber : (Frick, 1980)

Menurut (Frick, 1980), aturan penyusunan bata merah dapat dibedakan berdasarkan pengaturannya, yaitu aturan batu memanjang atau setengah bata (Gambar 2.1.a), aturan batu melintang (Gambar 2.1.b), aturan batu memanjang-melintang bersilang (Gambar 2.1.c), aturan batu silang (Gambar 2.1.d), aturan batu Belanda (Gambar 2.1.e), dan aturan batu Gothik (Gambar 2.1.f).

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan dinding bata merah. Saat dilakukan penyusunan bata merah, siar vertikal harus diusahakan bersilang, tidak dalam satu garis lurus (Frick, 1980). Selain itu, bata merah yang digunakan harus dalam keadaan kering, kecuali sesaat sebelum penyusunan bata merah.

### 2.1.1 Bata Merah

Bata merah telah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia sebagai bahan penyusun dinding, baik untuk rumah sederhana maupun gedung bertingkat. Mayoritas bata merah di Indonesia masih dibuat dalam skala *home industry* oleh masyarakat pedesaan. Bata merah dibuat dengan mencampurkan lempung atau tanah liat, sekam padi, kotoran binatang, dan air (Frick, 1980).

Standar ukuran bata merah (panjang x lebar x tebal) adalah 230 x 110 mm x 50 mm dengan penyimpangan maksimal untuk panjang sebesar 3%, lebar sebesar 4%, dan tebal sebesar 5% (Frick, 1980). Namun, ukuran tersebut dapat berubah sesuai perjanjian pembeli dan penjual (pembuat).

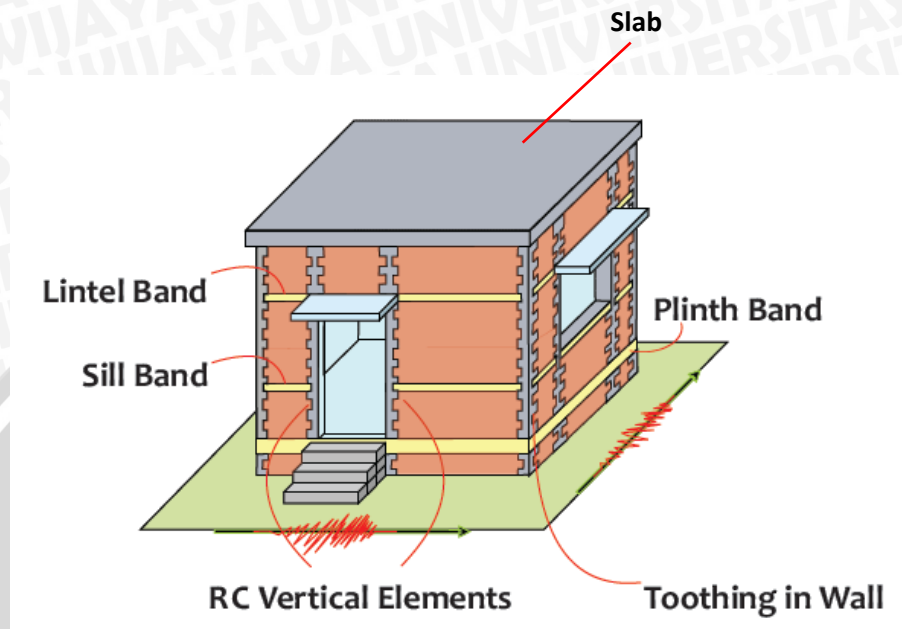
### 2.1.2 Mortar

Lepa atau mortar merupakan campuran yang berfungsi untuk mengikat unit-unit bata merah dalam elemen dinding. Mortar dibuat dengan campuran yang terdiri dari semen sebagai bahan pengikat, air, dan pasir. Berdasarkan (Frick, 1980), campuran mortar dapat dibuat dengan perbandingan 1 semen : 4 pasir : 0,5 kapur dengan penambahan air secukupnya. Selain perbandingan campuran yang digunakan, kekuatan mortar juga bergantung pada kemampuan pekerja.

## 2.2 Dinding Bata Terkekang (*Confined Masonry*)

Dinding bata terkekang (*confined masonry*) merupakan jenis dinding yang sebenarnya telah umum digunakan pada mayoritas rumah di Indonesia. Dinding 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). Pengekangan dinding tersebut dilakukan untuk setiap 12 m<sup>2</sup> luasan dinding (Frick, 1980). Ilustrasi bangunan dengan dinding pengekok dapat dilihat pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Ilustrasi dinding terkekang (*confined masonry*)  
Sumber : (Iyer *et al*, 2013)

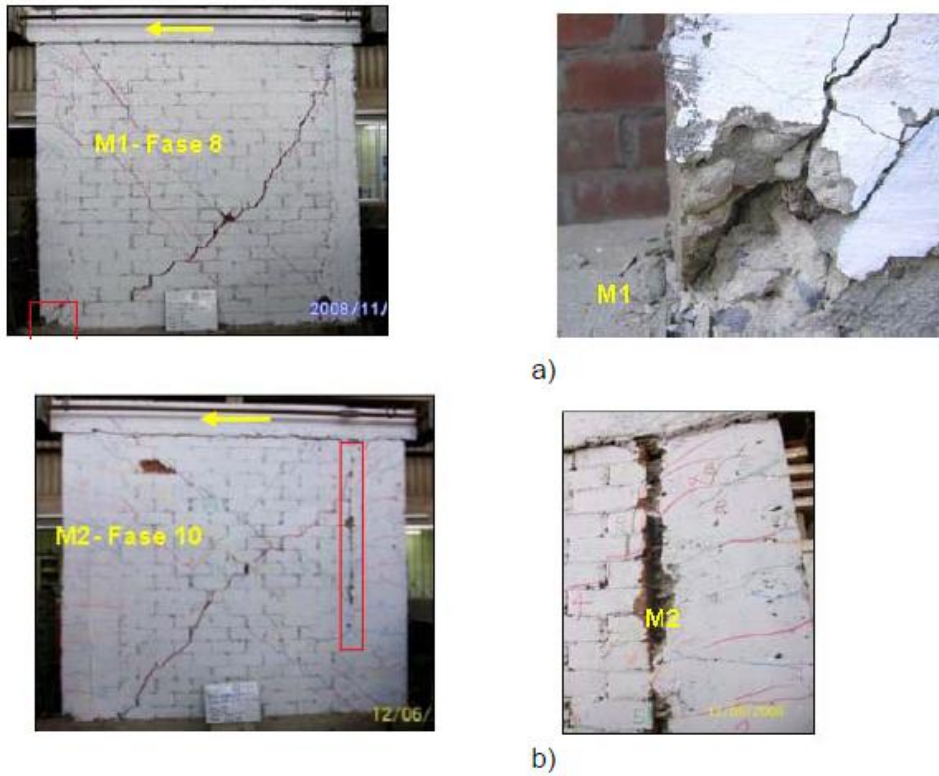
Dalam konstruksi dinding terkekang, ikatan yang kuat terjadi antara balok-kolom pengekok dengan dinding bata, dimana hal ini terjadi karena tidak ada celah di antara keduanya (Iyer *et al*, 2013). Pada kejadian *seismic* (gempa), ikatan yang kuat tersebut membuat dinding bata dapat bertindak sebagai dinding geser, sehingga terjadi peningkatan kemampuan dinding dalam menerima beban lateral (Meli *et al*, 2011).

### 2.2.1 Karakteristik Keruntuhan pada Dinding Bata Terkekang

Menurut (Meli *et al*, 2011), karakteristik keruntuhan pada dinding bata terkekang akibat beban *seismic* lateral dapat ditinjau berdasarkan pola retakan yang terjadi pada dinding bata dan kolom-pengekok, antara lain :

- a. Keruntuhan pada dinding bata terkekang berupa retakan diagonal yang merambat melalui dinding bata dan kolom-pengekok. Keruntuhan jenis ini biasa terjadi pada dinding terkekang dengan besarnya kolom pengekok tidak lebih dari satu setengah kali lipat tebal dinding bata (contoh keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 2.3 (a)).

- b. Keruntuhan pada dinding bata terkekang berupa retakan vertikal yang memisahkan dinding bata dan kolom pengekang. Keruntuhan jenis ini biasa terjadi pada dinding terkekang dengan besarnya kolom pengekang lebih dari dua kali lipat tebal dinding bata (contoh keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 2.3 (b)).



**Gambar 2.3** Karakteristik keruntuhan pada dinding bata terkekang  
 Sumber : (San Bartolome *et al*, 2010, dalam Meli *et al*, 2011)



**Gambar 2.4** Keruntuhan pada dinding dengan bukaan  
 Sumber : (EERI, 2001, dalam Meli *et al*, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.4, pada dinding bata merah dengan bukaan, keruntuhan berupa retakan pada dinding terjadi di bagian samping bukaan. Terlihat kerusakan tidak terjadi pada bagian atas bukaan.

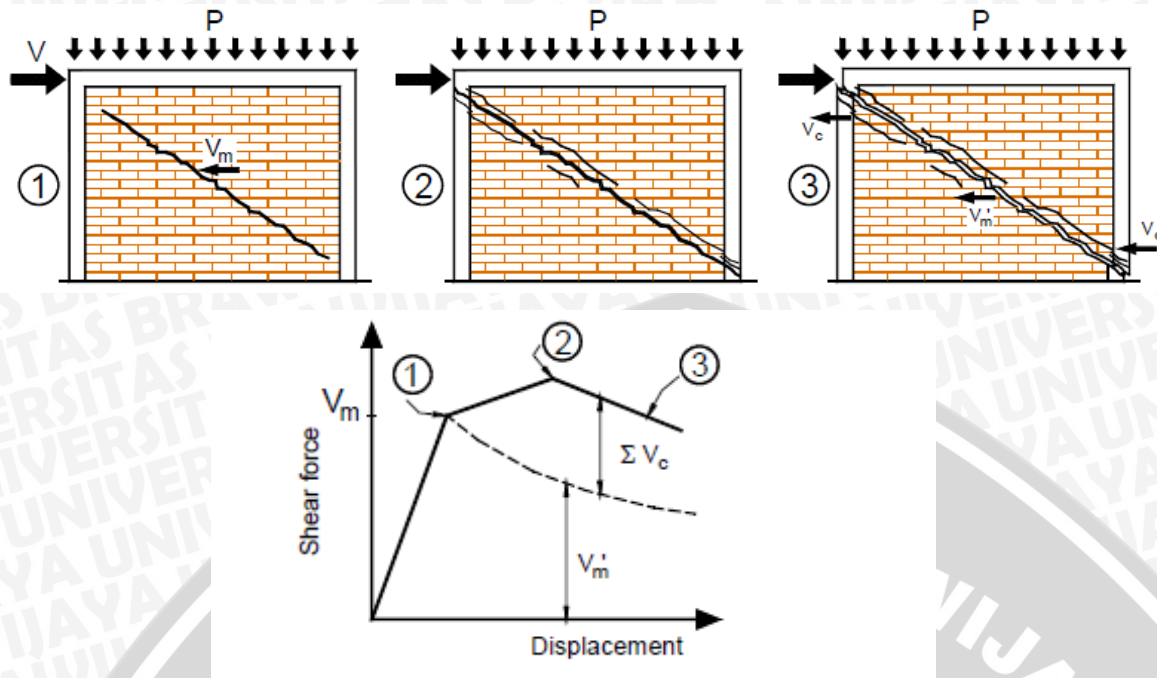
### 2.2.2 Mekanisme Keruntuhan Dinding Bata Terkekang akibat Beban Lateral

Berdasarkan pendapat (Meli *et al*, 2011), mekanisme keruntuhan dinding terkekang dapat terjadi akibat pembebanan lateral secara *in-plane*. Pembebanan secara *in-plane* merupakan pembebanan yang dilakukan searah sumbu memanjang dinding. Pembebanan secara *in-plane* akan menghasilkan dua macam mekanisme keruntuhan, yaitu mekanisme keruntuhan geser (*shear failures mechanism*) dan mekanisme keruntuhan lentur (*flexure failures mechanism*).

- Mekanisme keruntuhan geser

Mekanisme keruntuhan geser ditandai dengan timbulnya retak diagonal yang merambat pada dinding dan kolom pengekang. Timbulnya retak diagonal tersebut dapat terjadi akibat ikatan lapisan mortar-bata yang hancur atau pengaruh gaya tarik akibat beban lateral pada dinding. Ilustrasi keruntuhan geser pada model dinding beserta titik terjadinya pada kurva hubungan tegangan-perpindahan dapat dilihat pada Gambar 2.5. Dari ilustrasi tersebut dapat diketahui bahwa mekanisme keruntuhan geser dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu

- a. Tahap pertama diawali dengan timbulnya retakan diagonal pada dinding. Pada tahap ini, beban gempa lateral ditahan oleh dinding bata tanpa pengaruh signifikan kolom-pengekang.
- b. Dinding akan menekan kolom keluar, sehingga memaksa tulangan kolom pengekang untuk menahan gaya tarik atau gaya tekan yang terjadi.
- c. Terjadi keruntuhan pada dinding bata dan kolom pengekang. Kerusakan pada kolom pengekang saat mencapai tingkat beban ultimit, terkonsentrasi pada bagian atas dan bawah dinding terkekang.



**Gambar 2.5** Mekanisme keruntuhan geser  
 Sumber : (Meli *et al*, 2011)

- Mekanisme keruntuhan lentur

Mekanisme keruntuhan lentur akibat beban lateral *in-plane* ditandai dengan retak horisontal pada mortar yang berada pada sisi tarik dinding. Mekanisme keruntuhan lentur tidak seberbahaya mekanisme keruntuhan geser. Hal ini karena kerusakan yang ditimbulkan keruntuhan lentur tidak sebesar keruntuhan geser. Meskipun kehancuran dan disintegrasi bata pada bagian tekan dinding masih cukup berbahaya.

### 2.3 Bukaannya

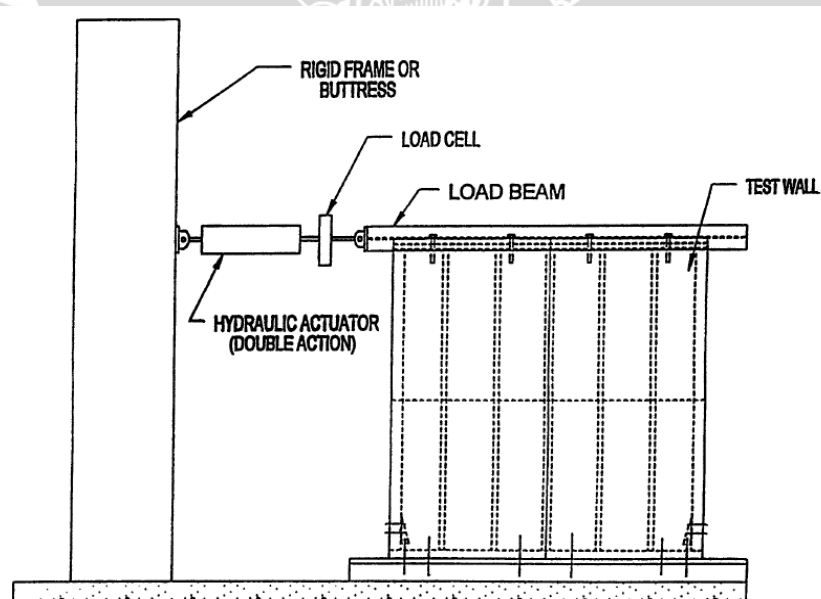
Bukaan merupakan elemen yang tidak terpisahkan terkait dengan fungsi bangunan gedung. Bukaan dapat didefinisikan sebagai luasan berlubang pada elemen dinding dengan ukuran tertentu yang berfungsi sebagai akses keluar-masuk manusia maupun sirkulasi udara. Bukaan pada elemen dinding dapat berupa pintu, jendela, atau lubang angin.

Ukuran dan letak bukaan, khususnya bukaan berupa pintu, ditentukan berdasarkan keperluan akses fisik, dan keterbatasan modular material dinding yang digunakan (Ching & Adams, 2008).

#### 2.4 Cyclic Load Test (ASTM E 2126)

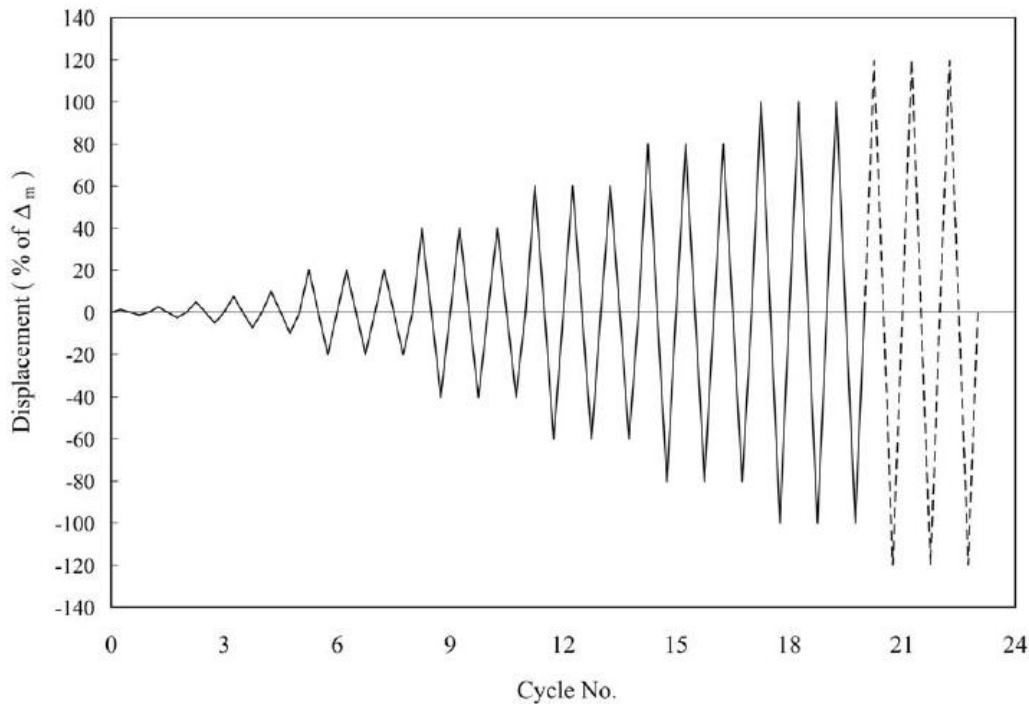
Pada ASTM E 2126 tentang “*Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*”, diatur mengenai metode pengujian pembebanan siklik (bolak-balik) lateral pada dinding bangunan. Pada peraturan ini disebutkan bahwa pengujian pembebanan siklik lateral dimaksudkan untuk mengukur kemampuan dinding dalam menerima beban gempa. Pembebanan siklik lateral merupakan simulasi dari beban gempa yang sebenarnya.

Pada pengujian ini, bagian bawah model dinding diangkur pada landasan *rigid* serta dilakukan pembebanan siklik secara *parallel* pada bagian atas model dinding. Akibat pembebanan siklik secara parallel, akan terjadi perpindahan pada titik-titik tertentu model dinding uji. Seiring dengan pertambahan besarnya perpindahan, beban serta perpindahan yang terjadi diukur secara terus-menerus. Ilustrasi konfigurasi pengujian pembebanan siklik lateral dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Konfigurasi pengujian pembebanan siklik lateral  
Sumber : (ASTM E 2126)

Berdasarkan ASTM E 2126, terdapat tiga macam prosedur pembebanan dalam pengujian siklik, salah satunya *ISO 16670 Protocol*. *ISO 16670 Protocol* atau *ISO displacement protocol* merupakan prosedur pembebanan dengan perpindahan-terkontrol dimana siklus perpindahan dikelompokkan pada beberapa fase. Pada setiap fase tersebut terjadi peningkatan besarnya perpindahan.



**Gambar 2.7** *Cyclic Displacement Schedule (Metode B)*  
Sumber : (ASTM E 2126)

*Schedule* pembebanan pada prosedur ini terdiri dari dua jenis pola nilai perpindahan, dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pola pertama terdiri dari 5 siklus penuh dengan besarnya perpindahan pada masing-masing siklus yaitu 1,25 %; 2,5 %; 5 %; 7,5 %; dan 10 % dari nilai perpindahan ultimit ( $\Delta_m$ ). Pola kedua terdiri beberapa fase, dimana setiap fase terdiri dari tiga siklus penuh dengan amplitudo yang sama untuk setiap siklusnya. Penambahan besarnya amplitudo perpindahan sebesar 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %, dan 120 % dari perpindahan ultimit ( $\Delta_m$ ).

Nilai perpindahan ultimit ( $\Delta_m$ ) ditentukan sebesar 1% dari tinggi dinding. Nilai tersebut merupakan nilai *drift ratio* maksimum pada kategori *collapse prevention* untuk *Non-infill masonry walls* dalam FEMA 356. Kategori *collapse prevention* sendiri merupakan kategori keruntuhan dimana bangunan telah rusak namun masih berada pada kondisi batas daktail. Penambahan nilai amplitudo besarnya perpindahan dapat dilihat pada Tabel 2.1. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Wisnumurti, 2013), diperlukan penyesuaian pada jumlah siklus serta besaran perpindahan, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2.



**Tabel 2.1** Nilai amplitudo untuk pola kedua (Metode B)

<i>Pattern</i>	<i>Step</i>	<i>Minimum Number of Cycles</i>	<i>Amplitude, % <math>\Delta m</math></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)

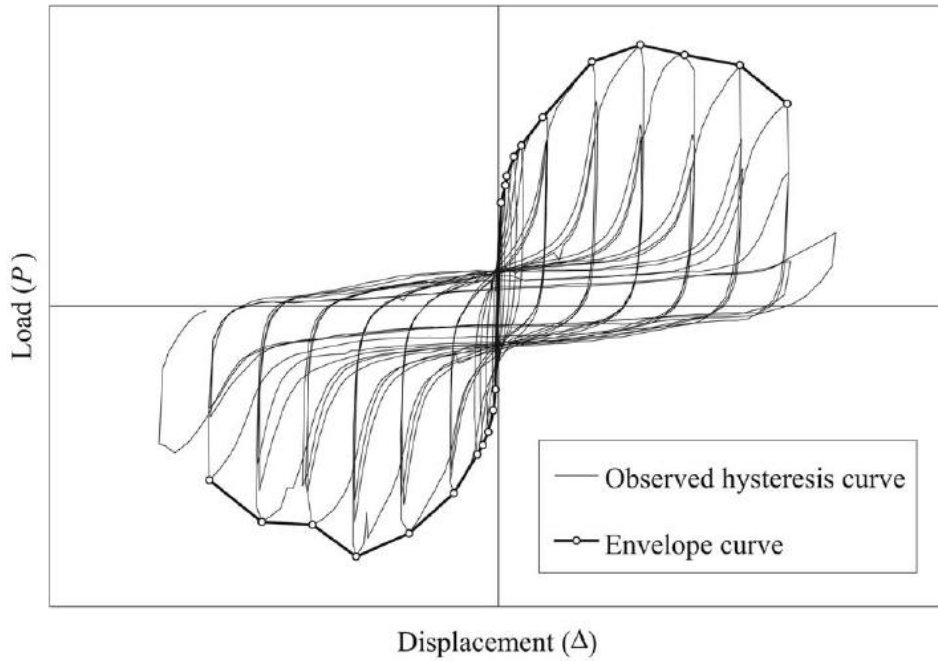
Sumber : (ASTM E 2126)

**Tabel 2.2** Nilai amplitudo untuk metode B yang telah disesuaikan

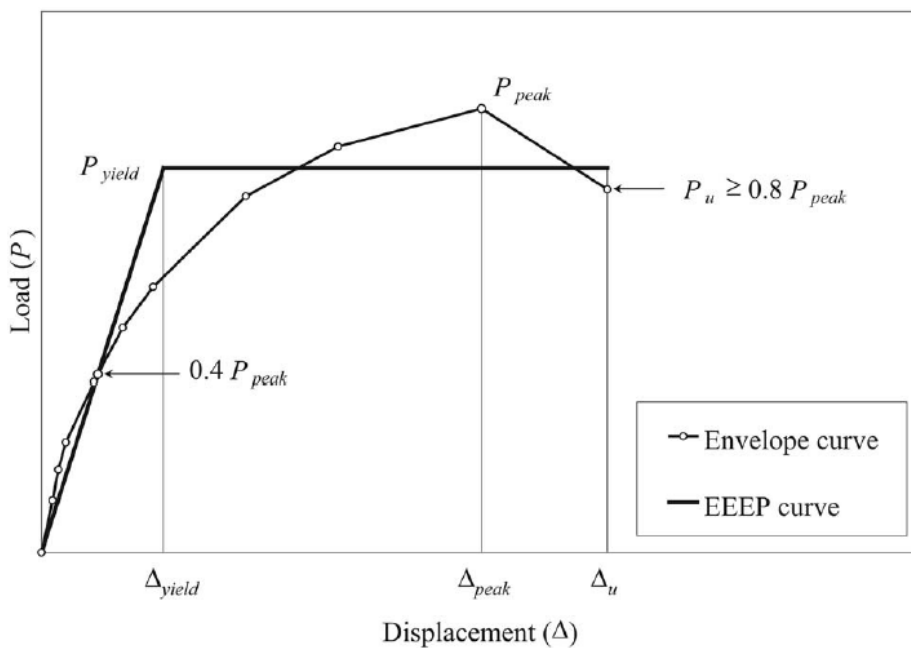
<i>Step</i>	<i>Minimum Number of Cycles</i>	<i>Amplitude, % <math>\Delta m</math></i>	<i>Displacement (mm)</i>
1	2	2.5	0.3
2	2	5	0.6
3	2	10	1.2
4	2	20	2.4
5	2	30	3.6
6	2	40	4.8
7	2	60	7.2
8	2	80	9.6
9	2	90	10.8
10	2	100	12

Sumber : (Wisnumurti, 2013)

Hasil pengujian pembebanan siklik lateral adalah berupa kurva histeresis, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Pada kurva histeresis, akan terbentuk *envelope curve* (kurva selubung), dimana kurva selubung merupakan kurva hubungan antara titik puncak dari siklus yang sama antara setiap fase pembebanan siklik lateral. Untuk mempermudah pengerjaan data, dapat dibuat kurva *EEEE* (*equivalent energy elastic-plastic*), seperti terlihat pada Gambar 2.9. Besarnya luasan pada kurva *EEEE* sama dengan luasan pada kurva selubung.



**Gambar 2.8** Contoh kurva histeresis dan kurva selubung untuk metode B  
Sumber : (ASTM E 2126)



**Gambar 2.9** Kurva selubung dan kurva EEEP  
Sumber : (ASTM E 2126)

Dalam pembuatan kurva *EEEE*, nilai beban leleh ( $P_{yield}$ ) dapat diperoleh menggunakan persamaan 2 - 1.

$$P_{yield} = \left( \Delta_u - \sqrt{\Delta_u^2 - \frac{2A}{K_e}} \right) K_e \dots\dots\dots (2-1)$$

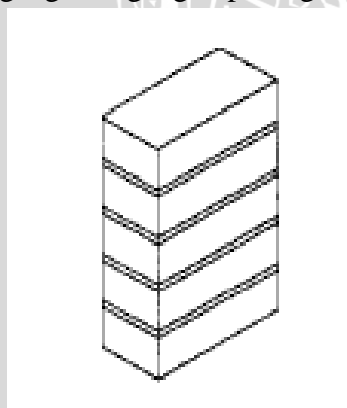
- dengan :
- $P_{yield}$  = Beban leleh (N)
  - $\Delta_u$  = Perpindahan pada titik keruntuhan, dimana titik keruntuhan berada di  $0,8 \times P_{peak}$  (mm)
  - A = Luasan daerah kurva selubung dari titik nol sampai perpindahan ultimit ( $\Delta_u$ ) (N.m)
  - $P_{peak}$  = Beban maksimum pada kurva selubung (N)
  - $\Delta_e$  = Perpindahan pada titik  $0,4 \times P_{peak}$  (mm)
  - $K_e$  =  $0,4 \times \frac{P_{peak}}{\Delta_e}$

Namun jika persamaan 2 - 2 dapat dipenuhi, maka diperbolehkan menggunakan asumsi  $P_{yield} = 0,85 \times P_{peak}$ .

$$\Delta_u^2 < \frac{2A}{K_e} \dots\dots\dots (2-2)$$

## 2.5 Uji Kuat Tekan Prisma Pasangan Bata Merah

Uji prisma pasangan bata merah dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan pasangan bata merah. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk memperoleh data mekanisme perilaku tegangan-regangan pasangan bata merah.



**Gambar 2.10** Ilustrasi sampel prisma pasangan bata merah  
Sumber : (ASTM C 1314)

Berdasarkan ASTM C1314, untuk bata merah tanpa lubang, prisma pasangan bata merah dibuat sesuai dengan ilustrasi Gambar 2.10. Di antara bata merah tersebut diletakkan mortar sebagai bahan perekat. Spesifikasi mortar yang digunakan disamakan dengan model dinding benda uji. Untuk memudahkan pengerjaan, sampel dibuat di atas

alas datar. Panjang sampel minimal sebesar 4 in. (100 mm). Sedangkan rasio tinggi terhadap tebal sampel ( $h_p/t_p$ ) harus di antara 1,3 dan 5,0.

Dari pengujian yang dilakukan, diambil nilai beban maksimum (kg). Nilai beban maksimum tersebut dibagi dengan luas permukaan prisma pasangan bata merah ( $\text{cm}^2$ ), sehingga diperoleh kuat tekan prisma pasangan bata merah ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Nilai kuat tekan tersebut harus dikali dengan faktor koreksi yang diperoleh dari rasio tinggi terhadap tebal sampel. Hubungan antara rasio tinggi terhadap tebal sampel ( $h_p/t_p$ ) dan faktor koreksi dapat dilihat pada Tabel 2.3. Penggunaan metode interpolasi diperbolehkan apabila nilai rasio tinggi terhadap tebal sampel ( $h_p/t_p$ ) tidak tercantum pada Tabel 2.3.

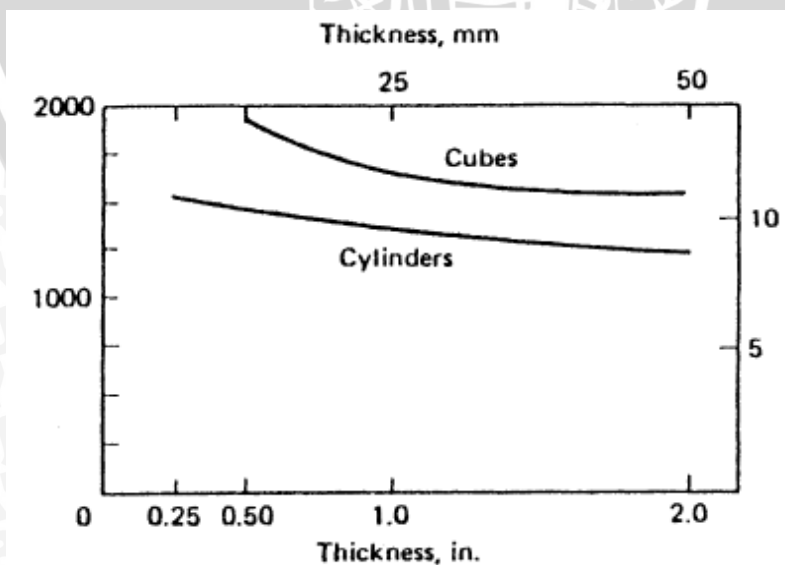
**Tabel 2.3** Hubungan antara ( $h_p/t_p$ ) dan faktor koreksi

$h_p/t_p$	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
<b>Faktor koreksi</b>	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

Sumber : (ASTM C 1314)

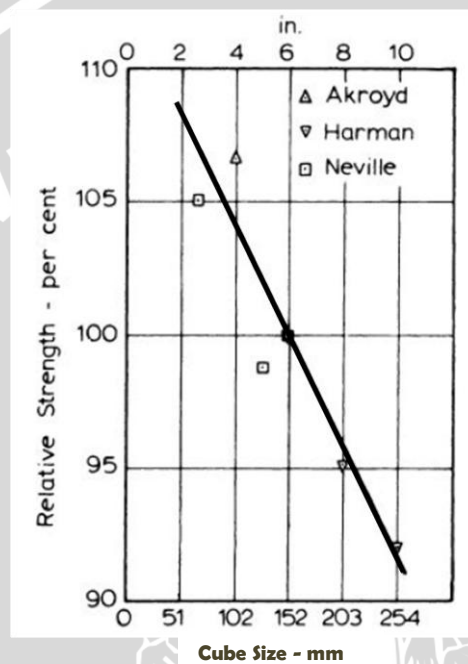
## 2.6 Faktor Koreksi

Dalam pengujian kuat tekan, baik untuk mortar maupun beton, dimensi dan umur benda uji dapat bervariasi, dikarenakan berbagai faktor. Hasil kuat tekan yang diperoleh pun dipengaruhi oleh faktor ukuran dan umur benda uji tersebut. Untuk memperoleh hasil pengujian yang sebanding, hasil pengujian dikalikan dengan faktor koreksi sehingga mendekati hasil pengujian standar.



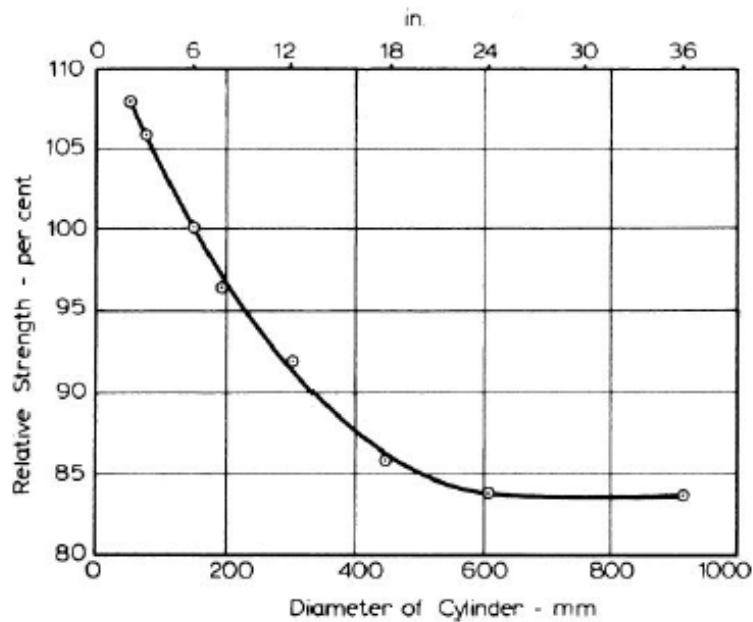
**Gambar 2.11** Grafik hubungan antara kuat tekan mortar dan ketebalan sampel  
Sumber : (Harris dan Sabnis, 1999)

Dalam penelitian ini, faktor koreksi diperoleh dari beberapa referensi penelitian terdahulu dan peraturan yang berlaku. Nilai faktor koreksi dapat diperoleh dari grafik maupun tabel. Pada Gambar 2.11, dapat dilihat grafik hubungan antara tingkat ketebalan sampel dengan kuat tekan mortar. Nilai dari grafik tersebut digunakan untuk mengkoreksi nilai kuat tekan mortar dengan ketebalan di bawah 25 mm menjadi 50 mm. Sedangkan pada Gambar 2.12, dapat dilihat grafik hubungan antara kuat tekan beton dan ukuran sampel kubus. Nilai dari grafik tersebut digunakan untuk mengkoreksi nilai kuat tekan mortar dengan ukuran sisi 50 mm menjadi 150 mm.



**Gambar 2.12** Grafik hubungan antara kuat tekan beton dan ukuran sampel kubus  
Sumber : (Neville, 2011)

Pada Gambar 2.13, dapat dilihat grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan diameter benda uji. Nilai dari grafik tersebut digunakan untuk mengkoreksi nilai kuat tekan beton dengan ukuran diameter 75 mm menjadi 150 mm.



**Gambar 2.13** Kurva hubungan kuat tekan beton dan diameter benda uji  
Sumber : (Neville, 2011)

Pada Tabel 2.4, dapat dilihat perbandingan kuat tekan beton antara benda uji silinder dengan benda uji kubus dimensi standar. Sedangkan pada Tabel 2.5, dapat dilihat perbandingan kuat tekan terhadap umur beton. Dari Tabel 2.5, dapat diperoleh nilai faktor koreksi akibat pengaruh umur beton terhadap hasil pengujian.

**Tabel 2.4** Perbandingan kuat tekan beton terhadap bentuk sampel

Benda Uji	Perbandingan kuat tekan
Kubus $15 \times 15 \times 15$ cm	1,00
Silinder $15 \times 30$ cm	0,83

Sumber : (PBI 1971)

**Tabel 2.5** Perbandingan kuat tekan beton terhadap berbagai umur beton

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portlan biasa	0.40	0.65	0.88	0.95	1.00	1.20	1.35

Sumber : (PBI 1971)

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini tergolong penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Objek penelitian ini adalah dinding bata terkekang (*confined masonry*) dengan variasi terhadap letak bukaan pada dinding. Untuk pengujian dengan beban siklik lateral akan dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari atau lebih. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui perbandingan hasil uji berupa diagram P- $\Delta$  antara dinding bata terkekang dengan bukaan dan tanpa bukaan. Selain dilakukan pengolahan data menjadi diagram P- $\Delta$ , juga dilakukan pengujian guna mengetahui karakteristik model dinding benda uji.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya mulai dari bulan Oktober 2015 sampai Februari 2016.

### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun bahan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bata merah lokal cetak tangan dengan kekuatan menengah.
- b. Agregat halus (pasir hitam) dan Agregat kasar (batu pecah)
- c. Portland Cement dan air
- d. Besi polos ukuran  $\emptyset 10$ ,  $\emptyset 8$ ,  $\emptyset 5$
- e. Besi lunak ukuran  $\emptyset 2,3$ ;  $\emptyset 1,5$
- f. Kawat Bendrat

Sedangkan dalam penelitian ini, peralatan yang dibutuhkan dalam pelaksanaan penelitian dibagi ke dalam dua bagian, yaitu peralatan untuk pembuatan benda uji dan peralatan untuk pengujian benda uji.

1. Peralatan pembuatan benda uji
  - a. *Circle Saw* digunakan untuk memotong sampel batu bata.

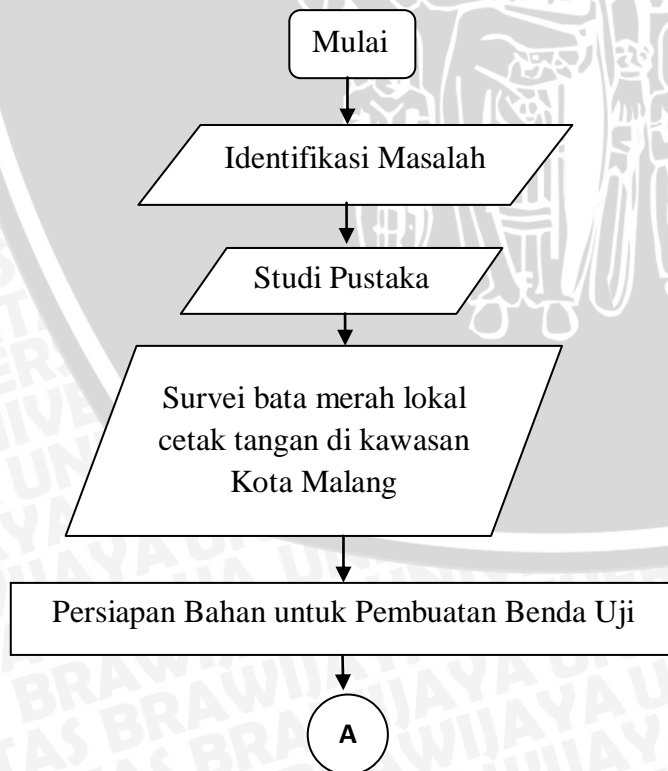
- b. Mistar atau jangka sorong (*Vernier Caliper*)
- c. Berbagai perkakas, seperti gergaji, palu, sekop kecil, *clamp* dan alat pembengkok besi tulangan, digunakan untuk proses pembuatan benda uji.

## 2. Peralatan pengujian benda uji

- a. Rangka Pembebanan (*Loading Frame*) digunakan sebagai tempat benda uji diletakkan saat pengujian.
- b. *LVDT* digunakan sebagai alat pengukur deformasi horisontal pada dinding benda uji.
- c. *Dial Gauge* digunakan sebagai bacaan kontrol geser dan guling pada dinding benda uji.
- d. *Load Cell* dan dongkrak hidraulik (*hydraulic jack*) dengan kapasitas 5 ton digunakan untuk memberikan beban *in-plane* pada dinding benda uji.
- e. Kamera digunakan untuk keperluan dokumentasi.

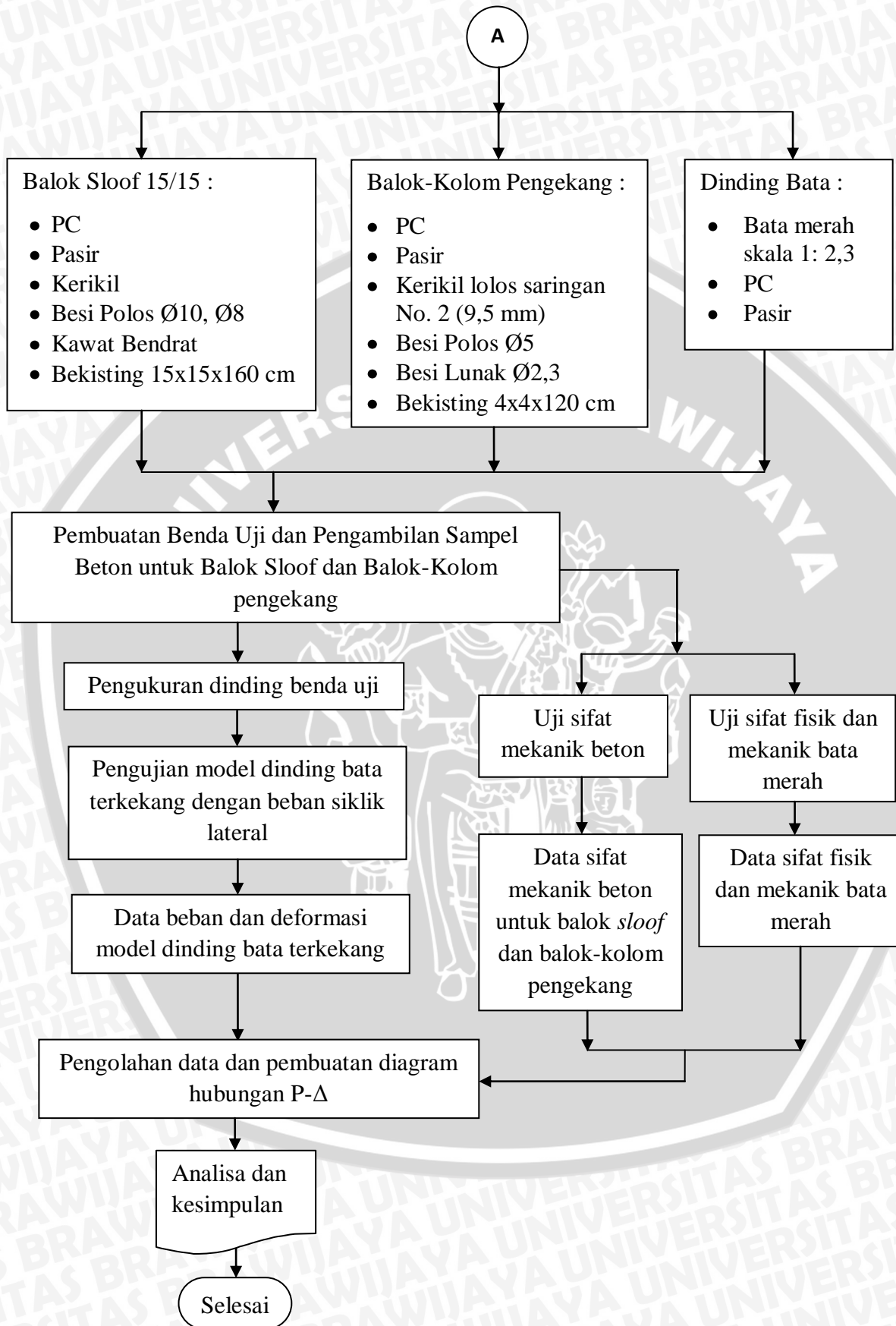
### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir penelitian. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian





Gambar 3.1 Lanjutan diagram alir penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Studi literatur tentang dinding bata terkekang serta pengujian beban siklik lateral.
2. Perancangan model dinding benda uji berdasarkan modul geometri rumah tinggal.
3. Pembuatan model dinding benda uji
  - a. Persiapan bahan pembuat benda uji
  - b. Pembuatan *bekisting* untuk balok *sloof* dengan ukuran (15 × 15) cm dan panjang 160 cm.
  - c. Pembuatan *bekisting* untuk kolom dan balok pengekang dengan ukuran (4,5 × 4,5) cm.
  - d. Pembesian balok *sloof*, kolom pengekang dan balok pengekang.
  - e. Pengecoran balok *sloof*.
  - f. Pembuatan dinding bata dengan tebal siar horisontal dan vertikal maksimal sebesar 1 cm. Untuk setiap 6 lapisan bata diletakkan angkur yang terhubung dengan kolom pengekang.
  - g. Pengecoran kolom dan balok pengekang.
4. Pengambilan sampel campuran beton untuk balok *sloof* dan balok-kolom pengekang.
5. Perawatan model dinding benda uji hingga umur 3 hari.
6. Pengujian model dinding bata terkekang setelah umur 28 hari dengan beban siklik lateral.
7. Pembebanan *in-plane* dilakukan bolak-balik dari ke dua sisi hingga dinding mengalami keruntuhan.
8. Pengamatan dan pencatatan data percobaan berupa deformasi dinding pada alat *LVDT* dan *dial gauge*.
9. Pengujian karakteristik fisik dan mekanik bata merah.
10. Pengujian karakteristik mekanik mortar.
11. Pengujian sampel campuran beton untuk balok *sloof* dan balok-kolom pengekang.
12. Pembuatan diagram P-Δ untuk setiap dinding benda uji.
13. Analisis dan pembahasan data.
14. Penarikan kesimpulan.

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah letak bukaan pada dinding bata terkekang.

2. Variabel Terikat

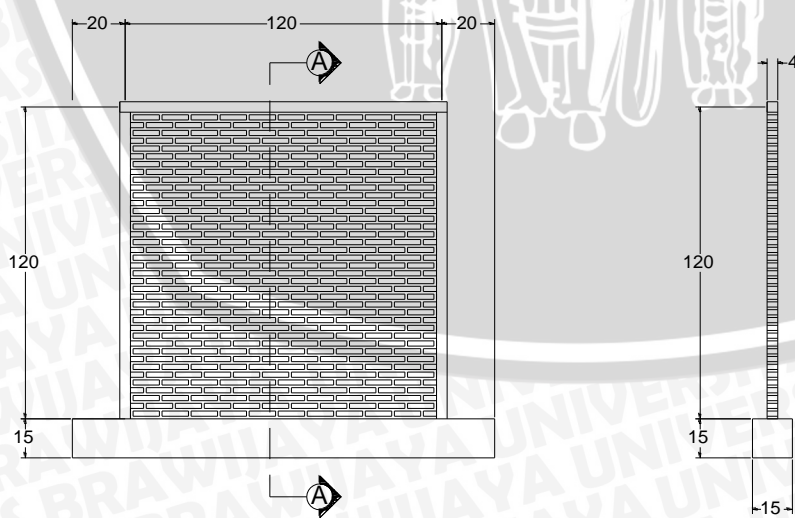
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja dinding bata terkekang yang dinilai berdasarkan kemiringan diagram P- $\Delta$ .

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah ukuran geometrik komponen pada model dinding benda uji, termasuk di antaranya ukuran dinding, balok-kolom pengekang, dan ukuran balok *sloof*. Selain itu, nilai *displacement* ( $\Delta$ ) juga dijadikan nilai variabel terkontrol.

### 3.7 Benda Uji dan Setting Up

Dalam penelitian ini, benda uji yang dimaksud adalah model dinding bata merah terkekang dengan ukuran  $(120 \times 120 \times 4)$  cm. Pada bagian sisi kanan dan kiri, dinding bata merah dikekang oleh kolom dengan ukuran  $(4,5 \times 4,5)$  cm. Sedangkan pada bagian atas, dinding bata merah dikekang oleh balok dengan ukuran  $(4,5 \times 4,5)$  cm. Model dinding bata merah dilandaskan pada balok *sloof* dengan ukuran  $(15 \times 15)$  cm dan panjang 160 cm. Tebal siar horizontal maupun vertikal maksimal setebal 1 cm.



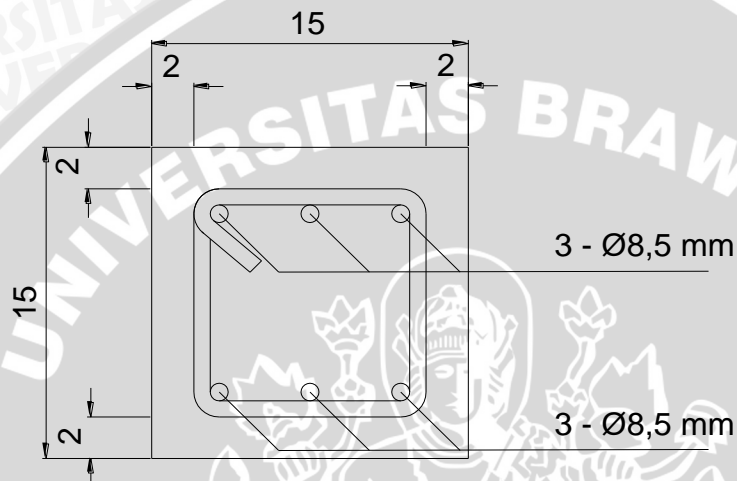
a) Tampak depan

b) Potongan A (tampak samping)

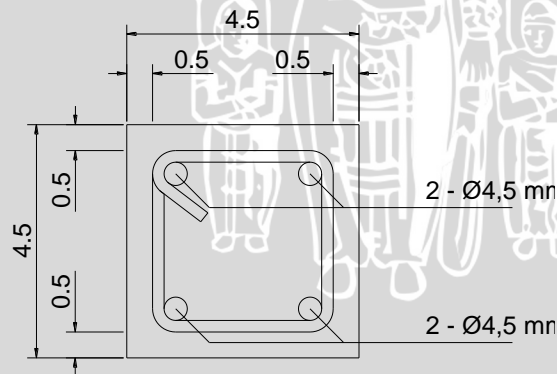
**Gambar 3.2** Tampak depan dan samping model dinding benda uji

Ilustrasi tampak depan dan tampak samping model dinding benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.2. Sedangkan detail penulangan untuk balok *sloof* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Detail penulangan untuk kolom-balok pengekang dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Pada model dinding bata terkekang, 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 3.3** Detail tulangan untuk balok *sloof*

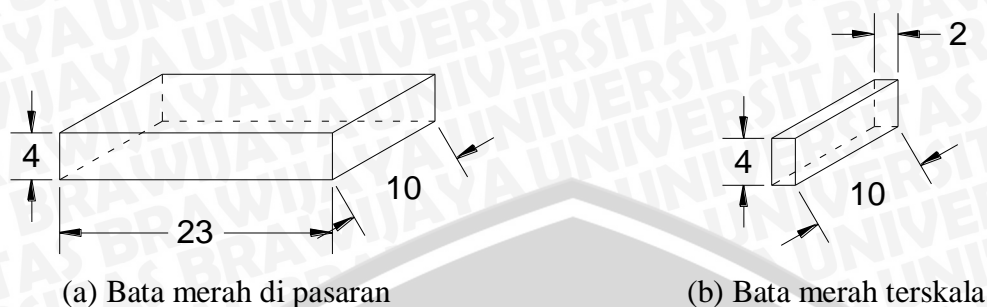


**Gambar 3.4** Detail tulangan untuk kolom-balok pengekang

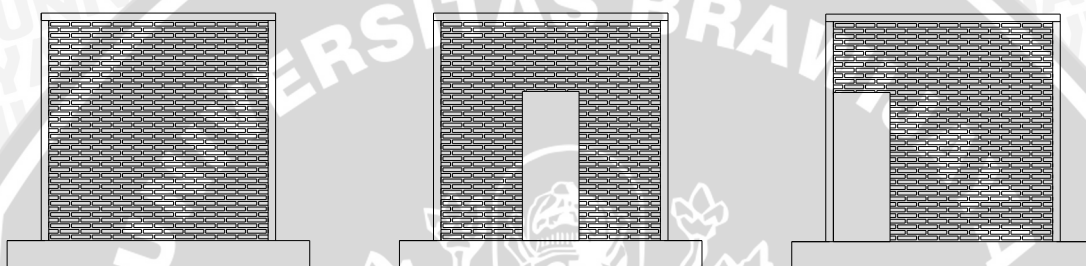
Dalam penelitian ini, komposisi campuran mortar untuk siar pada model dinding bata merah adalah 1 semen : 5 pasir dengan FAS 0,5. Sedangkan komposisi campuran beton balok *sloof* adalah 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dengan FAS 0,5.

Bata merah yang digunakan berasal dari kawasan Turen, Kab. Malang. Bata merah dari kawasan tersebut umum digunakan oleh masyarakat Malang Raya. Ukuran bata

merah yang digunakan, baik untuk bata merah asli maupun terskala, dapat dilihat pada Gambar 3.5.



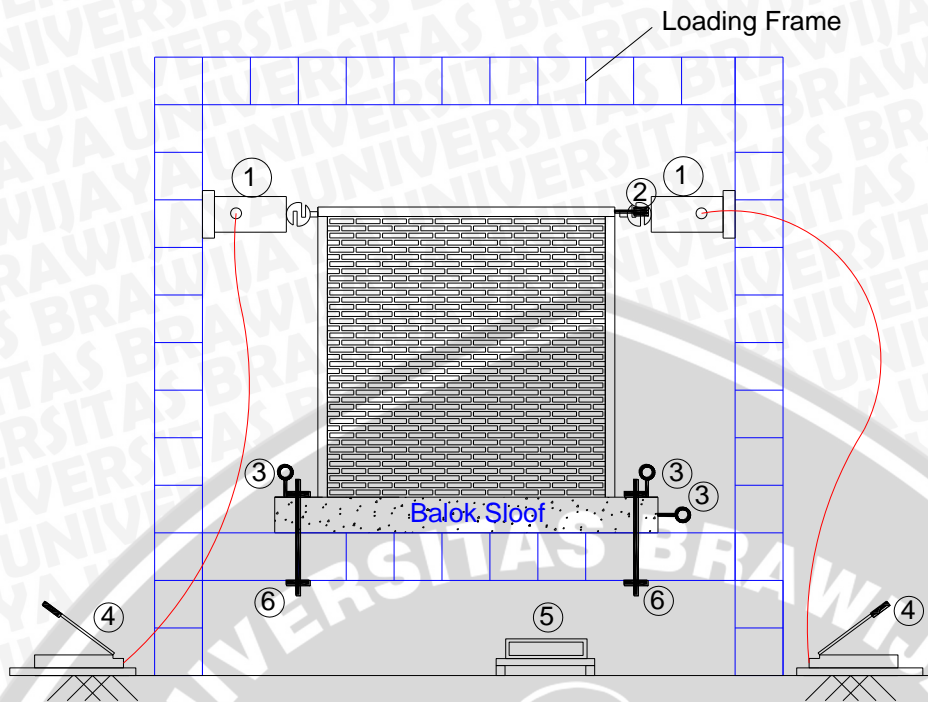
**Gambar 3.5** Ukuran bata merah yang digunakan.



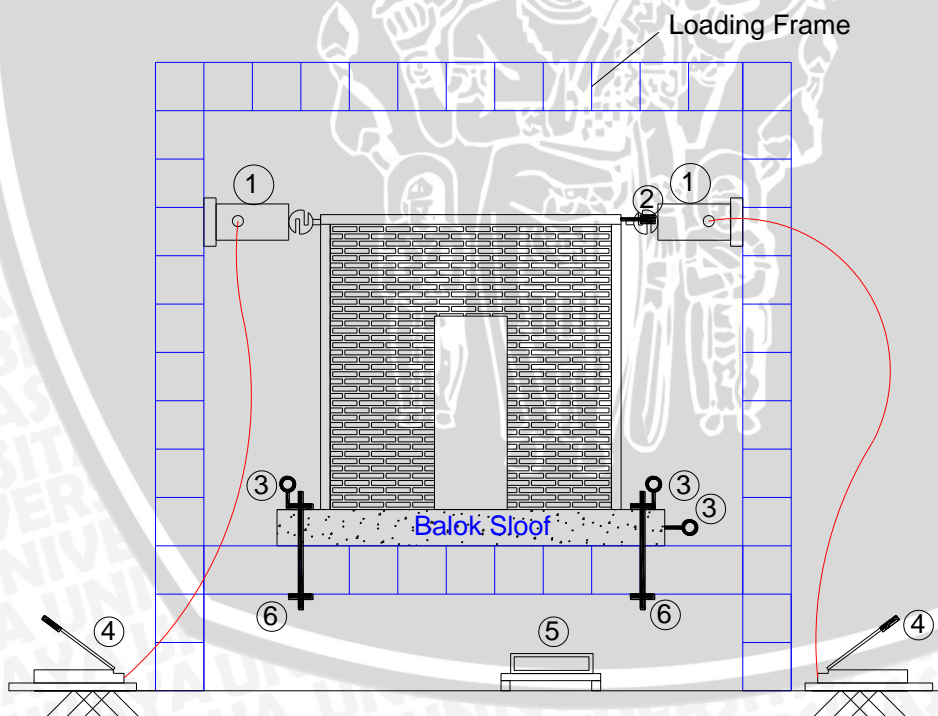
**Gambar 3.6** Jenis benda uji berdasarkan letak bukaan

Adapun benda uji dalam penelitian ini dibagi dalam tiga jenis berdasarkan letak bukaan, seperti terlihat pada Gambar 3.6. Masing-masing jenis benda uji terdiri dari tiga benda uji. Khusus untuk model dinding tanpa bukaan terdiri dari dua benda uji. Setiap model dinding benda uji, diuji melalui pembebanan siklik lateral. *Setting up* pembebanan siklik lateral, secara berurutan, untuk model dinding tanpa bukaan, bukaan di tengah, dan bukaan di tepi, dapat dilihat pada Gambar 3.7, Gambar 3.8, dan Gambar 3.9. *Setting up* tersebut terdiri dari beberapa alat dan perlengkapan, antara lain :

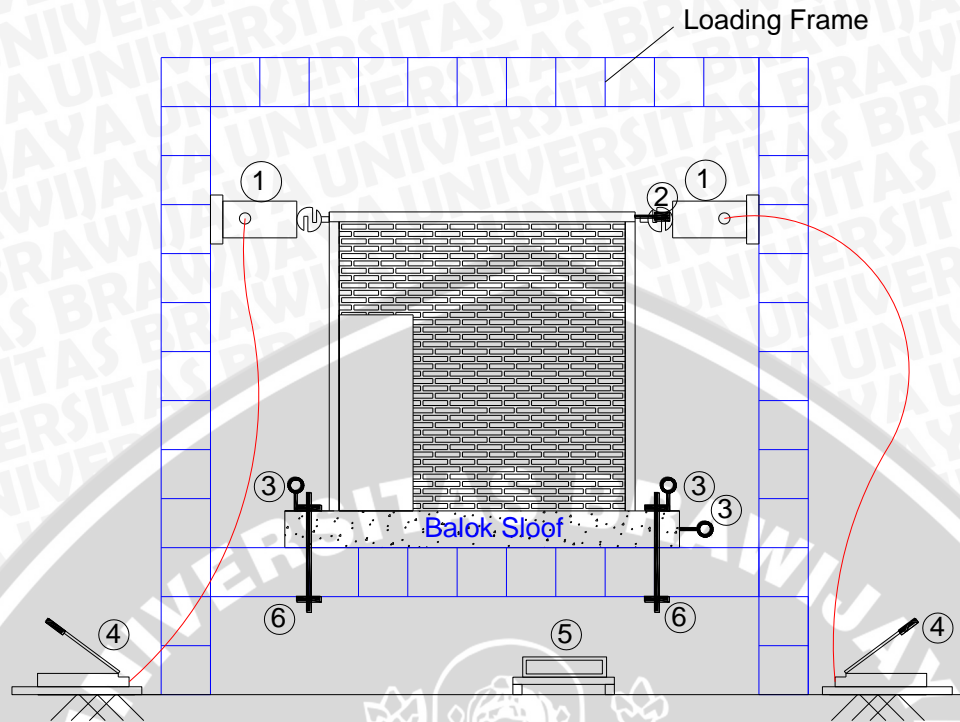
1. Hydraulic Jack
2. LVDT
3. Dial Gauge
4. Pompa Hydraulic Jack
5. Electronic Transducer
6. Klem Penguat



**Gambar 3.7** Setting up pembebanan untuk model dinding tanpa bukaan (kode A)



**Gambar 3.8** Setting up pembebanan untuk model dinding bukaan di tengah (kode B)



**Gambar 3.9** Setting up pembebanan untuk model dinding bukaan di tepi (kode C)

### 3.8 Metode Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian benda uji berupa dinding bata terkekang yang telah berusia 28 hari terhadap beban siklik lateral. Sedangkan data dari hasil studi literatur dimaksudkan sebagai data sekunder.

Analisis data hasil pengujian model dinding terkekang di laboratorium, dilakukan untuk menjawab permasalahan sebelumnya. Untuk mengetahui pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang, dibuat diagram hubungan  $P-\Delta$  dari hasil uji laboratorium, dimana hasil uji tersebut dicatat dalam form pengujian seperti terlihat pada Tabel 3.1. Pengaruh letak bukaan akan ditunjukkan melalui perbandingan antar diagram hubungan  $P-\Delta$  (kekakuan elastis dinding). Dalam penelitian ini, pembuatan diagram hubungan  $P-\Delta$  didasarkan pada ASTM E 2126. Perhitungan karakteristik benda uji juga dilakukan berdasarkan hasil pengujian bahan.

**Tabel 3.1** Form pengujian siklik lateral pada dinding

No. Siklus	No. Langkah	$\Delta$ (mm)	Kontrol			Koreksi Guling (mm)	$\Delta_{\text{Terkoreksi}}$ (mm)	P (kg)
			Guling 1 (mm)	Guling 2 (mm)	Geser (mm)			

### 3.9 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah letak bukaan berpengaruh terhadap kinerja dinding bata terkekang yang dibebani beban siklik lateral. Pada model dinding dengan letak bukaan di bagian tepi dinding (kode C), akan terjadi perbedaan kemiringan pada diagram P-  $\Delta$  yang lebih besar dibandingkan model dinding lain.





## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Material Penyusun Model Dinding Bata Terkekang

Benda uji dinding bata terkekang terdiri dari beberapa bagian, yaitu bagian pengisi, pengekang, serta balok landasan. Bagian pengisi merupakan susunan bata merah serta mortar. Sedangkan bagian pengekang merupakan kolom-balok beton bertulang. Balok landasan / *sloof* juga merupakan beton bertulang.

Selain pengujian siklik lateral, pengujian untuk setiap bagian dinding maupun komponennya juga diperlukan. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik model dinding bata terkekang yang diuji.

##### 4.1.1 Karakteristik Fisik Bata Merah

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran karakteristik fisik bata merah, baik untuk bata merah asli maupun terskala. Karakteristik yang dimaksud berupa dimensi dan berat bata merah. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 15 sampel bata merah secara acak. Pengukuran dimensi bata merah dilakukan dengan jangka sorong. Sedangkan pengukuran berat bata merah dilakukan dengan neraca (ketelitian 0,1 gr).

Pada Gambar 4.1, dapat dilihat salah satu sampel bata merah yang digunakan, baik terskala maupun asli. Sedangkan pada Gambar 4.2, dapat dilihat alat pengukuran karakteristik fisik bata merah yang digunakan. Hasil dari masing-masing pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan hasil rata-rata pengukuran dimensi dan berat bata merah dapat dilihat pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.1** Bata merah terskala dan bata merah asli



a) Jangka Sorong



b) Neraca ketelitian 0,1gr

**Gambar 4.2** Alat pengukur dimensi dan berat bata merah**Tabel 4.1** Hasil pengukuran dimensi bata asli dan terskala

	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )
<b>Bata merah terskala</b>					
Mean	10,86	3,78	2,13	105,12	1,20
S-Dev	0,11	0,17	0,05	10,21	0,08
COV	0,0097	0,0441	0,0256	0,0971	0,0646
Bias Index	0,97 %	4,41 %	2,56 %	9,71 %	6,46 %
<b>Bata merah asli</b>					
Mean	22,25	10,82	3,98	1374,53	1,44
S-Dev	0,25	0,15	0,22	113,87	0,12
COV	0,0114	0,0142	0,0543	0,0828	0,0829
Bias Index	1,14 %	1,42 %	5,43 %	8,28 %	8,29 %
<b>Rasio ukuran bata kecil terhadap bata besar</b>	<b>0,488</b>	<b>0,349</b>	<b>0,536</b>	<b>0,076</b>	<b>0,835</b>

Dari data pengukuran yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa tingkat homogenitas dimensi bata merah yang digunakan cukup tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai *Bias Index* yang relatif kecil. Nilai *bias index* tertinggi terdapat pada berat bata merah. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh faktor penyimpanan bata merah. Faktor penyimpanan bata merah berpengaruh terhadap kadar air bata merah, yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap berat bata merah.

Dari data yang diperoleh, juga dapat diketahui rasio ukuran bata merah terskala terhadap bata merah asli. Pada rancangan penelitian, direncanakan rasio ukuran bata merah terskala terhadap bata merah asli adalah 0,435 (1 : 2,3). Namun karena faktor ukuran bata asli serta kemampuan alat, hanya panjang bata merah terskala yang rasionya mendekati rancangan percobaan, yaitu 0,488 (1 : 2,05).

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan, karakteristik fisik bata merah terskala yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Panjang =  $10,8 \pm 0,3$  cm
- Lebar =  $3,8 \pm 0,2$  cm
- Tebal =  $2,1 \pm 0,1$  cm
- Berat isi =  $1,2 \pm 0,1$  gr/cm<sup>3</sup>

Sedangkan hasil pengukuran untuk karakteristik fisik bata merah asli yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Panjang =  $22,3 \pm 0,1$  cm
- Lebar =  $10,8 \pm 0,2$  cm
- Tebal =  $4,0 \pm 0,2$  cm
- Berat isi =  $1,4 \pm 0,1$  gr/cm<sup>3</sup>

#### 4.1.1.1 Kuat Tekan Bata Merah

Uji kuat tekan bata merah dilakukan dengan membebani bata merah, baik terskala maupun asli, hingga mencapai titik runtuhnya. Pembebanan dilakukan searah sumbu lebar bata merah dengan alat *hydraulic jack* (kapasitas alat 150 kN). Pembacaan beban dilakukan dengan *Load Cell* (kapasitas alat 5 ton). Beban yang diberikan berupa beban merata. Beban merata tersebut diberikan pada permukaan bata merah dengan bantuan balok kayu. Peletakkan kertas kardus pada permukaan bata merah dilakukan untuk mengurangi pengaruh ketidak-rataan permukaan bata merah. Kecepatan pembebanan diusahakan konsisten.

Dari pembacaan beban yang dilakukan, diambil nilai beban maksimum (kg). Nilai beban maksimum tersebut dibagi dengan luas permukaan bata merah (cm<sup>2</sup>), sehingga diperoleh kuat tekan bata merah (kg/cm<sup>2</sup>). Perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 2.

**Tabel 4.2** Hasil pengujian kuat tekan bata merah

	Kuat Tekan Bata Merah	
	Terskala (kg/cm <sup>2</sup> )	Asli (kg/cm <sup>2</sup> )
Mean	6,33	7,44
Maximum	11,96	10,26
Minimum	0,70	5,70
S-Dev	3,53	1,86

Hasil pengujian kuat tekan bata merah dapat dilihat pada Tabel 4.2. Terlihat pada Tabel 4.2, kuat tekan maksimum pada bata terskala lebih besar dibandingkan kuat tekan bata asli. Namun nilai kuat tekan rata-rata bata terskala lebih kecil dibandingkan kuat tekan bata asli. Perbedaan ini dapat terjadi karena pada data bata merah terskala, terdapat sampel dengan kuat tekan yang kecil. Kuat tekan yang kecil tersebut diduga terjadi karena pada sampel bata merah terjadi keruntuhan lentur. Keruntuhan lentur tersebut terjadi karena faktor ketidak-rataan bahan pada bagian bawah.

Berdasarkan pengamatan saat pengujian, juga dapat disimpulkan bahwa bata merah tergolong material getas. Hal ini karena keruntuhan bata merah terjadi seketika setelah beban maksimum tercapai. Saat pengujian, tidak terlihat kondisi daktil pada bata merah. Pengujian kuat tekan bata merah dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengujian kuat tekan bata merah, sebelum dan sesudah pembebanan

#### 4.1.1.2 Uji Tegangan Lentur Bata Merah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan lentur bata merah. Nilai tegangan lentur bata merah dapat diketahui dengan membebani bata merah hingga terjadi keruntuhan lentur. Nilai beban maksimum saat keruntuhan lentur tersebut dapat digunakan untuk menghitung tegangan lentur bata merah.

Dalam pengujian ini, bata merah diasumsikan sebagai balok yang bertumpu pada dua tumpuan. Beban diberikan pada tengah bentang hingga bata merah mengalami keruntuhan lentur. Alat pembebanan yang digunakan sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu *hydraulic jack* kapasitas 150 kN dan *load cell* kapasitas 5 ton. Besi tulangan  $\varnothing 5,8$  mm sebagai perantara beban diletakkan di antara *load cell* dan bata merah. Proses pengujian tegangan lentur bata merah dapat dilihat pada Gambar 4.4.



a) Sebelum pembebanan

b) Setelah pembebanan

**Gambar 4.4** Pengujian tegangan lentur pada salah satu benda uji

Pengujian tegangan lentur hanya dilakukan pada bata merah terskala. Jumlah sampel pada pengujian ini sebanyak 5 sampel. Perhitungan hasil pengujian tegangan lentur bata merah dapat dilihat pada Lampiran 3. Hasil pengujian tegangan lentur bata merah dapat dilihat pada Tabel 4.3. Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa tegangan lentur rata-rata bata merah sebesar  $4,87 \text{ kg/cm}^2$ , dengan standar deviasi sebesar  $1,57 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabel 4.3** Hasil pengujian tegangan lentur bata merah

Tegangan Lentur Bata Merah ( $\text{kg/cm}^2$ )	
Mean	4,87
Maximum	7,19
Minimum	3,35
S-Dev	1,57

#### 4.1.1.3 Uji Kuat Tekan Mortar

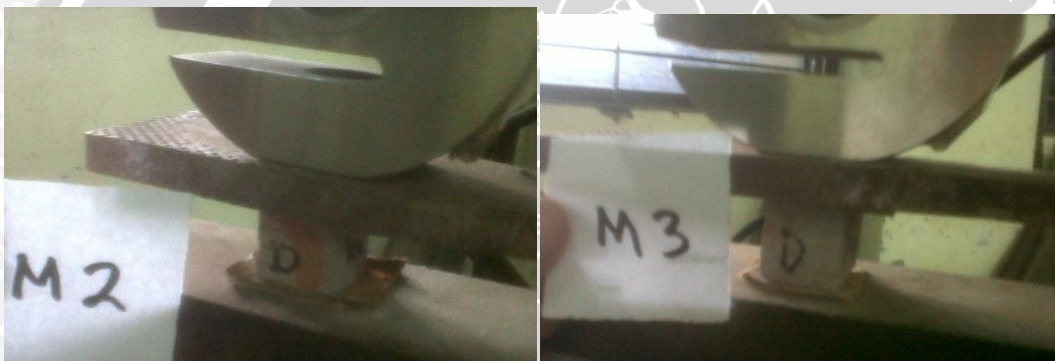
Perbandingan campuran semen terhadap pasir yang digunakan pada mortar pasangan dinding benda uji adalah 1 : 5. Pasir yang digunakan adalah pasir dengan butiran lolos saringan no. 8. Penggunaan pasir tersebut bertujuan untuk mempermudah pengerjaan pasangan dinding.

Untuk mengetahui kuat tekan mortar yang digunakan, sampel mortar diambil dari pasangan bata merah. Sampel mortar tersebut dibentuk menjadi kubus dengan dua jenis ukuran. Sampel mortar pertama berukuran  $(2 \times 2 \times 2) \text{ cm}$ . Sedangkan sampel mortar kedua berukuran  $(1,5 \times 1,5 \times 1,5) \text{ cm}$ . Pembentukan sampel dilakukan dengan alat *circle saw*. Sampel uji kuat tekan mortar dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Sebelum pengujian dilakukan, dilakukan pengukuran kembali dimensi sampel mortar. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diketahui dimensi rata-rata sampel mortar ( $2 \times 2 \times 2$ ) cm adalah ( $2,19 \times 2,15 \times 2,19$ ) cm. Sedangkan dimensi rata-rata untuk sampel mortar ( $1,5 \times 1,5 \times 1,5$ ) cm adalah ( $1,53 \times 1,55 \times 1,64$ ) cm.



**Gambar 4.5** Sampel uji kuat tekan mortar



**Gambar 4.6** Pengujian kuat tekan mortar

Pembebanan dilakukan terhadap sampel mortar untuk mendapatkan nilai beban maksimum (kg). Nilai beban maksimum tersebut dibagi dengan luas permukaan sampel mortar ( $\text{cm}^2$ ), sehingga diperoleh nilai kuat tekan mortar ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Dalam pengujian ini, pembebanan dilakukan dengan alat *hydraulic jack* (kapasitas 150 kN) dan *load cell* (kapasitas 5 ton). Di bagian atas dan bawah sampel mortar diletakkan plat besi. Di antara plat besi dan sampel mortar, diletakkan kertas kardus untuk mengurangi pengaruh ketidak-rataan bahan. Pengujian terhadap salah satu sampel mortar (sampel M2) dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Nilai kuat tekan mortar yang diperoleh, harus dikonversi menjadi nilai kuat tekan mortar untuk ukuran benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Untuk sampel mortar jenis pertama, nilai kuat tekan mortar dikalikan dengan 0,90; 0,92; dan 0,83. Sedangkan untuk sampel mortar jenis kedua, nilai kuat tekan mortar dikalikan

dengan 0,83; 0,92; dan 0,83. Nilai konversi untuk kedua jenis sampel mortar, secara berurutan, diperoleh dari Gambar 2.11, Gambar 2.12, dan Tabel 2.4.

Selain dimensi sampel, umur sampel juga berpengaruh terhadap kuat tekan sampel mortar. Dari Tabel 2.5, dapat diperoleh faktor koreksi kuat tekan mortar terhadap umur sampel. Dengan metode interpolasi, diperoleh faktor koreksi sebesar  $1,00/1,209$  (0,83).

Pengolahan data pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada Lampiran 4. Sedangkan hasil pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada Tabel 4.4. Dari hasil pengujian, diketahui kuat tekan rata-rata mortar sebesar  $112,02 \text{ kg/cm}^2$ , dengan standar deviasi sebesar  $30,31 \text{ kg/cm}^2$ .

**Tabel 4.4** Hasil pengujian kuat tekan mortar

	Kuat Tekan Mortar ( $\text{kg/cm}^2$ )
Mean	112,02
Maximum	151,23
Minimum	70,25
S-DEV	30,31

#### 4.1.1.4 Uji Kuat Tekan Bata Merah (SNI 15-2094-2000)

Uji kuat tekan bata merah dilakukan berdasarkan SNI 15-2094-2000. Pembuatan sampel benda uji dilakukan untuk sampel bata terskala maupun asli. Pembuatan sampel benda uji dilakukan secara manual dengan alat pertukangan. Bata merah dipotong menjadi dua. Selanjutnya, kedua potongan tersebut disusun dengan penambahan mortar di antara keduanya. Untuk sampel uji kuat tekan bata merah, spesifikasi campuran mortar yang digunakan sama dengan campuran mortar untuk pembuatan dinding. Sampel uji kuat tekan bata merah, baik untuk bata merah asli maupun terskala, dapat dilihat pada Gambar 4.7.



a) Bata merah terskala

b) Bata merah asli

**Gambar 4.7** Sampel uji kuat tekan bata merah

Jumlah sampel untuk setiap jenis bata sebanyak 5 sampel. Konfigurasi dan metode pembebanan kurang lebih sama dengan pengujian kuat tekan sebelumnya. Hanya pada pengujian ini, untuk pengujian kuat tekan bata merah terskala, dipasang *dial gauge* untuk mengetahui deformasi vertikal. Selain itu, untuk sampel bata asli, pembebanan tidak dilakukan dengan *hydraulic jack*, melainkan dengan *compression test machine*. Konfigurasi pengujian kuat tekan bata merah dapat dilihat pada Gambar 4.8.



a) Bata merah terskala

b) Bata merah asli

**Gambar 4.8** Konfigurasi pengujian kuat tekan bata merah

**Tabel 4.5** Hasil pengujian kuat tekan bata merah

	Kuat Tekan Bata Merah		Rasio Bata Merah Terskala terhadap Bata Merah Asli
	Terskala (kg/cm <sup>2</sup> )	Asli (kg/cm <sup>2</sup> )	
Mean	49,30	15,03	3,28
Maximum	64,10	19,31	3,32
Minimum	36,25	11,26	3,22
S-Dev	10,91	2,87	3,81

Data pengujian untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Lampiran 5. Sedangkan hasil pengujian kuat tekan bata merah dapat dilihat pada Tabel 4.5. Dari Lampiran 5, diketahui bahwa dimensi rata-rata untuk sampel bata merah terskala adalah (5,0 × 3,8 × 5,3) cm. Sedangkan dimensi rata-rata untuk sampel bata merah asli sebesar (10,7 × 11,4 × 8,7) cm. Pada Tabel 4.5, dapat dilihat kuat tekan rata-rata bata merah terskala sebesar 49,30 kg/cm<sup>2</sup>, dengan standar deviasi sebesar 10,91 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan kuat tekan rata-rata bata merah asli sebesar 15,03 kg/cm<sup>2</sup>, dengan standar deviasi sebesar 2,87 kg/cm<sup>2</sup>.



Dari data di atas dapat dilihat kuat tekan bata merah terskala lebih besar dibandingkan kuat tekan bata merah asli. Rasio perbandingan antar keduanya sebesar 3,28. Hal ini diduga dapat terjadi karena pengaruh “*size effect factor*”.

#### 4.1.1.5 Uji Kuat Tekan Prisma Pasangan Bata Merah

Uji prisma pasangan bata merah dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan pasangan bata merah. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk memperoleh data mekanisme perilaku tegangan-regangan pasangan bata merah. Uji kuat tekan prisma pasangan bata merah ini dilakukan pada sampel bata merah terskala maupun asli. Proses pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah dapat dilihat pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah

Pengujian dilakukan dengan memberi beban pada sampel. Pembebanan dilakukan hingga sampel mengalami keruntuhan. Untuk sampel bata merah terskala, pembebanan dilakukan dengan *hydraulic jack* (kapasitas 150 kN) dan *load cell* (kapasitas 5 ton). Sedangkan untuk sampel bata merah asli, pembebanan dilakukan dengan *compression test machine*. Pembacaan deformasi dilakukan dengan alat *dial gauge*. Sebelum proses pembebanan, juga dilakukan pengukuran terhadap sampel prisma pasangan bata merah.

Perhitungan data pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah dilihat pada Lampiran 6. Sedangkan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.6. Terlihat pada Tabel 4.6, nilai kuat tekan rata-rata untuk bata merah terskala sebesar  $44,06 \text{ kg/cm}^2$ , dengan standar deviasi sebesar  $15,07 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan kuat tekan rata-rata untuk bata merah asli sebesar  $6,35 \text{ kg/cm}^2$ , dengan standar deviasi sebesar  $1,97 \text{ kg/cm}^2$ . Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan rata-rata untuk bata terskala lebih besar dibandingkan kuat tekan bata asli. Rasio kuat tekan rata-rata bata merah terskala terhadap bata merah asli sebesar 6,94.

**Tabel 4.6** Hasil pengujian kuat tekan prisma pasangan bata merah

	Kuat Tekan Bata Merah Terkoreksi		Rasio Bata Merah Terskala terhadap Bata Merah Asli
	Terskala (kg/cm <sup>2</sup> )	Asli (kg/cm <sup>2</sup> )	
Mean	44,06	6,35	6,94
Maximum	64,39	9,12	7,06
Minimum	25,27	3,88	6,52
S-Dev	15,07	1,97	7,66

## 4.1.2 Beton

### 4.1.2.1 Kolom-Balok Pengekang

Kolom-balok pengekan berfungsi untuk mengekan dinding pasangan bata merah. Dalam penelitian ini, perbandingan komposisi beton untuk kolom-balok pengekan adalah 1 semen : 3 pasir : 1 kerikil, dimana pasir yang digunakan telah lolos saringan no. 8 (2,75 mm). Komposisi beton tersebut digunakan untuk mempermudah proses pengerjaan.

Untuk mengetahui karakteristik beton kolom-balok pengekan, dilakukan pembebanan pada benda uji beton dengan *compression test machine*. Dalam penelitian ini, benda uji beton untuk kolom-balok pengekan berupa kubus (5 × 5 × 5) cm. Pada Gambar 4.10, dapat dilihat beberapa benda uji beton untuk kolom-balok pengekan.

**Gambar 4.10** Benda uji kubus (5 × 5 × 5) cm

Dari pengujian kuat tekan beton, diperoleh data beban maksimum (kg) yang dapat diterima benda uji. Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton (kg/cm<sup>2</sup>), nilai beban maksimum tersebut dibagi dengan luas permukaan benda uji (cm<sup>2</sup>). Luas permukaan

benda uji diperoleh melalui pengukuran benda uji sebelum pengujian dilakukan. Perhitungan hasil pengujian kuat tekan beton kolom-balok pengegang dapat dilihat pada Lampiran 7.

Untuk dapat digunakan, hasil pengujian kuat tekan beton untuk benda uji kubus ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm harus dikonversi ke dalam kuat tekan beton untuk benda uji silinder  $\varnothing 15$  cm dan tinggi 30 cm. Pengkonversian tersebut dilakukan dengan mengalikan nilai kuat tekan beton dengan faktor koreksi. Dalam hal ini, nilai kuat tekan beton benda uji kubus ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm harus dikali dengan dua nilai faktor koreksi. Faktor koreksi pertama sebesar 0,92 untuk konversi nilai kuat tekan kubus beton ukuran ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm ke dalam kuat tekan kubus beton ukuran ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm. Faktor koreksi kedua sebesar 0,83 untuk konversi kuat tekan kubus beton ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm ke dalam kuat tekan silinder beton  $\varnothing 15$  cm dan tinggi 30 cm.

Selain kedua faktor koreksi tersebut, kuat tekan beton juga harus dikalikan faktor koreksi akibat pengaruh keterlambatan pengujian benda uji beton. Nilai faktor koreksi akibat pengaruh umur beton dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 4.7** Hasil pengujian kuat tekan beton kolom-balok pengegang

	Kuat Tekan Terkoreksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Mean	118,61
Maximum	210,08
Minimum	63,53
S-Dev	52,59

Hasil pengujian kuat tekan beton kolom-balok pengegang dapat dilihat pada Tabel 4.7. Dari hasil pengujian, diperoleh kuat tekan beton rata-rata kolom-balok pengegang sebesar 118,61 kg/cm<sup>2</sup>, dengan standar deviasi sebesar 52,59 kg/cm<sup>2</sup>. Kuat tekan beton terbesar sebesar 210,08 kg/cm<sup>2</sup> (model dinding uji C3). Sedangkan, kuat tekan beton terkecil sebesar 63,53 kg/cm<sup>2</sup> (model dinding uji C2).

#### 4.1.2.2 Balok Sloof

Berdasarkan ASTM E 2126, model dinding benda uji harus dihubungkan dengan bagian dasar yang kaku. Dalam hal ini digunakan balok *sloof* sebagai bagian dasar dinding. Ukuran penampang balok *sloof* yang digunakan yaitu ( $15 \times 15$ ) cm, dengan panjang balok 160 cm. Perbandingan campuran beton yang digunakan untuk balok *sloof* adalah 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.

Untuk mengetahui kuat tekan beton balok *sloof*, diambil sampel berupa silinder dengan ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm. Sampel beton disimpan dalam suhu ruangan.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan alat *Compression Machine Test*. Dari pengujian kuat tekan beton, diperoleh data beban maksimum (kg) yang dapat diterima benda uji. Untuk memperoleh nilai kuat tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$ ), nilai beban maksimum tersebut dibagi dengan luas permukaan benda uji ( $\text{cm}^2$ ). Luas permukaan benda uji diperoleh melalui pengukuran benda uji sebelum pengujian dilakukan. Pengolahan hasil pengujian kuat tekan beton balok *sloof* dapat dilihat pada Lampiran 8.

Nilai kuat tekan beton yang diperoleh harus dikonversi menjadi nilai kuat tekan beton untuk sampel silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hal ini karena terdapat pengaruh ukuran sampel benda uji terhadap kuat tekan beton. Pengkonversian dilakukan dengan mengalikan nilai kuat tekan beton dengan 0,94 (Gambar 2.13). Selain itu, umur beton juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Faktor koreksi akibat umur beton dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 4.8** Hasil pengujian kuat tekan beton balok *sloof*

	<b>Kuat Tekan Terkoreksi (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>
Mean	213,952
Maximum	253,854
Minimum	163,530
S-Dev	39,178

Hasil pengujian untuk kuat tekan balok *sloof* dapat dilihat pada Tabel 4.8. Terlihat pada Tabel 4.8, kuat tekan beton rata-rata untuk balok *sloof* sebesar  $201,842 \text{ kg/cm}^2$ , dengan standar deviasi sebesar  $36,96 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai kuat tekan beton terbesar sebesar  $239,485 \text{ kg/cm}^2$ . Sedangkan nilai kuat tekan beton terkecil sebesar  $154,273 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.1.3 Tulangan

Tulangan digunakan sebagai elemen perkuatan beton. Tulangan dapat digunakan sebagai tulangan tarik, tulangan tekan, maupun sengkang. Pada model dinding benda uji yang dibuat, tulangan digunakan pada balok *sloof* dan kolom-balok pengekang. Selain itu, tulangan juga digunakan untuk *dowel*. Pada model dinding benda uji, *dowel* digunakan sebagai elemen pengikat kolom-balok pengekang dan dinding pasangan bata

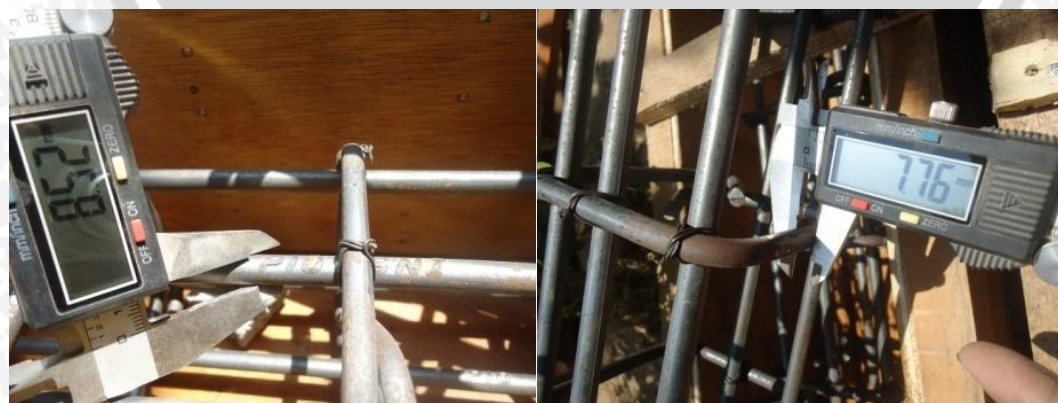
merah. Diameter tulangan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.9. Pengukuran diameter tulangan kolom dan balok *sloof*, secara berurutan, dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.

**Tabel 4.9** Diameter tulangan yang digunakan

<b>Diameter Tulangan (mm)</b>	
<b>Balok Sloof</b>	
- Tulangan Tarik	8,52
- Tulangan Tekan	8,52
- Sengkang	7,76
<b>Kolom Pengekang</b>	
- Tulangan Tarik	4,51
- Tulangan Tekan	4,51
- Sengkang	2,26
<b>Balok Pengekang</b>	
- Tulangan Tarik	4,51
- Tulangan Tekan	4,51
- Sengkang	2,26
<b>Dowel</b>	1,51



**Gambar 4.11** Pengukuran diameter tulangan kolom



**Gambar 4.12** Pengukuran diameter tulangan balok *sloof*

#### 4.2 Pengujian Dinding Bata Terkekang dengan Beban Siklik Lateral

Pengujian dinding bata terkekang dengan beban siklik lateral dilakukan sesuai rancangan penelitian pada BAB III. Pengujian dilakukan terhadap dinding bata terkekang yang telah berumur 28 hari atau lebih. Sampel dinding bata terkekang selanjutnya dipasang pada *setting up* alat sesuai pada BAB III. Adapun parameter yang diambil pada pengujian ini adalah besarnya beban serta perpindahan horisontal pada bagian samping-atas dinding. Selain itu, juga diambil parameter pendukung berupa kontrol geser dan kontrol guling. Instalasi pengujian siklik lateral dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Pembacaan perpindahan horisontal dilakukan dengan alat LVDT yang diletakkan pada bagian samping kanan-atas dinding. Sedangkan nilai beban yang diberikan pada dinding dibaca dengan alat *Load Cell* yang diletakkan di antara *Hydraulic Jack* dan dinding. Kontrol geser dan kontrol guling dibaca dengan *dial gauge*.

Pada pengujian ini, pembacaan dan pembebanan dilakukan secara manual. Pembacaan dilakukan dengan mengacu pada kontrol perpindahan yang terbaca pada alat LVDT. Nilai acuan perpindahan sesuai dengan data sekunder.



**Gambar 4.13** Instalasi pengujian siklik lateral

Dalam penelitian ini, terdapat perbedaan umur dinding pada saat pengujian. Hal ini terjadi karena faktor kesalahan manusia serta keterbatasan alat dan waktu pengujian. Rekapitulasi tanggal pembuatan dan pengujian dinding dapat dilihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi tanggal pembuatan dan pengujian dinding

Benda Uji	Tanggal Pembuatan Dinding		Tanggal Pengujian	Umur (hari)
	Mulai	Selesai		
A1	07-10-2015	12-10-2015	11-12-2015	60
A2	19-10-2015	23-10-2015	04-01-2016	73
B1	13-10-2015	16-10-2015	07-01-2016	83
B2	13-10-2015	16-10-2015	22-12-2015	67
B3	13-10-2015	16-10-2015	16-12-2015	61
C1	19-10-2015	24-10-2015	18-12-2015	55
C2	19-10-2015	26-10-2015	06-01-2016	72
C3	19-10-2015	26-10-2015	28-12-2015	63

Dalam proses pengujian yang telah dilakukan, data sekunder yang digunakan belum dapat memberikan hasil pengujian yang maksimal. Sehingga selama proses pengujian, dilakukan beberapa kali perubahan pola pembacaan. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil pengujian berupa kurva histeresis yang baik.

Pada pengujian dengan beban siklik lateral pertama (benda uji A1), pembebanan hanya dilakukan sampai perpindahan lateral mencapai 12 mm (*drift ratio 1%*). Namun pada perpindahan lateral 12 mm,  $P_{siklus}$  terakhir ternyata belum mencapai nilai 80%  $P_{max}$ . Maka, pada pengujian dinding selanjutnya (benda uji B3), pembebanan dilakukan hingga memperoleh nilai 80%  $P_{max}$  atau hingga kapasitas maksimum pembacaan LVDT (26,4 mm).

Pada pengujian benda uji B3, diperoleh bentuk kurva histeresis yang masih kaku. Hal ini disebabkan titik-titik pembacaan hanya terletak pada bagian ujung siklus. Pada pengujian selanjutnya (benda uji C1 dan B2), titik-titik pembacaan diubah sehingga tidak hanya terletak pada bagian ujung siklus. Hasil yang diperoleh dengan perubahan pola pembacaan tersebut adalah bentuk kurva histeresis yang semakin baik.

Pada pengujian selanjutnya (benda uji C3, A2, C2, dan B1), dilakukan perubahan pola pembacaan untuk perpindahan 14,4 mm hingga 26,4 mm. Hal ini karena pada pengujian sebelumnya (benda uji C1 dan B2), terdapat kesalahan pada hasil kurva histeresis dalam rentang perpindahan tersebut. Kesalahan tersebut terjadi karena tidak ada siklus kedua untuk setiap nilai perpindahan.

### 4.3 Hasil pengujian beban siklik lateral

Berdasarkan pengujian dan pengolahan data yang telah dilakukan (tata cara pengolahan data dapat dilihat pada Lampiran 9), diperoleh kurva histeresis dengan beberapa fase untuk setiap dinding benda uji. Dari kurva histeresis tersebut, dapat dibuat kurva selubung dengan menghubungkan puncak siklus antara setiap fase. Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis kurva selubung yang diperoleh. Kurva selubung pertama merupakan hubungan antara puncak siklus pertama pada setiap fase. Sedangkan kurva selubung kedua merupakan hubungan antara puncak siklus kedua pada setiap fase.

Dalam penelitian ini, kinerja dinding bata terkekang ditinjau melalui perbandingan kemiringan diagram  $P-\Delta$ . Kemiringan yang dimaksud merupakan representasi dari kekakuan elastis ( $K_e$ ) pada kurva  $EEEE$ . Berdasarkan ASTM 2126, untuk memperoleh nilai kekakuan elastis, dibutuhkan beberapa data dari setiap kurva selubung, antara lain  $P_{\text{puncak}}$ ,  $P_{(0,4 \times P_{\text{puncak}})}$ , dan  $\Delta_e$ . Data dari setiap model dinding dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan 4.12.

**Tabel 4.11** Nilai  $P_{\text{puncak}}$ ,  $P_{(0,4 \times P_{\text{puncak}})}$ ,  $\Delta_e$ , dan  $K_e$  kurva selubung pertama

Model Dinding	Beban dari Kanan				Beban dari Kiri			
	$P_{\text{puncak}}$ (kg)	$0,4 P_{\text{puncak}}$ (kg)	$\Delta_e$ (mm)	$K_e$ (kg/mm)	$P_{\text{puncak}}$ (kg)	$0,4 P_{\text{puncak}}$ (kg)	$\Delta_e$ (mm)	$K_e$ (kg/mm)
A1	711,5	284,6	1,302	218,561	-660,0	-264,0	-2,128	124,033
A2	556,0	222,4	0,649	342,523	-747,0	-298,8	-0,918	325,406
B1	470,0	188,0	1,616	116,325	-450,5	-180,2	-1,442	124,952
B2	565,0	226,0	2,529	89,354	-467,0	-186,8	-1,777	105,142
B3	399,5	159,8	1,368	116,792	-502,0	-200,8	-1,313	152,919
C1	720,0	288,0	1,219	236,245	-425,5	-170,2	-0,748	227,637
C2	570,0	228,0	1,482	153,824	-308,0	-123,2	-0,646	190,584
C3	689,0	275,6	1,779	154,882	-562,0	-224,8	-1,453	154,721

**Tabel 4.12** Nilai  $P_{\text{puncak}}$ ,  $P_{(0,4 \times P_{\text{puncak}})}$ , dan  $\Delta_e$  kurva selubung kedua

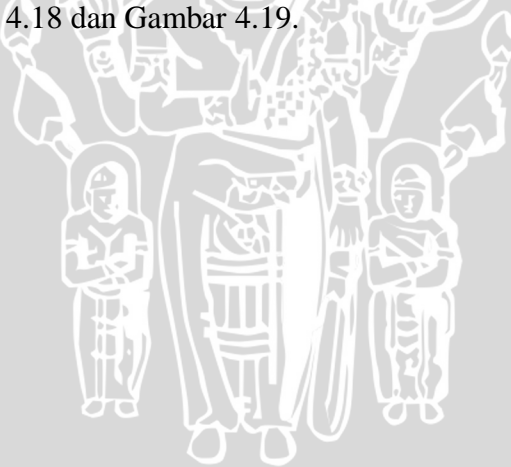
Model Dinding	Beban dari Kanan				Beban dari Kiri			
	$P_{\text{puncak}}$ (kg)	$0,4 P_{\text{puncak}}$ (kg)	$\Delta_e$ (mm)	$K_e$ (kg/mm)	$P_{\text{puncak}}$ (kg)	$0,4 P_{\text{puncak}}$ (kg)	$\Delta_e$ (mm)	$K_e$ (kg/mm)
A1	683,0	273,2	1,548	176,495	-600,5	-240,2	-1,923	124,924
A2	476,0	190,4	0,535	356,042	-690,0	-276,0	-0,858	321,864
B1	418,0	167,2	1,459	114,631	-414,0	-165,6	-1,433	115,525
B2	436,5	174,6	1,879	92,898	-353,5	-141,4	-1,550	91,202
B3	350,5	140,2	1,352	103,661	-437,5	-175,0	-1,138	153,716
C1	672,0	268,8	1,246	215,686	-381,0	-152,4	-0,698	218,311
C2	507,0	202,8	1,376	147,343	-275,0	-110,0	-0,587	187,414
C3	652,0	260,8	1,379	189,191	-512,0	-204,8	-1,380	148,385

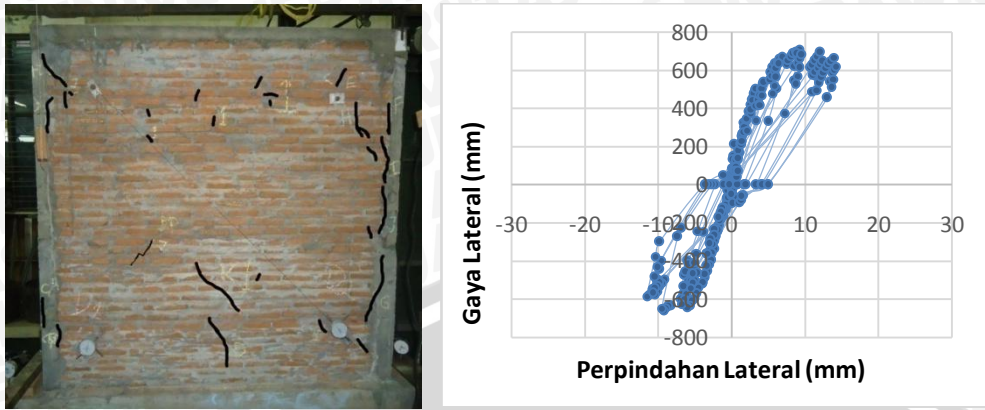


#### 4.3.1 Model dinding tanpa bukaan (Kode A)

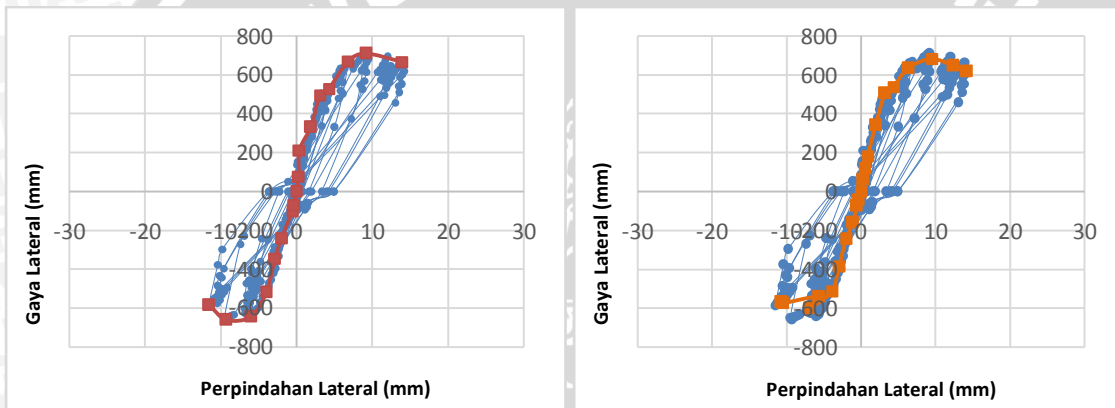
Pengujian untuk model dinding tanpa bukaan terdiri dari dua sampel, yaitu model dinding A1 dan A2. Pola keruntuhan serta kurva histeresis model dinding A1 dan A2, secara berurutan, dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan 4.17. Dari Gambar 4.14, dapat dilihat retakan kecil hanya terjadi pada dinding bata. Sedangkan pada Gambar 4.17, dapat dilihat dinding bata merah mengalami keruntuhan geser. Hal ini ditandai dengan kemunculan retakan dari ujung samping kiri-atas hingga samping kanan-tengah model dinding. Selain itu, ditinjau dari bentuk kurva histeresis, model dinding A2 lebih kaku jika dibandingkan model dinding A1. Berdasarkan Tabel 4.11, kekakuan elastis rata-rata pada model dinding A2 lebih besar dibandingkan model dinding A1, dengan rasio 1,57. Beban maksimum yang dapat diterima model dinding A2 juga lebih besar dibandingkan model dinding A1, dengan rasio sebesar 1,05.

Bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding A1, baik siklus pertama dan siklus kedua, secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Sedangkan bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding A2, baik siklus pertama dan siklus kedua, secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.





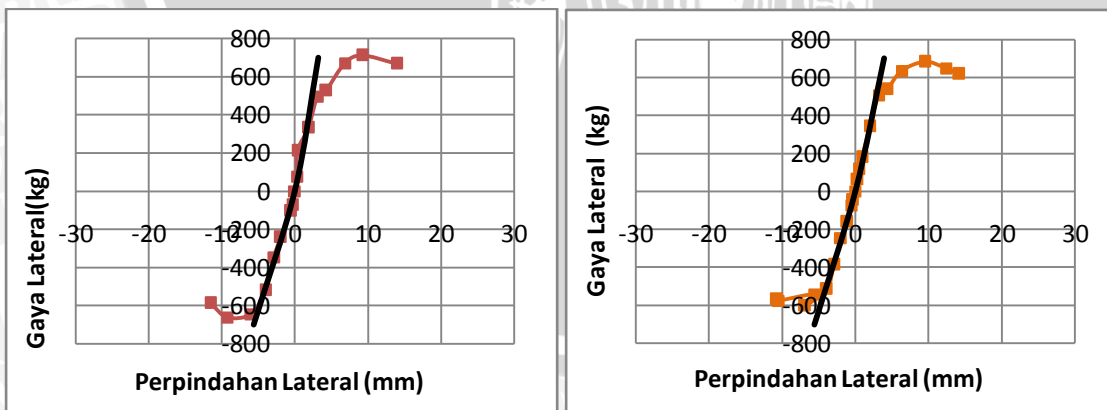
**Gambar 4.14** Pola kerusakan model dinding A1 tanpa bukaan dengan kurva histeresisnya



a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

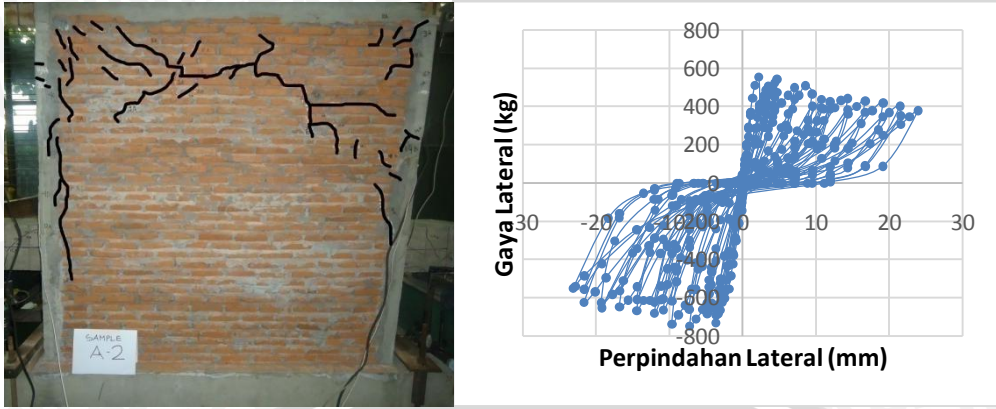
**Gambar 4.15** Kurva selubung benda uji A1



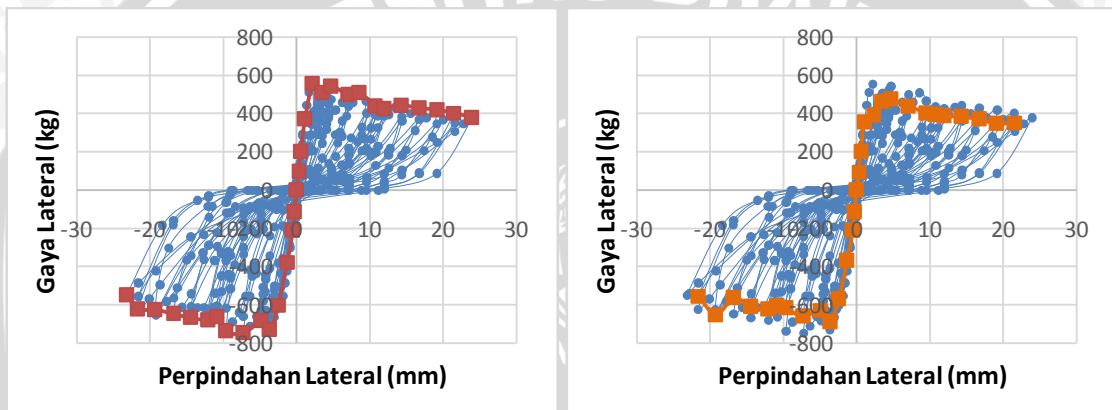
a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

**Gambar 4.16** Kemiringan kurva selubung A1



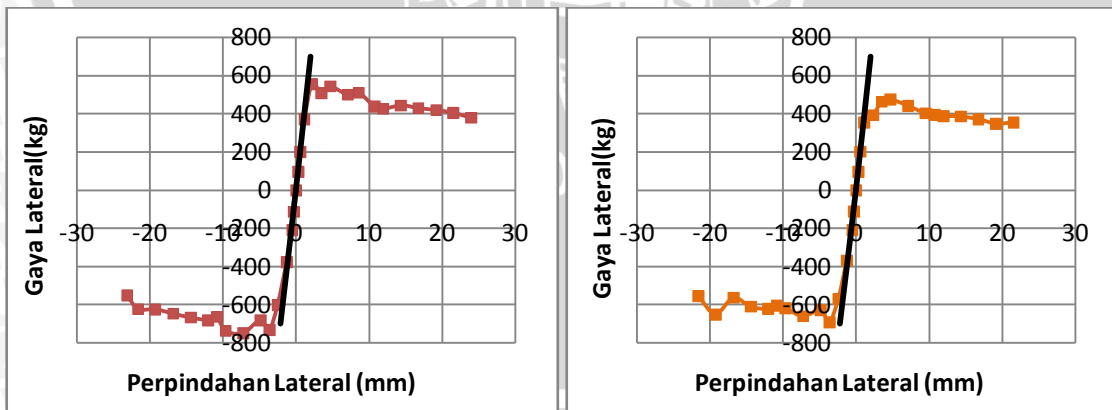
**Gambar 4.17** Pola kerusakan model dinding A2 tanpa bukaan dengan kurva histeresisnya



a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

**Gambar 4.18** Kurva selubung benda uji A2



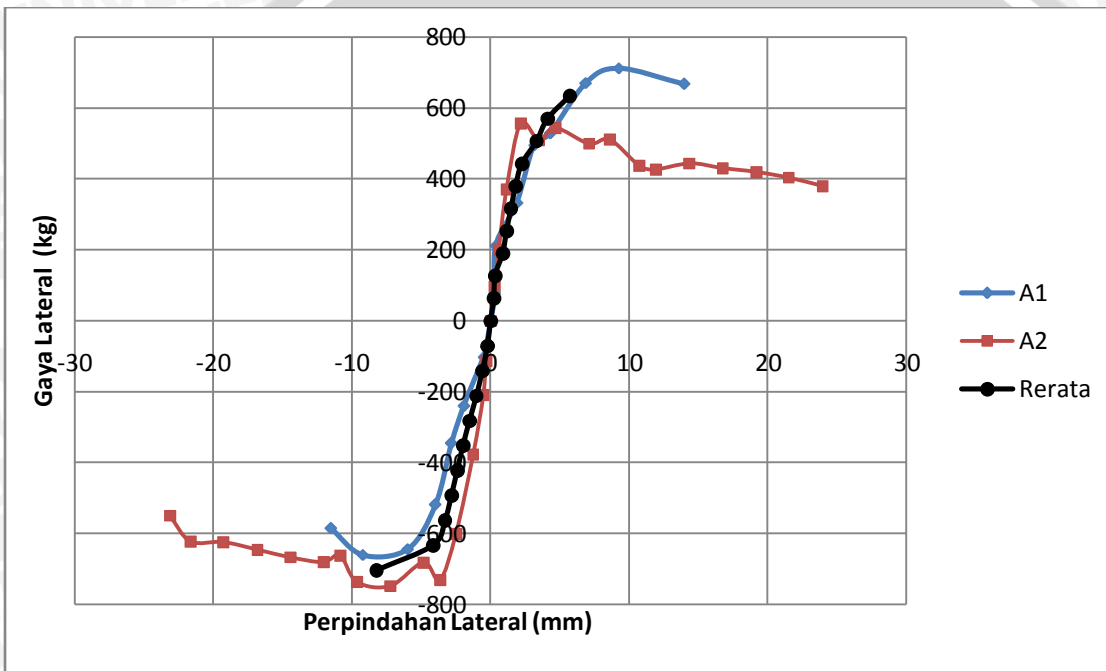
a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

**Gambar 4.19** Kemiringan kurva selubung A2

Dibandingkan model dinding A2, kekakuan elastis pada model dinding A1 lebih kecil. Hal ini karena saat pengujian model dinding A1, terjadi kesalahan prediksi waktu, sehingga terdapat jeda kurang lebih 16 jam. Hal ini secara tidak langsung berpengaruh terhadap penurunan kekakuan dinding.

Berdasarkan kurva selubung yang telah diperoleh, dibuat kurva selubung rata-rata. Hasil rata-rata kurva selubung untuk model dinding tanpa bukaan (kode A) dapat dilihat pada Gambar 4.20. Dalam penelitian ini, kurva selubung rata-rata hanya dibuat untuk siklus pertama.



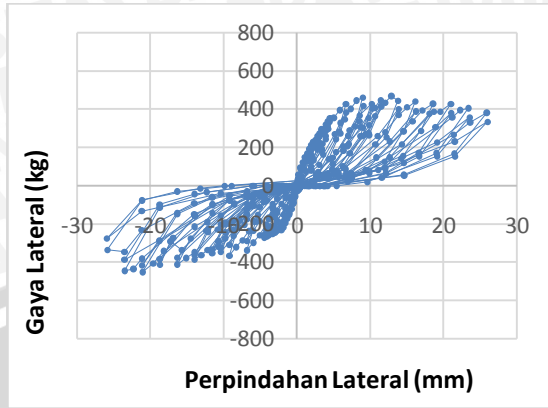
**Gambar 4.20** Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding A

#### 4.3.2 Model dinding bukaan di tengah (Kode B)

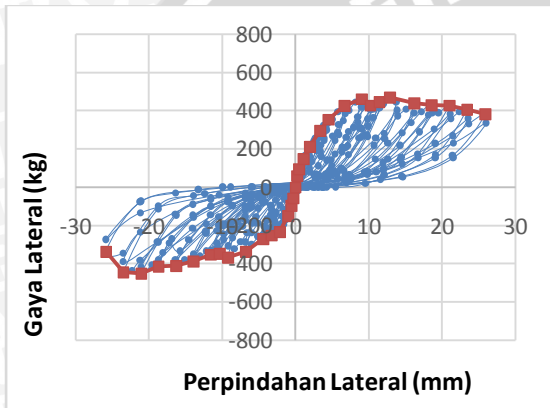
Pola keruntuhan dan kurva histeresis untuk model dinding B1, B2, dan B3, secara berurutan, dapat dilihat pada Gambar 4.21, Gambar 4.24, dan Gambar 4.27. Berdasarkan kurva histeresis yang diperoleh, dapat dibuat kurva selubung dan garis kemiringan kurva selubung untuk masing-masing model dinding, baik untuk siklus pertama maupun siklus kedua. Pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23, secara berurutan, dapat dilihat bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding B1, baik siklus pertama dan siklus kedua. Pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26, secara berurutan, dapat dilihat bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding B2, baik siklus pertama dan siklus kedua. Sedangkan bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding B3, baik siklus pertama dan siklus kedua, secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.

Berdasarkan Gambar 4.21, Gambar 4.24, dan Gambar 4.27, pola keruntuhan serta kurva histeresis setiap model dinding bukaan tengah hampir sama. Pada setiap model dinding, timbul retak yang memanjang dari bagian samping-atas model dinding hingga bagian samping-atas bukaan (*rolag*). Selain itu, pada setiap model dinding, timbul retakan pada bagian samping kiri bukaan yang merambat dari bagian samping-atas model dinding hingga bagian bawah bukaan. Pada setiap model dinding, juga timbul retakan atau sobekan pada bagian samping kanan-bawah bukaan.

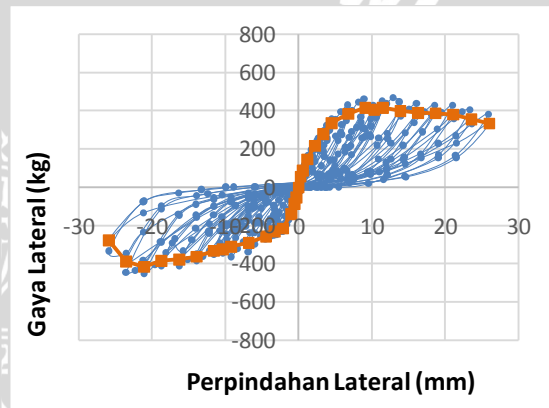
Berdasarkan Tabel 4.11, untuk model dinding bukaan di bagian tengah, nilai kekakuan elastis rata-rata siklus pertama sebesar 117,581 kg/mm, dengan rasio perbedaan kekakuan elastis antara beban dari kanan dan kiri sebesar 15,18 %. Sedangkan untuk siklus kedua, berdasarkan Tabel 4.12, nilai kekakuan elastis rata-rata model dinding bukaan di bagian tengah sebesar 111,939 kg/mm, dengan rasio perbedaan kekakuan elastis antara beban dari kanan dan kiri sebesar 9,98 %.



**Gambar 4.21** Pola kerusakan model dinding B1 bukaan di tengah dengan kurva histeresisnya

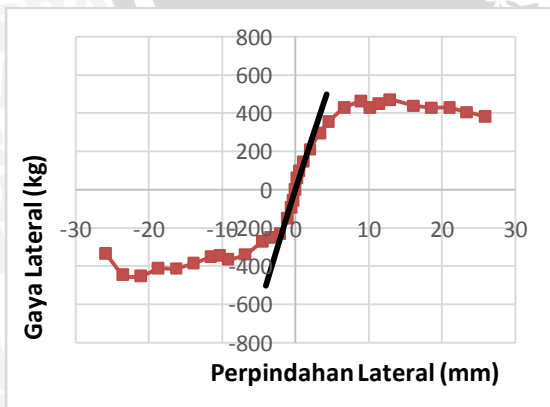


a) Siklus pertama

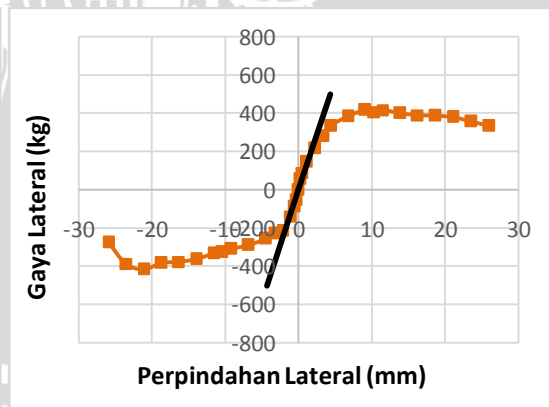


b) Siklus kedua

**Gambar 4.22** Kurva selubung benda uji B1

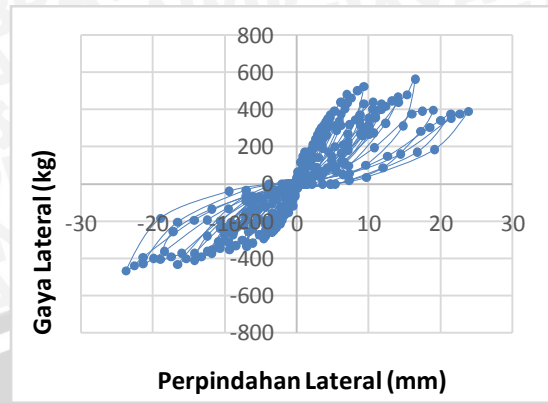
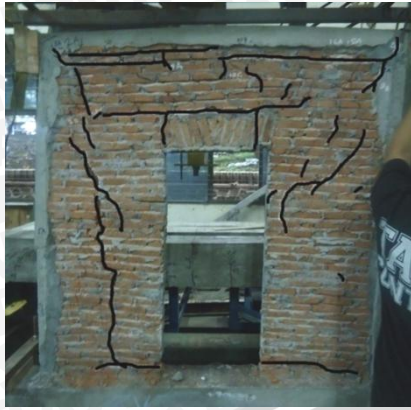


a) Siklus pertama

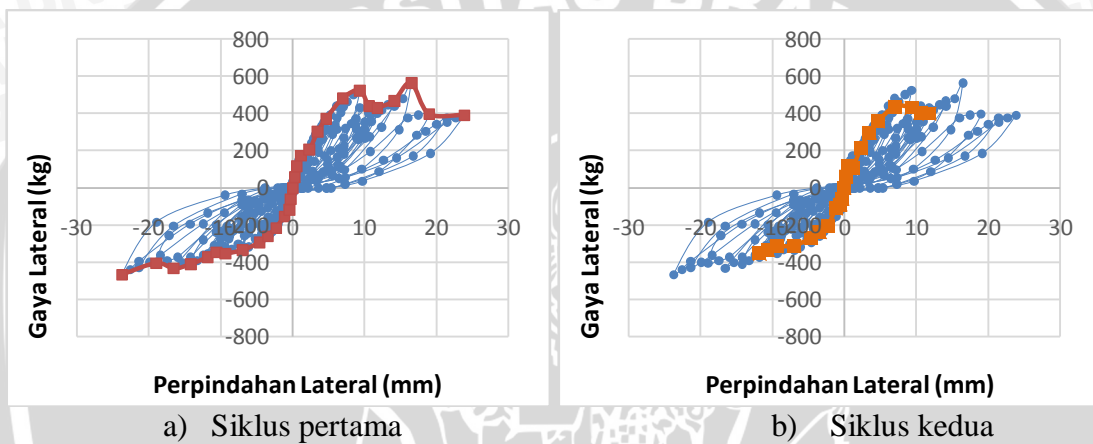


b) Siklus kedua

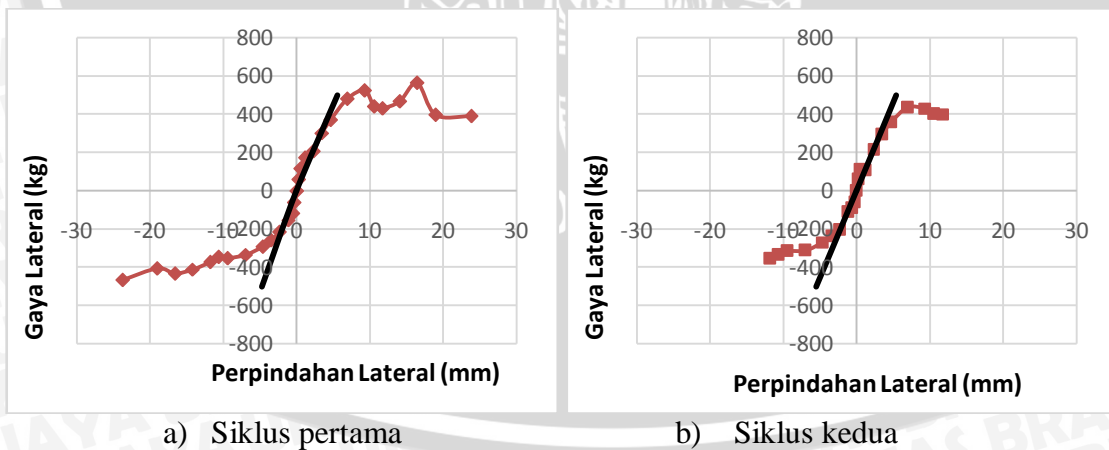
**Gambar 4.23** Kemiringan kurva selubung B1



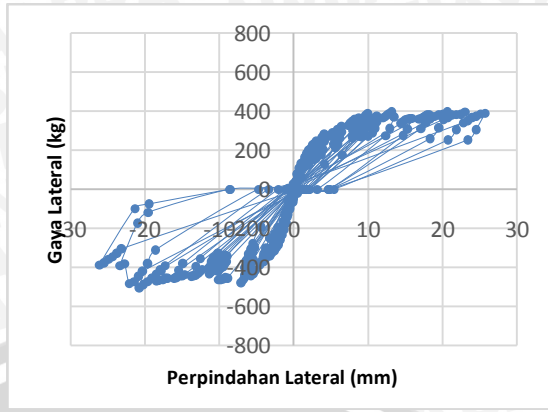
**Gambar 4.24** Pola kerusakan model dinding B2 tanpa bukaan dengan kurva histeresisnya



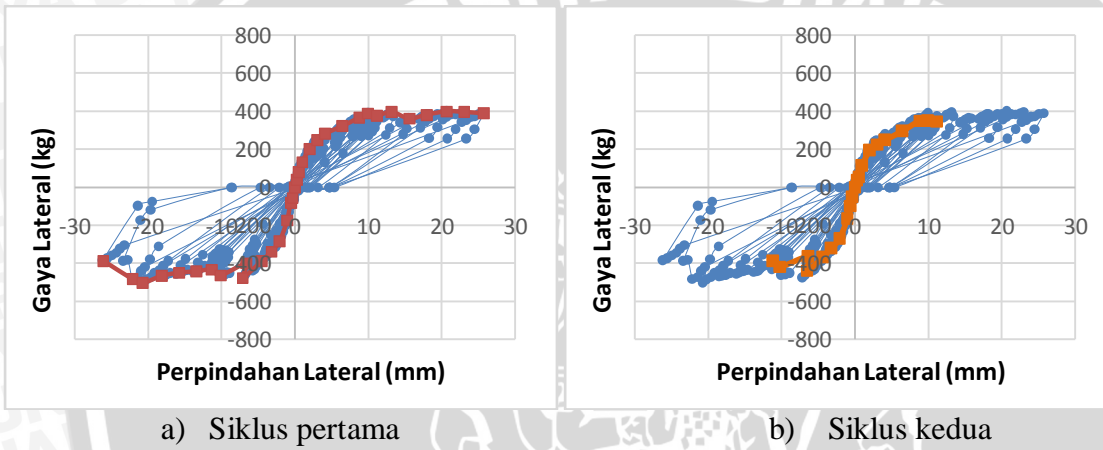
**Gambar 4.25** Kurva selubung benda uji B2



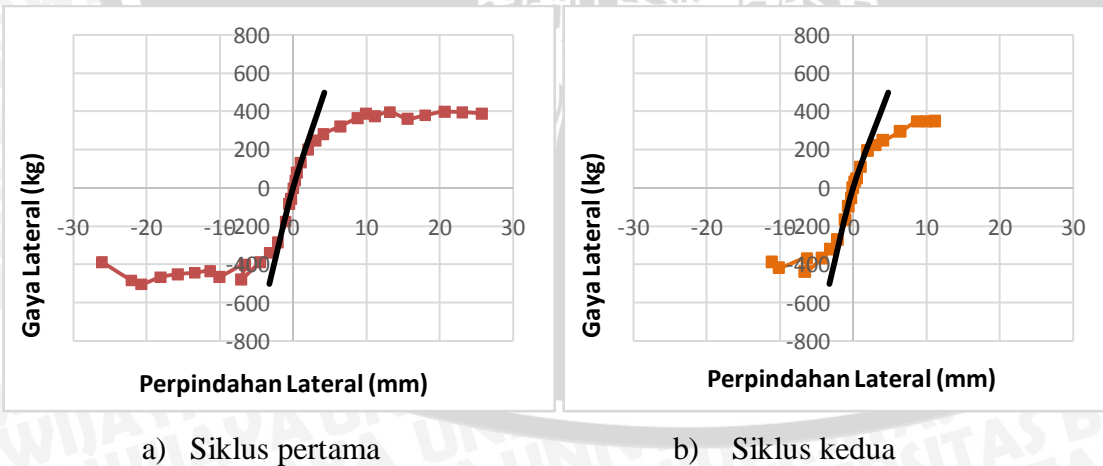
**Gambar 4.26** Kemiringan kurva selubung B2



**Gambar 4.27** Pola kerusakan model dinding B3 bukaan di tengah dengan kurva histeresisnya

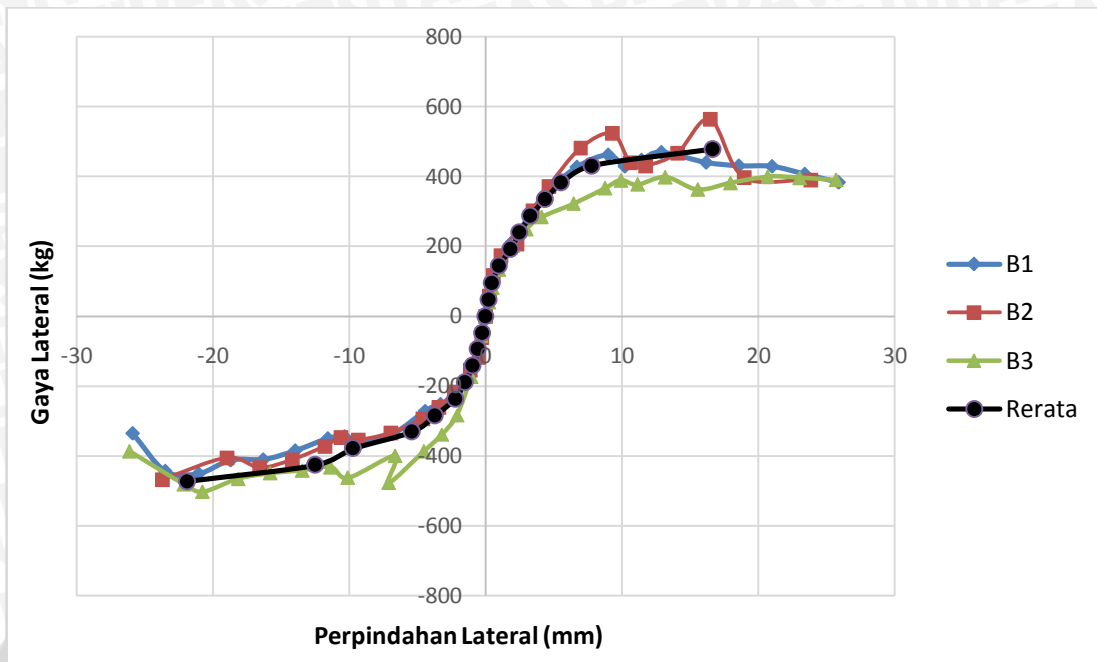


**Gambar 4.28** Kurva selubung benda uji B3



**Gambar 4.29** Kemiringan kurva selubung B3





**Gambar 4.30** Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding B

Berdasarkan kurva selubung yang telah diperoleh, dibuat kurva selubung rata-rata. Hasil rata-rata kurva selubung untuk model dinding bukaan di tengah (kode B) dapat dilihat pada Gambar 4.30. Dalam penelitian ini, kurva selubung rata-rata hanya dibuat untuk siklus pertama.

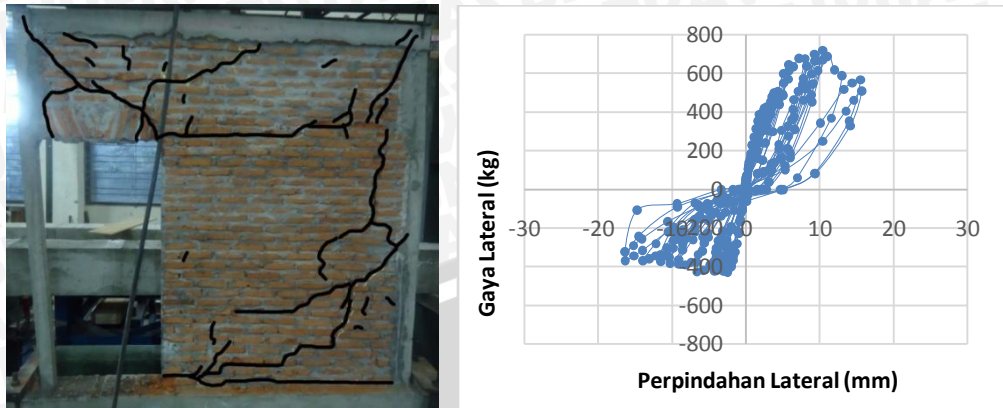
### 4.3.3 Model Dinding Bukaannya di Tepi (Kode C)

Pola keruntuhan dan kurva histeresis untuk model dinding C1, C2, dan C3, secara berurutan, dapat dilihat pada Gambar 4.31, Gambar 4.34, dan Gambar 4.37. Berdasarkan kurva histeresis yang diperoleh, dapat dibuat kurva selubung dan garis kemiringan kurva selubung untuk masing-masing model dinding, baik untuk siklus pertama maupun siklus kedua. Pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33, secara berurutan, dapat dilihat bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding C1, baik siklus pertama dan siklus kedua. Pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36, secara berurutan, dapat dilihat bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding C2, baik siklus pertama dan siklus kedua. Sedangkan bentuk kurva selubung serta garis kemiringan kurva selubung model dinding C3, baik siklus pertama dan siklus kedua, secara berurutan dapat dilihat pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39.

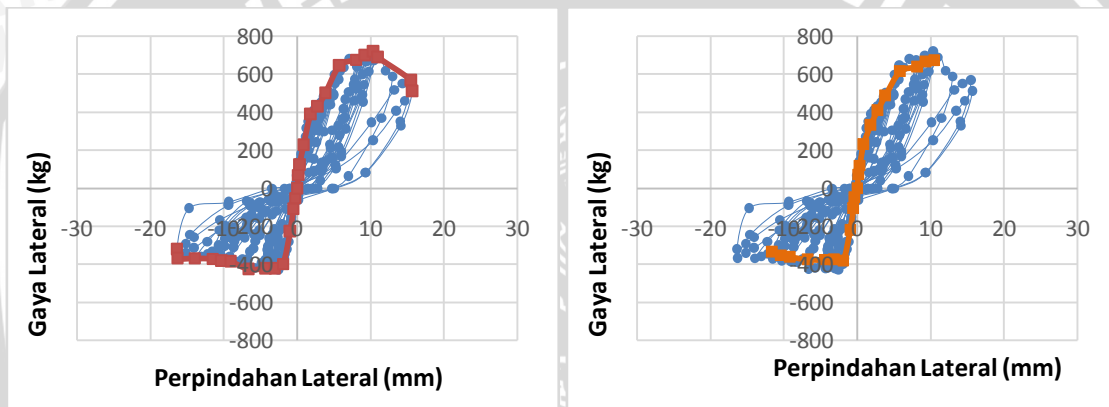
Berdasarkan Gambar 4.31, Gambar 4.34, dan Gambar 4.37, pola keruntuhan serta kurva histeresis setiap model dinding bukaan tengah hampir sama. Pada setiap model dinding, timbul retak yang memanjang dari bagian samping-atas model dinding hingga bagian samping-atas bukaan (*rolag*). Retakan juga timbul pada bagian *rolag* itu sendiri, meskipun tidak sampai terjadi keruntuhan. Selain itu, pada setiap model dinding, juga timbul retakan atau sobekan pada bagian samping kanan-bawah bukaan.

Berdasarkan Tabel 4.11, untuk model dinding bukaan di bagian tepi, nilai kekakuan elastis rata-rata siklus pertama sebesar 186,315 kg/mm, dengan rasio rata-rata perbedaan kekakuan elastis antara beban dari kanan dan kiri sebesar 5,13 %.

Untuk siklus kedua, berdasarkan Tabel 4.12, nilai kekakuan elastis rata-rata model dinding bukaan di bagian tepi sebesar 184,388kg/mm, dengan rasio perbedaan kekakuan elastis antara beban dari kanan dan kiri sebesar 1,64 %.



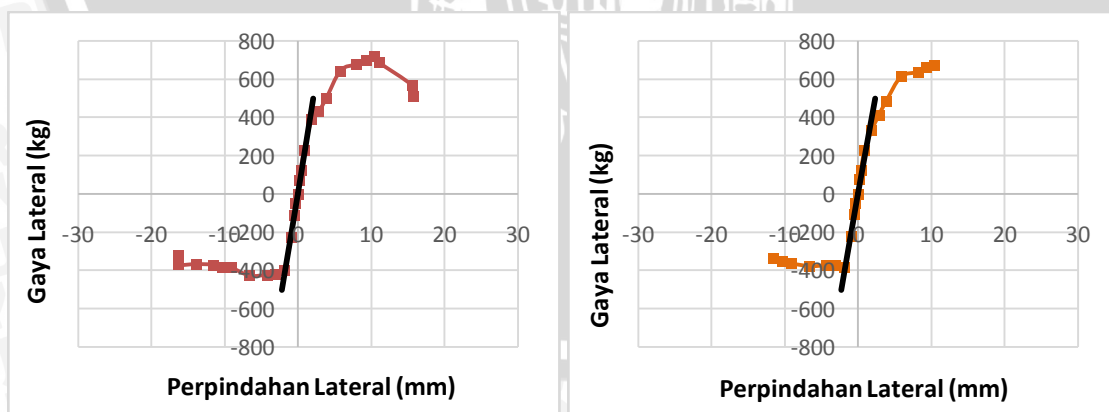
**Gambar 4.31** Pola kerusakan model dinding C1 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya



a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

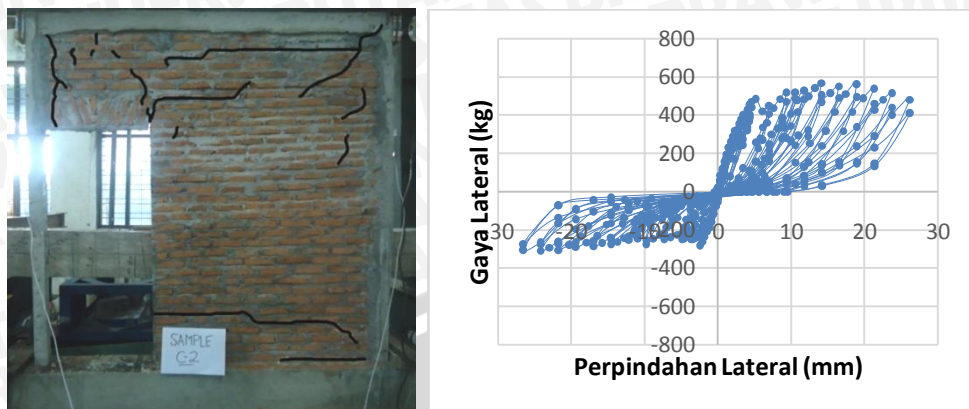
**Gambar 4.32** Kurva selubung benda uji C1



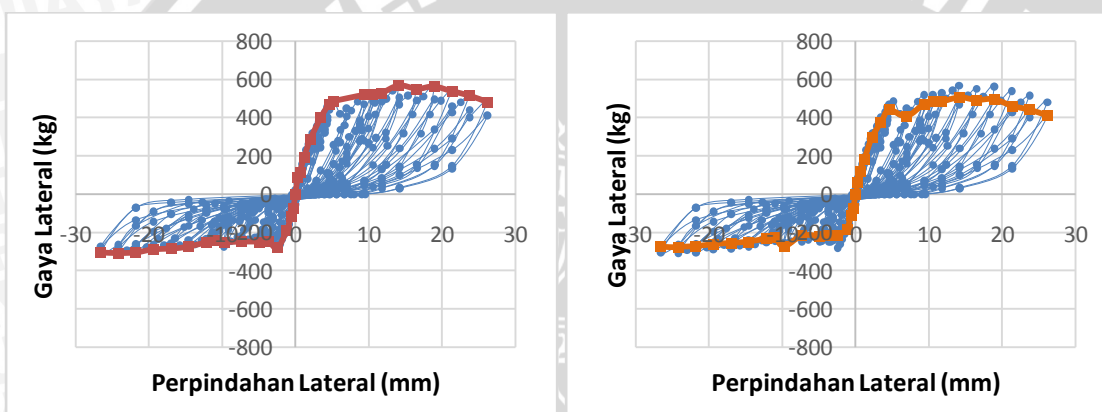
a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

**Gambar 4.33** Kemiringan kurva selubung C1



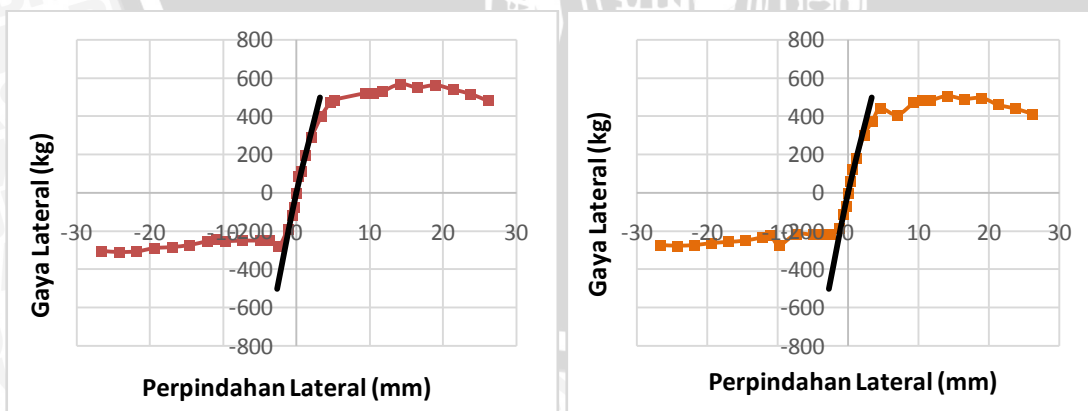
Gambar 4.34 Pola kerusakan model dinding C2 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya



a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

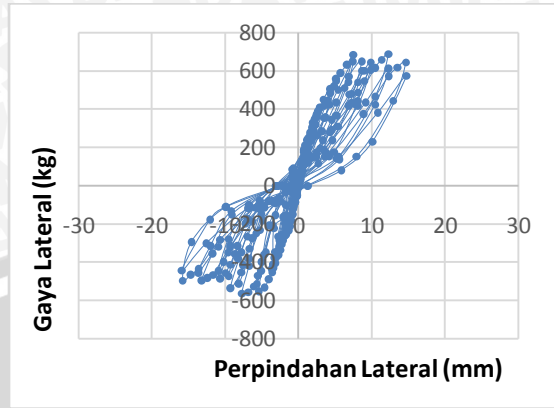
Gambar 4.35 Kurva selubung benda uji C2



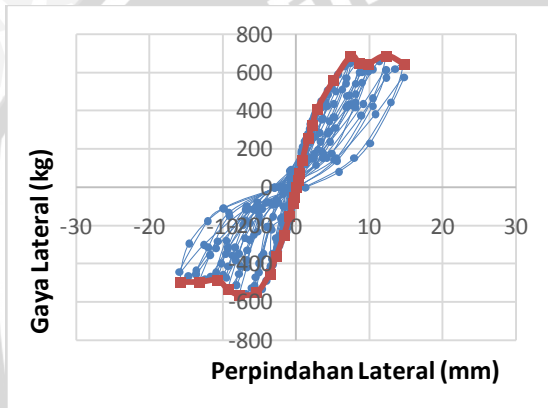
a) Siklus pertama

b) Siklus kedua

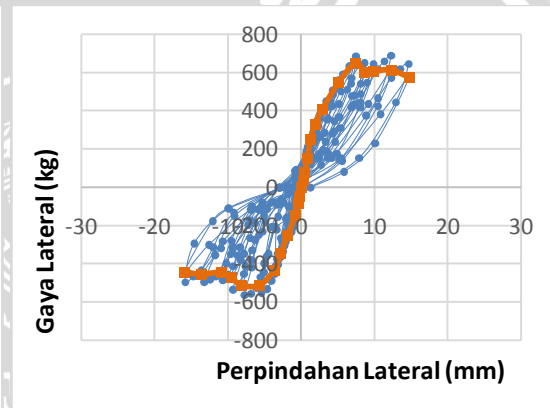
Gambar 4.36 Kemiringan kurva selubung C2



**Gambar 4.37** Pola kerusakan model dinding C3 bukaan di tepi dengan kurva histeresisnya

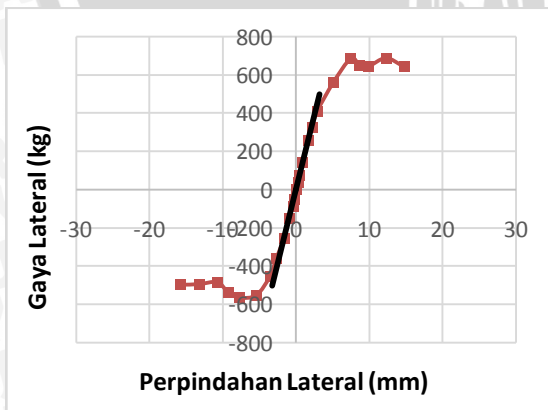


a) Siklus pertama

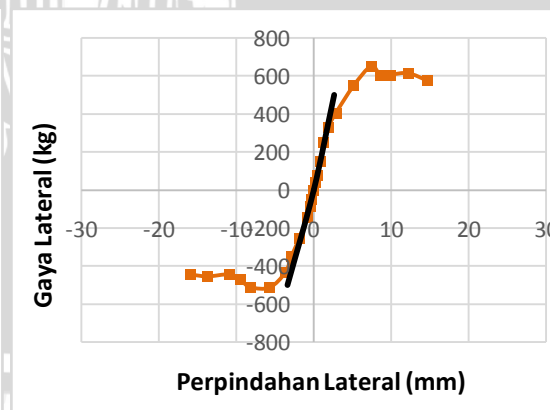


b) Siklus kedua

**Gambar 4.38** Kurva selubung benda uji C3

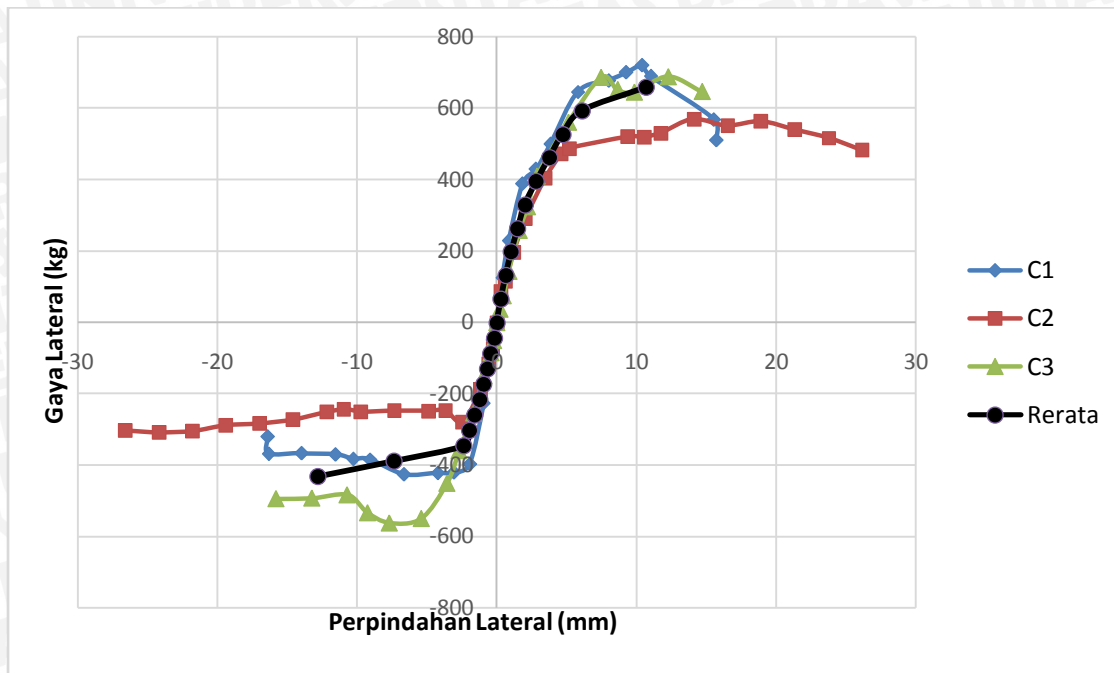


a) Siklus pertama



b) Siklus kedua

**Gambar 4.39** Kemiringan kurva selubung C3



**Gambar 4.40** Grafik rata-rata kurva selubung siklus pertama model dinding C

Berdasarkan kurva selubung yang telah diperoleh, dibuat kurva selubung rata-rata. Hasil rata-rata kurva selubung untuk model dinding bukaan di tepi (kode C) dapat dilihat pada Gambar 4.40. Dalam penelitian ini, kurva selubung rata-rata hanya dibuat untuk siklus pertama.

#### 4.4 Analisis Teoritis Perbedaan Kemiringan pada Kurva Histeresis

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.

Perhitungan tegangan tarik dan tekan untuk setiap model dinding dapat dilihat pada Lampiran 12. Sedangkan hasil perhitungan tegangan tarik dan tekan, baik untuk beban dari sisi kanan dan kiri, dapat dilihat pada Tabel 4.13. Dalam Tabel 4.13, tegangan tarik ditunjukkan dengan nilai positif, sedangkan tegangan tekan ditunjukkan dengan nilai negatif. Tegangan pada sisi kanan dinding ditunjukkan dengan simbol  $\sigma_1$ . Sedangkan tegangan pada sisi kiri dinding ditunjukkan dengan simbol  $\sigma_2$ .

Pada model dinding yang simetris (kode A dan B), perbedaan nilai tegangan akibat beban dari kanan dan kiri relatif kecil. Sedangkan pada model dinding bukaan tepi (kode C), perbedaan nilai tegangan akibat beban dari kanan dan kiri relatif besar.

**Tabel 4.13** Nilai  $\sigma_{1,2}$  untuk setiap model dinding dengan beban dari kanan dan kiri

Model Dinding	Beban dari kiri		Beban dari kanan	
	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	0,9237	-1,3135	-1,3232	0,9326
A2	0,9265	-1,3160	-1,3139	0,9286
B1	0,9676	-1,4184	-1,4151	0,9908
B2	0,9210	-1,3580	-1,3633	0,9346
B3	0,8791	-1,3192	-1,3208	0,8776
C1	2,6603	-1,8092	-3,1014	1,3867
C2	2,7699	-1,8607	-3,2515	1,4372
C3	2,5691	-1,8444	-2,9947	1,4188

Pada model dinding bukaan tepi (kode C), tegangan tekan akibat beban dari sebelah kiri lebih kecil jika dibandingkan tegangan tekan akibat beban dari sebelah kanan. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai nilai perpindahan yang sama, dibutuhkan beban yang lebih besar dari sebelah kiri. Dengan mengacu pada nilai kekakuan merupakan hasil bagi antara gaya atau beban dengan besarnya perpindahan, maka secara teoritis, kemiringan kurva histeresis sebelah kiri (beban dari kiri) akan lebih besar dibandingkan kemiringan kurva histeresis sebelah kanan (beban dari kanan).

#### 4.5 Analisis Kurva Selubung pada Kurva Histeresis Hasil Pengujian

Berdasarkan analisa teoritis pada sub bab sebelumnya, terdapat dua asumsi yang diperoleh. Asumsi pertama, pada model dinding bukaan tepi (kode C), kekakuan elastis akibat beban dari kiri lebih besar dibandingkan kekakuan elastis akibat beban dari sebelah kanan. Sedangkan asumsi kedua, perbedaan kemiringan kurva histeresis terbesar berada pada model dinding bukaan tepi (kode C).

Berdasarkan data yang diperoleh (Tabel 4.14 dan 4.15), asumsi pertama secara umum tidak sesuai dengan hasil pengujian. Pada model dinding bukaan tepi (kode C), perbandingan kekakuan elastis akibat beban dari kiri dan beban dari kanan cenderung bervariasi. Untuk siklus pertama, pada model dinding C1 dan C3, kekakuan elastis akibat beban dari kiri lebih kecil dibandingkan kekakuan elastis akibat beban dari

sebelah kanan. Sedangkan pada model dinding C2, kekakuan elastis akibat beban dari kiri lebih besar dibandingkan kekakuan elastis akibat beban dari sebelah kanan. Adanya variasi data ini juga berlaku pada siklus kedua model dinding C.

Untuk asumsi kedua, hasil analisa teoritis dan hasil pengujian juga tidak sesuai. Berdasarkan Tabel 4.14 dan 4.15, secara rata-rata, perbedaan kemiringan terbesar justru tidak terdapat pada model dinding bukaan tepi (kode C), baik untuk siklus pertama maupun kedua. Perbedaan kemiringan terbesar terletak pada model dinding tanpa bukaan (kode A). Ketidak-sesuaian asumsi awal dan data tersebut, kemungkinan disebabkan oleh variasi data yang diperoleh terlalu besar pada masing-masing jenis dinding. Sedangkan variasi data yang terlalu besar tersebut, dapat disebabkan oleh faktor gangguan teknis maupun non-teknis pada saat pengujian.

**Tabel 4.14** Rekapitulasi nilai kekakuan elastis siklus pertama

Model Dinding	Ke		Rata-rata kekakuan bagian kiri dan kanan	Rata-rata kekakuan per jenis dinding	Selisih kekakuan bagian kiri dan kanan	Rata-rata selisih kekakuan per jenis dinding
	Beban dari kiri	Beban dari kanan				
A1	124,033	218,561	171,297	252,631	76,21%	40,74%
A2	325,406	342,523	333,965		5,26%	
B1	124,952	116,325	120,638		6,90%	
B2	105,142	89,354	97,248	117,581	15,02%	15,18%
B3	152,919	116,792	134,855		23,62%	
C1	227,637	236,245	231,941		3,78%	
C2	190,584	153,824	172,204	186,315	19,29%	7,72%
C3	154,721	154,882	154,801		0,10%	

**Tabel 4.15** Rekapitulasi nilai kekakuan elastis siklus kedua

Model Dinding	Ke		Rata-rata kekakuan bagian kiri dan kanan	Rata-rata kekakuan per jenis dinding	Selisih kekakuan bagian kiri dan kanan	Rata-rata selisih kekakuan per jenis dinding
	Beban dari kiri	Beban dari kanan				
A1	124,924	176,495	150,709	244,831	41,28%	25,95%
A2	321,864	356,042	338,953		10,62%	
B1	115,525	114,631	115,078		0,77%	
B2	91,202	92,898	92,050	111,939	1,86%	11,73%
B3	153,716	103,661	128,689		32,56%	
C1	218,311	215,686	216,998		1,20%	
C2	187,414	147,343	167,379	184,388	21,38%	16,69%
C3	148,385	189,191	168,788		27,50%	



Pada tiga model dinding terakhir (A2, B1, C2), pengujian dilakukan secara maksimal, melalui meminimalisasian pengaruh gangguan teknis maupun non-teknis. Berdasarkan Tabel 4.14 dan 4.15, jika tiga data tersebut (A2, B1, C2) dibandingkan, maka perbedaan kemiringan kurva histeresis terbesar berada pada model dinding bukaan tepi (kode C). Perbedaan kemiringan kurva histeresis untuk siklus pertama sebesar 19,29 %. Sedangkan untuk siklus kedua sebesar 21,38 %. Hal ini sesuai dengan asumsi awal penelitian, dimana perbedaan kemiringan kurva histeresis antara bagian kanan dan kiri yang terkecil terdapat pada model dinding yang simetris.

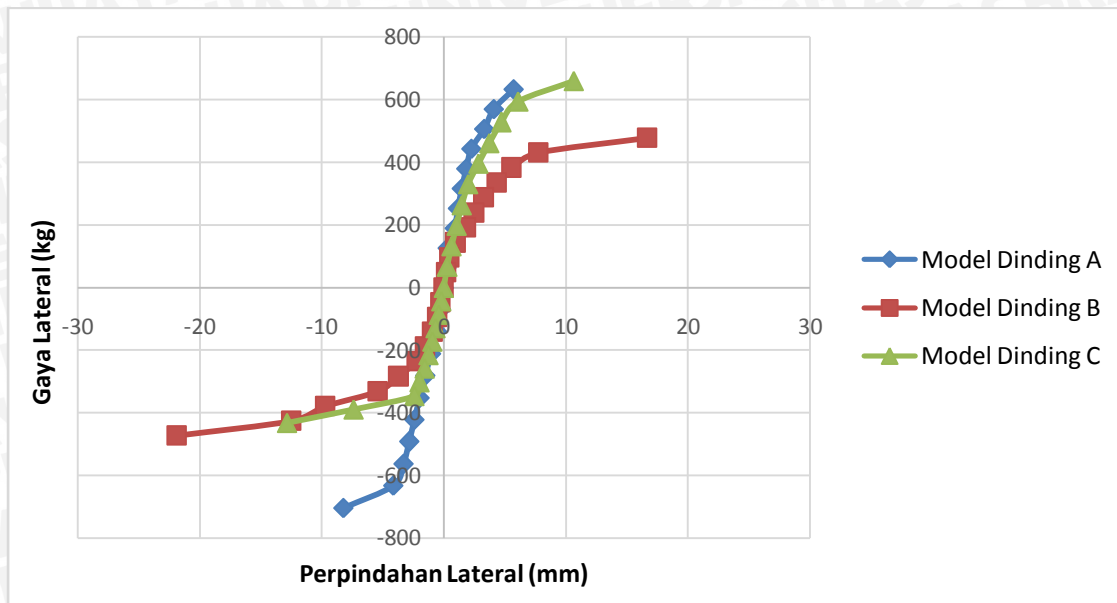
Ditinjau dari segi kekakuan elastis model dinding, kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaan (kode A), baik untuk siklus pertama maupun kedua. Kekakuan elastis pada model dinding bukaan tepi (kode C), lebih besar dibandingkan model dinding bukaan tengah (kode B). Hal ini sesuai jika ditinjau berdasarkan nilai kekakuan yang diperoleh dari hasil pendekatan nilai kekakuan teoritis, seperti terlihat pada Tabel 4.16 (perhitungan pendekatan nilai kekakuan teoritis dapat dilihat pada Lampiran 13).

**Tabel 4.16** Hasil pendekatan nilai kekakuan teoritis model dinding

Model Dinding	K (kg/cm)
A1	$1,2558 \times E$
A2	$1,2558 \times E$
B1	$0,2398 \times E$
B2	$0,2398 \times E$
B3	$0,2398 \times E$
C1	$0,6337 \times E$
C2	$0,6337 \times E$
C3	$0,6337 \times E$

Perbandingan rata-rata kurva selubung antar model dinding, untuk siklus pertama, dapat dilihat pada Gambar 4.41. Dari gambar tersebut diketahui bahwa pada model dinding tanpa bukaan (kode A) dan bukaan di tengah (kode B), bentuk kurva selubung rata-rata antara bagian kiri dan kanan relatif simetris. Sedangkan pada model dinding bukaan tepi (kode C), bentuk kurva selubung rata-rata bagian kanan berbeda dibandingkan bagian kiri. Beban maksimum yang dapat diterima oleh model dinding C pada bagian kanan lebih besar dibandingkan bagian kiri. Berdasarkan bentuk kurva selubung rata-rata, juga dapat disimpulkan bahwa kekakuan pada model dinding tanpa bukaan (kode A) lebih besar dibandingkan model dinding lain. Seperti terlihat dalam

Gambar 4.41, untuk mencapai nilai perpindahan yang sama, dibutuhkan beban yang lebih besar dibandingkan model dinding lain.

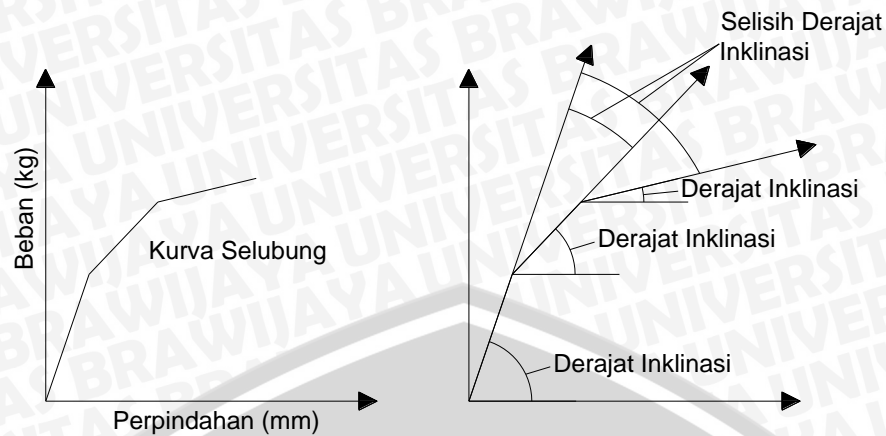


**Gambar 4.41** Perbandingan rata-rata kurva selubung siklus pertama

#### 4.6 Analisis Derajat Inklinasi pada Kurva Selubung

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. Gambar 4.42 ditampilkan untuk mempermudah pemahaman dalam analisis ini.



**Gambar 4.42** Ilustrasi perhitungan derajat inklinasi kurva selubung

Dalam analisis ini, peninjauan akan dilakukan pada setiap model dinding. Namun peninjauan hanya dilakukan pada kurva selubung siklus pertama untuk setiap model dinding.

#### 4.6.1 Model Dinding tanpa Bukaan (Kode A)

Model dinding tanpa bukaan terdiri dari dua benda uji, kode A1 dan A2. Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A1, baik untuk sisi kanan maupun kiri kurva selubung, dapat dilihat pada Tabel 4.17. Sedangkan hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A2 dapat dilihat pada Tabel 4.18.

**Tabel 4.17** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A1

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0	0		0	0,000	0		
2	-0,300	-73,5	245,000	0 %	1	0,309	77	249,419	0 %
6	-0,499	-102	143,235	41,54 %	5	0,388	212	1701,131	582,04 %
10	-1,108	-163	100,211	59,10 %	9	1,055	171	-61,453	124,64 %
14	-1,922	-240	94,553	61,41 %	13	1,912	333	189,190	24,15 %
18	-2,825	-345	116,269	52,54 %	17	3,143	495	131,570	47,25 %
22	-3,973	-518,5	151,207	38,28 %	21	4,314	528	28,187	88,70 %
26	-5,975	-643,5	62,436	74,52 %	25	6,876	670	55,408	77,79 %
30	-6,785	-626	-21,598	108,82 %	29	9,234	711,5	17,600	92,94 %
34	-9,226	-660	13,926	94,32 %	33	12,059	696	-5,488	102,20 %
38	-11,507	-585	-32,891	113,42 %	37	13,978	667	-15,108	106,06 %

**Tabel 4.18** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A2

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0	0		0	0,000	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 %

Pada Tabel 4.17 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A1, dapat dilihat pada sisi kanan dan kiri, diawali dengan derajat inklinasi yang tidak berbeda jauh. Namun pada segmen selanjutnya, besarnya inklinasi pada sisi kanan justru menjadi besar (mendekati tegak). Sedangkan inklinasi pada sisi kiri melandai hingga inklinasi 41,54 % dari kemiringan awal. Inklinasi yang besar pada sisi kanan diduga karena penahan guling dan geser balok *sloof* yang kurang kuat sehingga terjadi pengaruh guling dan geser. Pada segmen selanjutnya, terjadi kesalahan penjadwalan pengujian sehingga pembebanan harus diundur hingga 16 jam. Akibat dari kesalahan tersebut, pada sisi kanan, arah kemiringan atau inklinasi menjadi turun. Pada segmen selanjutnya, inklinasi cenderung bervariasi pada kedua sisi hingga mencapai titik puncak. Berdasarkan Tabel 4.17, tidak terlihat terjadinya kelinearan antar segmen.

Pada Tabel 4.18 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding A2, diawali dengan derajat inklinasi yang cukup besar dibandingkan model dinding lain. Dari Tabel 4.18, juga 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 %). Setelah arah inklinasi berubah turun, bentuk kurva

selubung mendekati linear hingga pembacaan tidak dapat dilanjutkan. Berdasarkan Tabel 4.18, terlihat bahwa derajat inklinasi pada sisi kiri kurva selubung cenderung lebih besar dibandingkan sisi kanan.

#### 4.6.2 Model Dinding Bukaian Tengah (Kode B)

Model dinding bukaian tengah terdiri dari tiga benda uji, yaitu kode B1, B2 dan B3. Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B1, baik untuk sisi kanan maupun kiri kurva selubung, dapat dilihat pada Tabel 4.19. Sedangkan hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B2 dapat dilihat pada Tabel 4.20. Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B3 dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Pada Tabel 4.19 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B1, terlihat bahwa kurva selubung cenderung non-linear. Hanya pada beberapa segmen terdapat kelinearan dengan perbedaan selisih derajat inklinasi kurang dari 5 %. Untuk 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. Setelah arah inklinasi berubah turun, arah inklinasi cenderung naik dan turun, dengan besarnya inklinasi naik kurang dari 20 % inklinasi awal. Perbedaan antara sisi kanan dan kiri adalah inklinasi pada kurva selubung sisi kiri cenderung lebih kecil (landai).



**Tabel 4.19** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B1

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0			0	0,000	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 4.20** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B2

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0			0	0,000	0		
2	-0,301	-61	202,859	0 %	1	0,282	58,5	207,631	0 %
6	-0,504	-118	279,971	38,01 %	5	0,556	117	213,687	2,92 %
10	-1,139	-153	55,157	72,81 %	9	1,122	174	100,621	51,54 %
14	-2,309	-215	52,996	73,88 %	13	2,301	207	27,999	86,51 %
18	-3,450	-260	39,423	80,57 %	17	3,444	302	83,085	59,98 %
22	-4,620	-293	28,218	86,09 %	21	4,635	372	58,776	71,69 %
26	-6,967	-334	17,469	91,39 %	25	6,965	482	47,218	77,26 %
30	-9,362	-353	7,933	96,09 %	29	9,295	524	18,021	91,32 %
34	-10,632	-346	-5,510	102,72 %	33	10,597	440	-64,549	131,09 %
38	-11,803	-372	22,201	89,06 %	37	11,740	431	-7,870	103,79 %
42	-14,190	-411	16,338	91,95 %	41	14,085	468	15,779	92,40 %
44	-16,577	-433	9,217	95,46 %	43	16,486	565	40,398	80,54 %
46	-18,975	-405	-11,677	105,76 %	45	18,963	398	-67,410	132,47 %
50	-23,731	-467	13,036	93,57 %	49	23,841	391	-1,435	100,69 %

Pada Tabel 4.20 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B2, inklinasi pada sisi kanan lebih besar (tegak) dibandingkan inklinasi sisi kiri. Meskipun pada beberapa segmen, inklinasi pada sisi kanan lebih kecil (landai) dibandingkan inklinasi sisi kiri. Ditinjau dari pola nilai derajat inklinasi, kemiripan pola terlihat antara sisi kanan dan kiri. Pada segmen 9 (langkah 29 – 33 untuk sisi kanan dan langkah 30-34 untuk sisi kiri), untuk setiap sisi, terjadi inklinasi menurun. Berdasarkan perbandingan selisih derajat inklinasi, bentuk kurva selubung dapat disimpulkan non-linear. Hanya pada beberapa segmen terdapat kelinearan dengan perbedaan selisih derajat inklinasi kurang dari 5 %, khususnya setelah terjadi inklinasi menurun.

Pada Tabel 4.21 ditunjukkan hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B3. Dengan membandingkan selisih derajat inklinasi, pada dasarnya terdapat kemiripan pola antara sisi kanan dan kiri kurva selubung. Namun terdapat beberapa perbedaan pada beberapa segmen untuk setiap sisi, sehingga secara keseluruhan antara sisi kanan dan kiri terkesan berbeda. Inklinasi menurun pada kurva histeresis model dinding ini, juga terjadi pada segmen yang sama (segmen 10, langkah 33 – 37 untuk sisi kanan dan langkah 34-38 untuk sisi kiri). Pada beberapa segmen terlihat terdapat kelinearan dengan perbedaan selisih derajat inklinasi kurang dari 5 %

**Tabel 4.21** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding B3

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0			0	0			
2	-0,314	-55	175,031	0 %	1	0,252	41	162,748	0 %
6	-0,555	-80,5	105,911	39,49 %	5	0,508	82	160,060	1,65 %
10	-1,051	-173	186,434	6,52 %	9	0,980	134	110,098	32,35 %
14	-2,088	-283	106,122	39,37 %	13	2,018	203	66,518	59,13 %
18	-3,197	-338	49,584	71,67 %	17	3,013	250	47,200	71,00 %
22	-4,529	-387	36,778	78,99 %	21	4,095	284	31,448	80,68 %
26	-7,107	-476,5	34,721	80,16 %	25	6,443	323	16,604	89,80 %
30	-6,615	-399	157,668	9,92 %	29	8,751	367	19,072	88,28 %
34	-10,101	-462	18,075	89,67 %	33	9,938	389,5	18,947	88,36 %
38	-11,353	-432	-23,956	113,69 %	37	11,151	377,5	-9,895	106,08 %
42	-13,449	-441	4,294	97,55 %	41	13,182	398,5	10,337	93,65 %
44	-15,794	-449,5	3,625	97,93 %	43	15,577	363	-14,827	109,11 %
46	-18,130	-465	6,634	96,21 %	45	17,977	382	7,914	95,14 %
48	-20,765	-502	14,042	91,98 %	47	20,668	399,5	6,504	96,00 %
50	-22,101	-481	-15,726	108,98 %	49	23,055	397	-1,048	100,64 %
52	-26,113	-386	-23,677	113,53 %	51	25,735	390,5	-2,425	101,49 %

### 4.6.3 Model Dinding Buka Tepi (Kode C)

Model dinding bukaan tepi terdiri dari tiga benda uji, yaitu kode C1, C2 dan C3. Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C1, baik untuk sisi kanan maupun kiri kurva selubung, dapat dilihat pada Tabel 4.22. Sedangkan hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C2 dapat dilihat pada Tabel 4.23. Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C3 dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Pada Tabel 4.22 ditunjukkan hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C1. Pada segmen 1 hingga segmen 5, pola derajat inklinasi cenderung sama. Nilai derajat inklinasi berkisar di atas 100 kg/mm. Pada segmen 5, besarnya derajat inklinasi turun pada nilai selisih derajat inklinasi yang hampir sama. Perbedaan derajat inklinasi antar sisi kanan dan kiri terjadi setelah segmen 5. Untuk segmen selanjutnya, pada sisi kanan, arah derajat inklinasi cenderung naik. Sedangkan pada sisi kiri, arah derajat inklinasi cenderung landai, bahkan turun.

**Tabel 4.22** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C1

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0	0	0 %	0	0	0	0 %	
2	-0,277	-50	180,424	0 %	1	0,236	71,5	303,245	0 %
6	-0,523	-108	236,011	30,81 %	5	0,397	124,5	329,506	8,66 %
10	-0,953	-227	276,683	53,35 %	9	0,856	229	227,466	24,99 %
14	-1,923	-397	175,229	2,88 %	13	1,841	389	162,518	46,41 %
18	-3,050	-421	21,304	88,19 %	17	2,821	430	41,801	86,22 %
22	-4,228	-422	0,848	99,53 %	21	3,838	500	68,855	77,29 %
26	-6,642	-425,5	1,450	99,20 %	25	5,808	646	74,097	75,57 %
30	-9,080	-384	-17,018	109,43 %	29	8,017	678	14,488	95,22 %
34	-10,279	-382,5	-1,251	100,69 %	33	9,274	700,5	17,898	94,10 %
38	-11,520	-370	-10,075	105,58 %	37	10,399	720	17,343	94,28 %
42	-13,960	-367	-1,229	100,68 %	41	11,026	690	-47,837	115,78 %
44	-16,325	-368	0,423	99,77 %	43	15,550	568,5	-26,857	108,86 %



Pada Tabel 4.23 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C2, 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 4.23, 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 %.

**Tabel 4.23** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C2

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	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 %

Pada Tabel 4.24 untuk hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C3, terlihat bahwa kurva selubung cenderung non-linear. Hanya pada segmen terakhir sisi kiri kurva selubung, terdapat kelinearan dengan perbedaan selisih derajat inklinasi kurang dari 5%. Ditinjau dari derajat inklinasi pada kedua sisi kurva selubung, terdapat kemiripan pola di antara keduanya.

**Tabel 4.24** Hasil perhitungan derajat inklinasi model dinding C3

Steps No.	Sisi kiri				Steps No.	Sisi kanan			
	$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)		$\Delta$ (mm)	P (kg)	Derajat Inklinasi (kg/mm)	Selisih derajat Inklinasi (%)
0	0,000	0			0	0			
2	-0,218	-51	234,276		1	0,248	37	148,916	
6	-0,409	-85	177,748	24,13 %	5	0,470	74,5	169,467	
10	-0,928	-149	123,290	47,37 %	9	0,859	142	173,533	
14	-1,648	-253	144,419	38,36 %	13	1,627	258,5	151,576	
18	-2,694	-360	102,342	56,32 %	17	2,219	325	112,419	
22	-3,565	-451	104,413	55,43 %	21	2,875	410	129,568	
26	-5,404	-550	53,831	77,02 %	25	5,131	561	66,932	
30	-7,711	-562	5,201	97,78 %	29	7,487	687	53,477	
34	-9,274	-533	-18,564	107,92 %	33	8,653	652	-30,030	
38	-10,706	-483	-34,918	114,90 %	37	9,866	646	-4,944	
42	-13,220	-493	3,977	98,30 %	41	12,276	689	17,842	
46	-15,793	-495	0,777	99,67 %	45	14,692	647	-17,386	

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini, kinerja dinding bata terkekang akibat beban siklik lateral ditinjau berdasarkan tingkat kemiringan kurva histeresis. Tingkat kemiringan kurva histeresis sendiri dapat direpresentasikan dengan nilai kekakuan elastis pada kurva *EEEP (Equivalent Energy Elastic-Plastic)*. 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 ( $\Delta$ ).

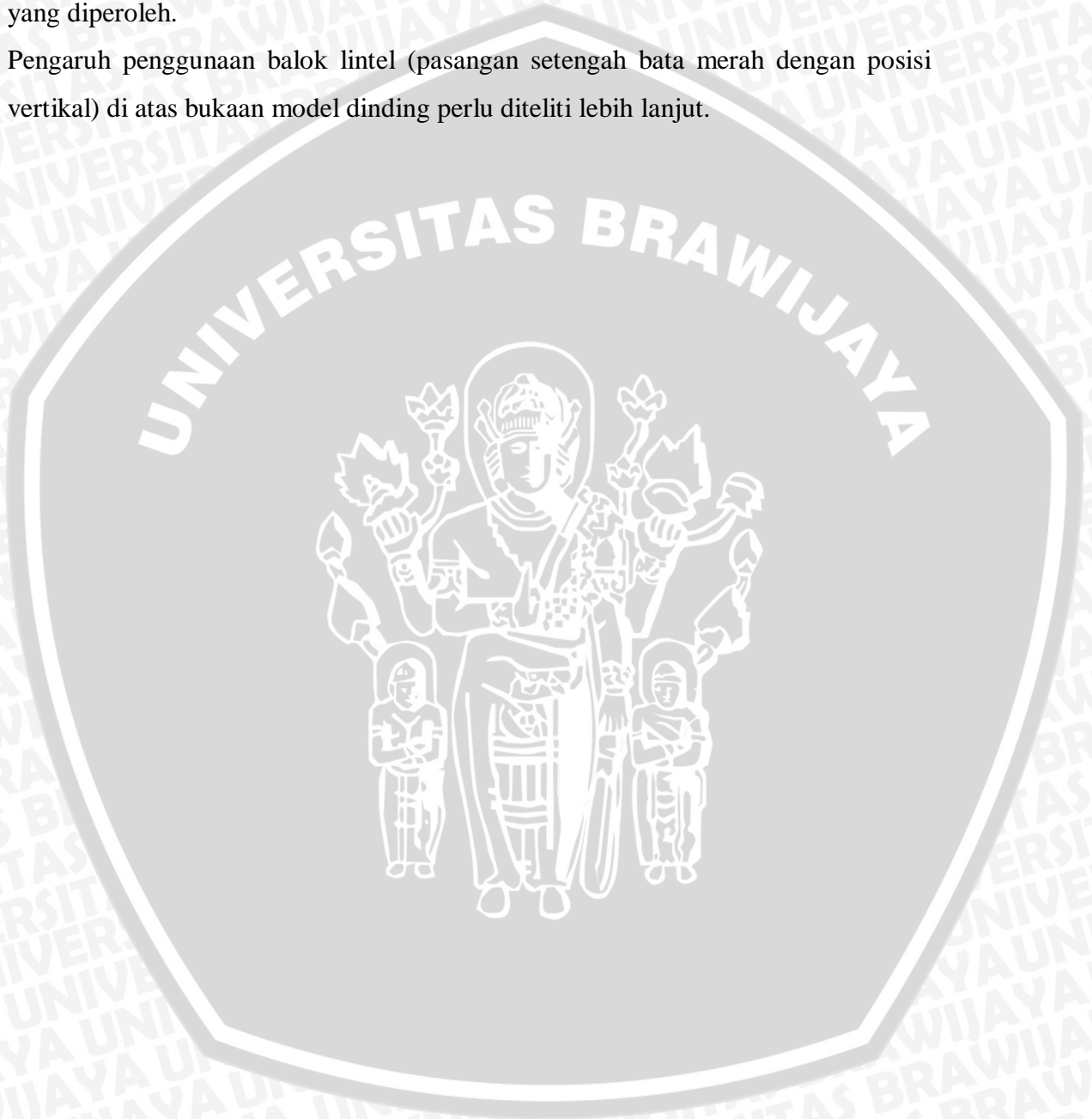
Pada pengujian pembebanan dengan beban siklik lateral, diberikan beban pada model dinding dari arah kanan dan kiri secara bolak-balik. Untuk mengetahui perbandingan kinerja akibat kedua beban tersebut, dilakukan perbandingan pola dan bentuk pada kurva histeresis antara kedua beban tersebut. Perbandingan dilakukan dengan analisis derajat inklinasi.

Berdasarkan hasil penelitian, analisa dan pembahasan data, dengan membandingkan hasil pengujian terbaik (A2, B1, dan C2), diketahui bahwa nilai kekakuan elastis terbesar terdapat pada model dinding tanpa bukaan (kode A2), dengan kinerja antara akibat beban dari sebelah kanan dan kiri cenderung seimbang. Untuk model dinding bukaan tengah (kode B1), 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 C2), nilai kekakuan elastis lebih besar dibandingkan model dinding bukaan tengah (kode B1), namun dengan kinerja yang cenderung berbeda antara akibat beban dari kanan dan kiri.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh letak bukaan terhadap kinerja dinding bata terkekang dengan beban siklik lateral, ada beberapa saran yang direkomendasikan.

1. Penjadwalan pembuatan serta pengujian benda uji harus lebih diperhatikan sehingga pengaruh keterlambatan pengujian terhadap hasil yang diperoleh dapat diminimalisir.
2. Konfigurasi alat yang digunakan, terutama untuk pengujian karakteristik bata merah, perlu diperhatikan dan diteliti lebih lanjut guna mengetahui validitas data yang diperoleh.
3. Pengaruh penggunaan balok lintel (pasangan setengah bata merah dengan posisi vertikal) di atas bukaan model dinding perlu diteliti lebih lanjut.



## DAFTAR PUSTAKA

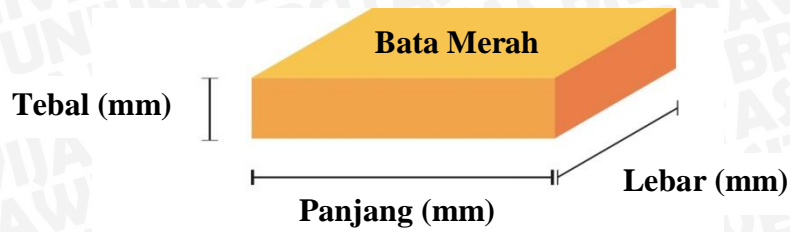
- ASTM E 2616. 2005. *Standard Test Methods for Cyclic (Reversed) Load Test for Shear Resistance of Walls for Buildings*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM C 1314. 2001. *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Ching, F.D.K. & Adams, C. 2008. *Ilustrasi Konstruksi Bangunan Edisi Ketiga*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Ditjen Cipta Karya. 1971. *Peraturan Beton Indonesia Tahun 1971*. Jakarta : Ditjen Cipta Karya.
- EERI. 2001. *Preliminary Reports and Annotated Images from the El Salvador Earthquakes of January 13 and February 13, 2001*. Photos by Manuel Alfredo Lopez Menjivar, a CD-Rom publication. California : Earthquake Engineering Research Institute.
- FEMA 356. 2000. *Prestandart and Comentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington DC : The Federal Emergency Management Agency.
- Frick, H. 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan 1*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Harris, H. G. & Sabnis, G. M. 1999. *Structural Modeling and Experimental Techniques* Second Edition. Florida : CRC Press LLC.
- 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.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., Farsi, M., Hart, T., Mebarki, A., Moghadam, A.S., Quiun, D., Tomazevic, M. & Yamin, L. 2011. *Seismic Design Guide For Low-Rise Confined Masonry Buildings*. California : Earthquake Engineering Research Institute.
- Neville, A.M. 2011. *Properties of Concrete 5<sup>th</sup> ed*. England : Pearson Education Limited.
- San Bartolome, Á., Bernardo, J., and Peña, M. 2010. *Efectos del Peralte de las Columnas en el Comportamiento Sísmico de los Muros de Albañilería Confinada (The effect of column depth on seismic behavior of confined masonry walls)*. Chile : Chilean Conference on Seismology and Earthquake Engineering. (in Spanish).

Turang, R.B.E., Sumajow, M.D.J. & Windah, R.S. 2014. Analisa Portal Dengan Dinding Tembok Pada Rumah Tinggal Sederhana Akibat Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2 : hal 310-312.

Wisnumurti. 2013. Struktur Dinding Pasangan Bata Merah Lokal Dengan Perkuatan Bilah Bambu Di Daerah Rawan Gempa. *Disertasi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya



## Lampiran 1 – Uji Karakteristik Fisik Bata Merah



### a) Bata Merah Terskala

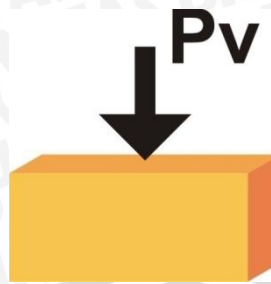
Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )
1	10,92	3,74	2,16	100,60	1,140
2	10,76	3,67	2,18	99,80	1,159
3	10,92	3,70	2,07	100,40	1,200
4	10,96	3,93	2,12	120,60	1,321
5	10,89	3,80	2,11	100,20	1,148
6	10,77	3,62	2,16	96,40	1,145
7	10,80	3,60	2,13	95,20	1,150
8	10,78	3,56	2,20	93,20	1,104
9	10,84	3,66	2,20	99,20	1,137
10	10,95	3,78	2,10	112,80	1,298
11	10,83	3,99	2,00	117,60	1,361
12	11,08	4,00	2,13	120,00	1,271
13	10,71	3,75	2,16	101,70	1,172
14	10,96	4,14	2,18	121,5	1,228
15	10,72	3,73	2,08	97,6	1,173
Mean	10,86	3,78	2,13	105,12	1,20
S-Dev	0,11	0,17	0,05	10,21	0,08
COV	0,00972	0,04413	0,02564	0,09712	0,06457
Bias Index	0,97 %	4,41 %	2,56 %	9,71 %	6,46 %

## b) Bata Merah Asli

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )
1	22,77	11,10	3,94	1375,2	1,381
2	22,08	10,72	3,99	1478,2	1,565
3	22,26	10,93	4,06	1539,8	1,559
4	22,20	10,64	3,70	1318,6	1,509
5	22,13	10,73	3,79	1346,4	1,496
6	22,20	10,78	4,49	1292,6	1,203
7	22,09	10,74	3,77	1388,8	1,553
8	22,15	10,81	3,95	1244,8	1,316
9	22,08	10,69	3,82	1362,0	1,511
10	21,92	10,74	3,95	1398,2	1,504
11	22,29	10,62	3,77	1343,2	1,505
12	22,50	11,10	4,16	1435,8	1,382
13	22,18	10,88	3,91	1240,4	1,315
14	22,82	11,01	4,31	1635,4	1,510
15	22,13	10,83	4,07	1218,6	1,249
Mean	22,25	10,82	3,98	1374,53	1,44
S-Dev	0,25	0,15	0,22	113,87	0,12
COV	0,01140	0,01420	0,05426	0,08284	0,08294
Bias Index	1,14 %	1,42 %	5,43 %	8,28 %	8,29 %



## Lampiran 2 – Uji Kuat Tekan Bata Merah



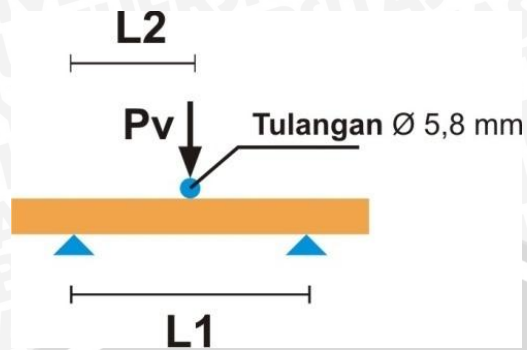
### a) Bata Merah Terskala

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
1	10,92	3,74	2,16	100,60	16,50	0,70
2	10,76	3,67	2,18	99,80	38,50	1,64
3	10,92	3,70	2,07	100,40	59,00	2,61
4	10,96	3,93	2,12	120,60	231,00	9,94
5	10,89	3,80	2,11	100,20	120,00	5,22
6	10,77	3,62	2,16	96,40	210,00	9,03
7	10,80	3,60	2,13	95,20	175,00	7,61
8	10,78	3,56	2,20	93,20	146,50	6,18
9	10,84	3,66	2,20	99,20	185,00	7,76
10	10,95	3,78	2,10	112,80	275,00	11,96
11	10,85	3,49	2,13	93,00	161,00	6,97

### b) Bata Merah Asli

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
1	22,50	11,10	4,16	1435,80	960,00	10,26
2	22,18	10,88	3,91	1240,40	510,00	5,88
3	22,82	11,01	4,31	1635,40	713,00	7,25
4	22,13	10,83	4,07	1218,60	513,00	5,70
5	22,20	10,88	3,94	1465,60	709,00	8,11

## Lampiran 3 – Uji Tegangan Lentur Bata Merah



Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	L1 (cm)	L2 (cm)	Berat (gr)	Beban (kg)
1	10.83	3.99	2.00	9	4.6	117.6	8.5
2	11.08	4.00	2.13	9	4.6	120.0	7.0
3	10.71	3.75	2.16	9	4.5	101.7	4.5
4	10.96	4.14	2.18	9	4.4	121.5	7.5
5	10.72	3.73	2.08	9	4.7	97.6	4.0

Sampel	Mmaks (kgcm)	Inersia (cm <sup>4</sup> )	$\sigma_{\text{lentur}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	19.125	2.66	7.19
2	15.75	3.22	5.21
3	10.125	3.15	3.47
4	16.875	3.57	5.15
5	9	2.80	3.35

#### Lampiran 4 – Uji Kuat tekan mortar

- Faktor koreksi kuat tekan kubus ( $2 \times 2 \times 2$ ) cm menjadi kuat tekan kubus ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm = **0,90**
- Faktor koreksi kuat tekan kubus ( $1,5 \times 1,5 \times 1,5$ ) cm menjadi kuat tekan kubus ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm = **0,83**
- Faktor koreksi kuat tekan kubus ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm menjadi kuat tekan kubus ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm = **0,92**
- Faktor koreksi kuat tekan kubus beton ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm ke dalam kuat tekan silinder beton Ø15 cm dan tinggi 30 cm = **0,83**
- Faktor koreksi umur = **0,83**
- Dibuat pada tanggal 27 Oktober 2015 dan diuji pada tanggal 10 Februari 2016.

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (gr)	Berat Isi ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Beban (kg)
1	2,14	2,16	2,23	20,40	1,99	591
2	2,20	2,07	2,10	19,70	2,06	793
3	2,23	2,23	2,25	22,80	2,04	843
4	1,70	1,51	1,59	8,50	2,09	768
5	1,53	1,42	1,55	7,20	2,14	502
6	1,49	1,57	1,69	8,10	2,05	598
7	1,60	1,60	1,81	9,40	2,04	406
8	1,49	1,60	1,58	7,90	2,10	681
9	1,37	1,59	1,60	7,60	2,18	572

Sampel	Kuat Tekan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Kuat Tekan Terkoreksi ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
1	123,99	70,25
2	172,05	97,48
3	168,20	95,30
4	284,97	148,99
5	212,71	111,22
6	237,13	123,98
7	140,61	73,52
8	289,24	151,23
9	260,47	136,19

### Lampiran 5 – Uji kuat tekan bata merah (SNI 15-2094-2000)

#### a) Bata Merah Terskala

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (gr)	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr-K 3.1	4,9	3,9	5,6	169,9	1225	64,10
Pr-K 3.2	4,9	3,8	5	149,9	675	36,25
Pr-K 3.3	5,5	3,8	4,9	166,8	925	44,26
Pr-K 3.4	4,9	3,8	5,7	167,2	850	45,65
Pr-K 3.5	4,9	3,9	5,5	162,2	1075	56,25

#### b) Bata Merah Asli

Sampel	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Berat (gr)	Beban (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr-B 3.1	11,07	11,9	9,17	1662	1900	14,42
Pr-B 3.2	11,07	11,23	8,8	1439,4	2400	19,31
Pr-B 3.3	11,08	11,22	8,44	1286,4	1400	11,26
Pr-B 3.4	10,07	11,22	8,6	1430	1700	15,05
Pr-B 3.5	10,07	11,17	8,4	1316	1700	15,11

## Lampiran 6 – Uji kuat tekan prisma pasangan bata merah

### a) Bata Merah Terskala

Sampel	Panjang (cm)	Tebal (cm)	Tinggi (cm)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Beban (kg)
Pr-K 1.1	10,8	3,7	13,5	39,96	900
Pr-K 1.2	10,6	3,7	12,5	39,22	1400
Pr-K 1.3	10,8	3,9	13,5	42,12	2025
Pr-K 1.4	11,9	4,0	13,5	47,60	1650
Pr-K 1.5	10,8	3,7	14,5	39,96	2250

Sampel	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rasio Tinggi/Tebal	Faktor Koreksi	Kuat Tekan Terkoreksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr-K 1.1	22,52	3,65	1,1219	25,27
Pr-K 1.2	35,70	3,38	1,1003	39,28
Pr-K 1.3	48,08	3,46	1,1069	53,22
Pr-K 1.4	34,66	3,38	1,1000	38,13
Pr-K 1.5	56,31	3,92	1,1435	64,39

### b) Bata Merah Asli

Sampel	Panjang (cm)	Tebal (cm)	Tinggi (cm)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )	Beban (kg)
Pr-B 1.1	22,5	10,8	23,2	243,00	950
Pr-B 1.2	21,9	10,6	22,5	232,14	1600
Pr-B 1.3	22,1	10,6	23,5	234,26	1200
Pr-B 1.4	22,5	10,9	24,0	245,25	2200
Pr-B 1.5	22,0	10,6	24,5	233,20	1500

Sampel	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Rasio Tinggi/Tebal	Faktor Koreksi	Kuat Tekan Terkoreksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr-B 1.1	3,91	2,15	1,0119	3,96
Pr-B 1.2	6,89	2,12	1,0098	6,96
Pr-B 1.3	5,12	2,22	1,0174	5,21
Pr-B 1.4	8,97	2,20	1,0161	9,12
Pr-B 1.5	6,43	2,31	1,0249	6,59

### Lampiran 7 – Uji kuat tekan beton kolom-balok pengegang

- Faktor koreksi kuat tekan kubus beton ukuran ( $5 \times 5 \times 5$ ) cm ke dalam kuat tekan kubus beton ukuran ( $15 \times 15 \times 15$ ) = **0,92**
- Faktor koreksi kuat tekan kubus beton ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm ke dalam kuat tekan silinder beton  $\varnothing 15$  cm dan tinggi 30 cm = **0,83**
- Diuji pada tanggal 23 November 2015.

Ket.	Umur (hari)	Luas Per. (cm <sup>2</sup> )	Berat (gr)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	Bacaan Dial (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Faktor Koreksi Umur	Kuat Tekan Terkoreksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Kolom A1	47	25,00	252	2,016	32	128,00	1,06	92,10
	47	25,00	248	1,984	29	116,00	1,06	83,46
	47	25,00	260	2,080	32	128,00	1,06	92,10
Kolom B3	38	25,00	263	2,104	27	108,00	1,03	79,89
	38	25,00	256	2,048	25	100,00	1,03	73,97
	38	25,00	259	2,072	31	124,00	1,03	91,73
Kolom A2	35	25,00	261	2,088	58	232,00	1,02	173,24
	35	25,00	256	2,048	48	192,00	1,02	143,37
	35	25,00	268	2,144	44	176,00	1,02	131,43
Kolom C2	31	25,00	243	1,944	21	84,00	1,01	63,53
	31	25,00	243	1,944	27	108,00	1,01	81,68
	31	25,00	235	1,880	22	88,00	1,01	66,55
Kolom C3	29	25,00	245	1,960	63	252,00	1,00	191,81
	29	25,00	250	2,000	69	276,00	1,00	210,08
	29	25,00	248	1,984	67	268,00	1,00	203,99

### Lampiran 8 – Uji kuat tekan beton balok *sloof*

- Faktor koreksi dimensi benda uji = **0,94** (dari diameter 75 mm menjadi 150 mm)
- Diuji pada tanggal 23 November 2015.

Ket.	Umur (hari)	Luas Per. (cm <sup>2</sup> )	Berat (kg)	Berat Isi (gr/cm <sup>3</sup> )	Bacaan Dial (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Faktor Koreksi Umur	Kuat Tekan Terkoreksi (kg/cm <sup>2</sup> )
Balok A1	52	44,20	1710	2,579	128	289,62	1,077	253,85
Balok A2	52	44,20	1920	2,896	115	260,20	1,077	228,07
Balok B3	49	44,20	1670	2,519	121	273,78	1,068	242,15
Balok C1	38	44,20	1720	2,594	88	199,11	1,032	182,16
Balok C3	38	44,20	1640	2,474	79	178,75	1,032	163,53

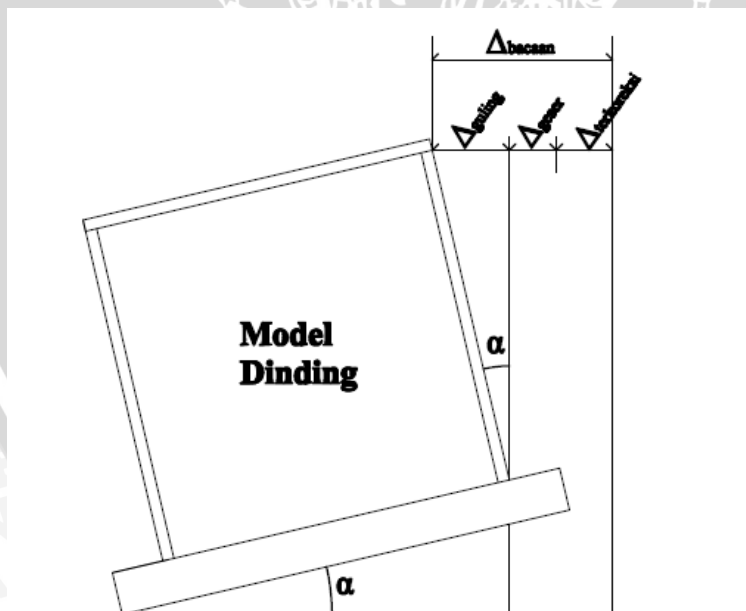


### Lampiran 9 – Cara perhitungan nilai perpindahan terkoreksi ( $\Delta_{\text{terkoreksi}}$ )

Dari pengujian pembebanan secara siklik yang telah dilakukan, ada beberapa data yang diperoleh, yaitu gaya lateral ( $P$ ), perpindahan ( $\Delta_{\text{bacaan}}$ ), kontrol guling 1 ( $G1$ ), kontrol guling 2 ( $G2$ ), dan kontrol geser ( $G3$ ). Untuk pembuatan kurva histeresis, dibutuhkan data gaya lateral ( $P$ ) dan nilai perpindahan terkoreksi ( $\Delta_{\text{terkoreksi}}$ ).

Nilai perpindahan terkoreksi ( $\Delta_{\text{terkoreksi}}$ ) merupakan nilai perpindahan dinding akibat beban tanpa adanya pengaruh guling dan geser pada benda uji. Untuk memperoleh nilai perpindahan terkoreksi ( $\Delta_{\text{terkoreksi}}$ ), dapat digunakan Persamaan 1. Dalam Persamaan 1, nilai perpindahan LVDT ( $\Delta_{\text{bacaan}}$ ) diperoleh dari pengujian. Nilai perpindahan akibat guling ( $\Delta_{\text{guling}}$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2. Nilai perpindahan geser ( $\Delta_{\text{geser}}$ ) sama dengan bacaan kontrol geser yang telah dikali dengan faktor *dial gauge* terlebih dulu ( $\text{hasil pembacaan} \times 0,01$ ).

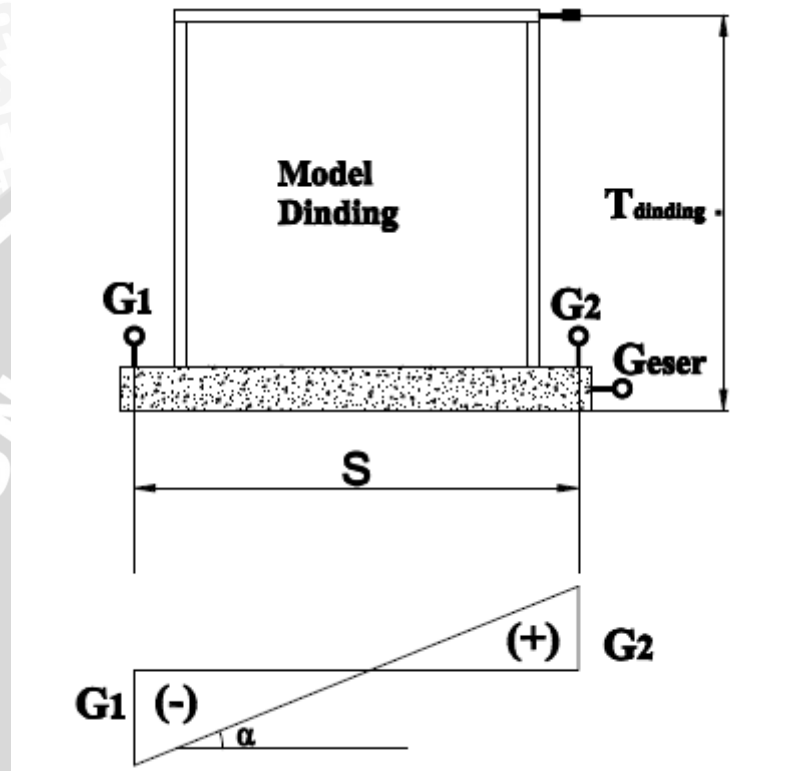
Untuk mempermudah pemahaman dalam pengolahan data, dapat dilihat Gambar 1 dan Gambar 2. Gambar 1 merupakan ilustrasi perpindahan yang terjadi pada model dinding. Sedangkan Gambar 2 merupakan penggambaran nilai-nilai pada Persamaan 2. Selain itu, pada Gambar 2, juga secara tidak langsung digambarkan cara perhitungan perpindahan akibat guling ( $\Delta_{\text{guling}}$ ).



Gambar 1 Ilustrasi perpindahan pada model dinding



Dalam perhitungan pengolahan data ini, untuk seluruh perpindahan yang bergerak ke arah kiri, diasumsikan bernilai positif (+). Sedangkan untuk seluruh perpindahan yang bergerak ke arah kanan diasumsikan bernilai negatif (-). Untuk pembacaan pada kontrol guling ( $G_1$  dan  $G_2$ ), perpindahan ke arah atas diasumsikan bernilai positif (+). Sedangkan perpindahan ke arah bawah diasumsikan bernilai negatif (-).



Gambar 2 Ilustrasi perhitungan  $\Delta_{guling}$

$$\Delta_{\text{terkoreksi}} = \Delta_{\text{bacaan}} - \Delta_{\text{guling}} - \Delta_{\text{geser}} \quad (\text{Persamaan 1})$$

$$\Delta_{\text{Guling}} = \frac{|G_1 - G_2|}{S} \times T_{\text{dinding}} \quad (\text{Persamaan 2})$$

- dengan :
- $\Delta_{\text{terkoreksi}}$  = perpindahan dinding terkoreksi (mm)
  - $\Delta_{\text{bacaan}}$  = perpindahan dinding hasil pembacaan (mm)
  - $\Delta_{\text{guling}}$  = perpindahan akibat guling (mm)
  - $\Delta_{\text{geser}}$  = perpindahan akibat pergeseran balok *sloof* (mm)
  - $G_1$  = bacaan kontrol guling 1  $\times 0,01$  (mm)
  - $G_2$  = bacaan kontrol guling 2  $\times 0,01$  (mm)
  - $S$  = jarak antara kontrol guling 1 dan 2 (mm)
  - $T_{\text{dinding}}$  = tinggi dinding dari balok *sloof* (mm)

**Contoh Perhitungan :**

Contoh perhitungan ini berdasarkan data pada model dinding A2, langkah 45, dimana perpindahan bacaan yang terjadi bergerak ke arah kiri. Perpindahan geser juga bergerak ke arah kiri.

Diketahui :

- $\Delta_{\text{bacaan}} = 16,8 \text{ mm}$  (bernilai positif)
- $\Delta_{\text{geser}} = 0,04 \text{ mm}$
- $G_1 = -0,02 \text{ mm}$
- $G_2 = -0,005 \text{ mm}$
- $S = 1560 \text{ mm}$
- $T_{\text{dinding}} = 1340 \text{ mm}$

Ditanya :  $\Delta_{\text{terkoreksi}} ?$

Jawab :

$$\Delta_{\text{Guling}} = \frac{|G_1 - G_2|}{S} \times T_{\text{dinding}}$$

$$\Delta_{\text{Guling}} = \frac{|-0,02 - (-0,005)|}{1560} \times 1340$$

$$\Delta_{\text{Guling}} = \frac{0,015}{1560} \times 1340$$

$$\Delta_{\text{Guling}} = 0,013 \text{ mm}$$

Karena nilai  $G_2$  lebih besar dari nilai  $G_1$ , maka arah perpindahan guling ke arah kiri (bernilai positif).

$$\Delta_{\text{terkoreksi}} = \Delta_{\text{bacaan}} - \Delta_{\text{guling}} - \Delta_{\text{geser}}$$

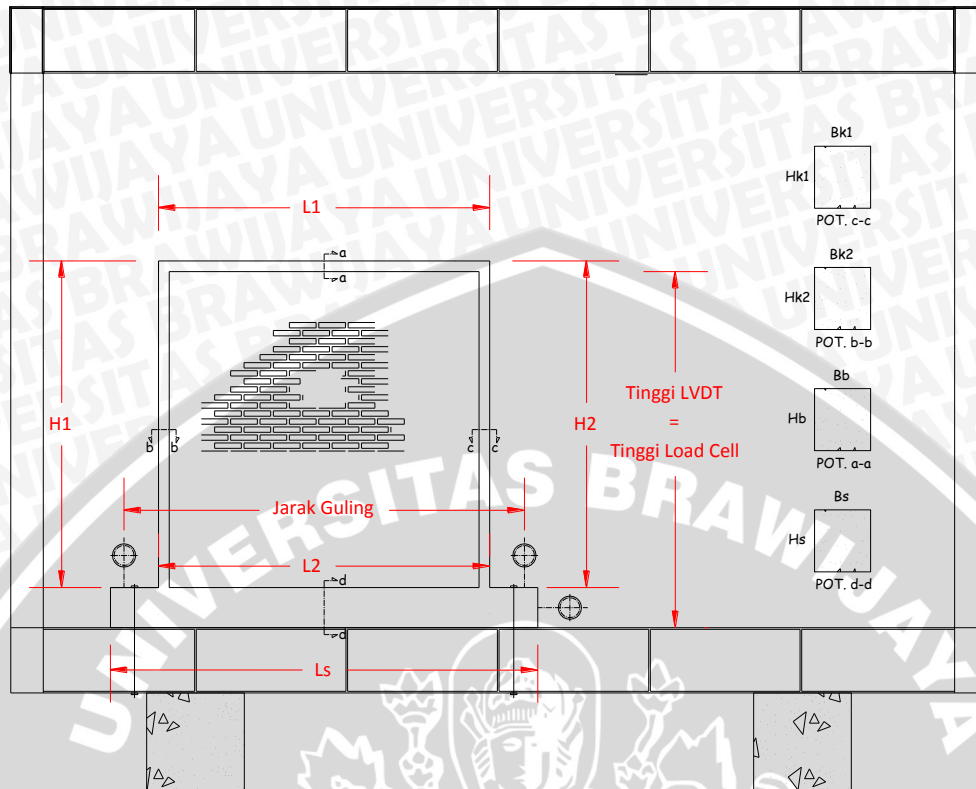
$$\Delta_{\text{terkoreksi}} = 16,8 - 0,013 - 0,04$$

$$\Delta_{\text{terkoreksi}} = 16,747 \text{ mm}$$

**Hasil pengolahan data Model Dinding A2 Langkah 45**

No. Siklus	No. Langkah	$\Delta$ (mm)	Kontrol Guling 1 (mm)	Kontrol Guling 2 (mm)	Geser (mm)	Koreksi Guling (mm)	$\Delta_{\text{Terkoreksi}}$ (mm)	P (kg)
45	0	-0,03	-0,02	0,01	0,009	-0,019	23	
	5,4	-0,04	-0,02	0,01	0,017	5,373	72	
	10,8	-0,03	-0,02	0,015	0,009	10,776	200	
	14,4	-0,03	-0,01	0,03	0,017	14,353	364	
	15,6	-0,02	-0,005	0,035	0,013	15,552	402	
	16,8	-0,02	-0,005	0,04	0,013	16,747	430	
	15	-0,02	-0,005	0,04	0,013	14,947	211	
	9,6	-0,02	-0,005	0,04	0,013	9,547	45	
	5,43	-0,02	-0,01	0,035	0,009	5,386	0	
46	0	-0,02	-0,01	0,035	0,009	-0,044	-36	

## Lampiran 10 – Tabulasi ukuran model dinding



Kode	Kolom				Balok			Lubang		Sloof
	T1	T2	Bk1/Hk1	Bk2/Hk2	L1	L2	Bb/Hb	Letak	B/H	
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm		cm	cm
A1	121	122	4,9/5,0	5,0/5,0	127	124	4,0/4,7	-	-	
A2	120	120	4,9/5,0	4,4/5,0	127	123	4,0/4,7	-	-	160,0
B1	120	121	4,8/5,0	5,0/5,7	122	121	5,0/5,0	Tengah	36/82,5	160,0
B2	121	122	4,5/5,0	4,0/5,0	124	125	4,0/5,0	Tengah	38/83,5	159,0
B3	118	118	4,1/5,0	4,2/5,0	127,5	127	4,0/4,5	Tengah	46/80	160,0
C1	119,5	120	4,7/4,7	4,4/5,6	125,2	126,5	4,0/5,0	Tepi	40,4/82	160,5
C2	119,5	121	4,5/4,5	4,9/4,9	129	124	4,0/4,5	Tepi	40,5/85	159,0
C3	120	120	4,8/4,8	4,5/5,0	124	123	4,3/5,5	Tepi	35,5/84,5	160,0

## Lampiran 11 – Perhitungan titik berat dan momen inersia

Model Dinding	Kolom 1			Kolom 2			Dinding			
	x (cm)	y (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	x (cm)	y (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	x (cm)	y (cm)	Bukaan (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )
A1	5	4,9	24,5	5	5	25	4	114,1	0	456,4
A2	5	4,9	24,5	5	4,4	22	4	113,7	0	454,8
B1	5	4,9	24,5	5	4	20	4	111,2	36	300,8
B2	5	4,5	22,5	5	4,2	21	4	116,5	38	314
B3	5	4,1	20,5	5	4,2	21	4	118,7	46	290,8
C1	4,7	4,7	22,09	5,6	4,4	24,64	4	117,4	40,4	308
C2	4,7	4,7	22,09	5,6	4,4	24,64	4	114,6	40,5	296,4
C3	4,7	4,7	22,09	5,6	4,4	24,64	4	113,7	35,5	312,8

Model Dinding	Titik Berat (cm)	Inersia (cm <sup>4</sup> )
A1	62,01	670639,13
A2	61,44	658184,40
B1	59,72	604002,37
B2	62,49	664718,12
B3	63,55	681688,50
C1	81,37	338223,04
C2	79,92	319225,14
C3	77,40	333884,25



## Lampiran 12 – Perhitungan tegangan pada sisi model dinding

Perhitungan tegangan tarik dan tekan pada model dinding, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

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

- dengan :
- $\sigma_1$  = tegangan pada sisi kanan dinding (kg/cm<sup>2</sup>)
  - $\sigma_2$  = tegangan pada sisi kiri dinding (kg/cm<sup>2</sup>)
  - P = beban aksial (kg)
  - A = luas penampang (cm<sup>2</sup>)
  - M = momen akibat beban lateral (kg.cm)
  - y = titik berat penampang (cm)
  - I = momen inersia penampang (cm<sup>4</sup>)

Nilai beban aksial (P) merupakan nilai pendekatan beban sendiri model dinding yang diperoleh dari perhitungan analitis. Nilai tersebut diperoleh dengan mengalikan luasan dinding dengan berat isi pasangan bata merah. Nilai berat isi pasangan bata merah diperoleh dari hasil pengukuran salah satu sampel pasangan bata merah. Pada perhitungan luasan dinding, kolom-balok pengekang dan pasangan bata merah diasumsikan homogen.

Dalam perhitungan ini, nilai momen diperoleh dari hasil kali antara beban lateral dengan tinggi *load cell* dari dasar dinding. Nilai beban lateral disamakan sebesar 100 kg. Nilai tersebut digunakan karena berdasarkan hasil pengujian, pada beban 100 kg seluruh model dinding masih dalam kondisi elastis. Untuk nilai momen inersia dan titik berat, diperoleh dari hasil perhitungan (Lampiran 11), dengan asumsi dinding bata dan kolom adalah homogen. Dimensi model dinding pada perhitungan momen inersia dan titik berat diperoleh dari hasil pengukuran saat pengujian (Lampiran 10).

$$\text{Berat isi (kg/cm}^2\text{)} = 0,006474$$

Model Dinding	Luas Dinding (cm <sup>2</sup> )	Berat Sendiri (kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	P/A (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	15248,25	98,710	505,9	-0,195
A2	15000,00	97,103	501,3	-0,194
B1	11670,75	75,551	345,3	-0,219
B2	11953,75	77,383	357,5	-0,216
B3	11335,50	73,381	332,3	-0,221
C1	11757,74	76,114	354,73	-0,215
C2	11769,13	76,188	343,13	-0,222
C3	11820,25	76,519	359,53	-0,213

Model Dinding	Beban dari kanan					
	Momen (kg.cm)	y <sub>1</sub> (cm)	y <sub>2</sub> (cm)	Inersia (cm <sup>4</sup> )	σ <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	12200	62,01	61,99	670639,13	-1,3232	0,9326
A2	12000	61,44	61,56	658184,40	-1,3139	0,9286
B1	12100	59,72	60,38	604002,37	-1,4151	0,9908
B2	12200	62,49	62,71	664718,12	-1,3633	0,9346
B3	11800	63,55	63,45	681688,50	-1,3208	0,8776
C1	12000	81,37	45,13	338223,04	-3,1014	1,3867
C2	12100	79,92	43,78	319225,14	-3,2515	1,4372
C3	12000	77,40	45,40	333884,25	-2,9947	1,4188

Model Dinding	Beban dari kiri					
	Momen (kg.cm)	y <sub>1</sub> (cm)	y <sub>2</sub> (cm)	Inersia (cm <sup>4</sup> )	σ <sub>1</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>2</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
A1	12100	62,01	61,99	670639,13	0,9237	-1,3135
A2	12000	61,44	61,56	658184,40	0,9265	-1,3160
B1	12000	59,72	60,38	604002,37	0,9676	-1,4184
B2	12100	62,49	62,71	664718,12	0,9210	-1,3580
B3	11800	63,55	63,45	681688,50	0,8791	-1,3192
C1	11950	81,37	45,13	338223,04	2,6603	-1,8092
C2	11950	79,92	43,78	319225,14	2,7699	-1,8607
C3	12000	77,40	45,40	333884,25	2,5691	-1,8444

### Lampiran 13 – Perhitungan pendekatan nilai kekakuan teoritis model dinding

Perhitungan pendekatan nilai kekakuan teoritis model dinding, dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Wisnumurti, 2013).

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

- Dengan :
- K = kekakuan (kg/cm)
  - h = tinggi dinding (cm)
  - E = modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)
  - I = momen inersia dinding (cm<sup>4</sup>)
  - G = modulus geser (kg/cm<sup>2</sup>)
  - A = luas bidang geser (cm<sup>2</sup>)

Untuk mengetahui pengaruh letak bukaan terhadap kekakuan dinding, bagian yang ditinjau dalam perhitungan ini adalah bagian sisi bukaan, sehingga nilai tinggi dinding (h) yang digunakan adalah tinggi bukaan. Sedangkan untuk bidang atau penampang yang ditinjau, merupakan penampang yang memotong bukaan secara horisontal.

Dalam perhitungan ini, untuk dinding bata merah, nilai modulus geser diasumsikan sebesar 0,4 dari modulus elastisitas. Khusus untuk momen inersia dinding bukaan tengah, nilai momen inersia diperoleh dari penjumlahan momen inersia dinding sebelah kiri dan kanan bukaan, dimana momen inersia untuk masing-masing bagian telah dihitung secara terpisah sebelumnya. Perhitungan momen inersia dengan cara ini dilakukan karena pada kedua bagian tersebut terjadi keruntuhan berupa retak geser yang terpisah namun dengan pola yang sama.

Model Dinding	Penampang Geser		h <sub>dinding</sub> (cm)	Inersia (cm <sup>4</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	K (kg/cm)
	b (cm)	h (cm)				
A1	4	120	80	576000	480	1,2558 × E
A2	4	120	80	576000	480	1,2558 × E
B1	4	42	80	49392	336	0,2398 × E
B2	4	42	80	49392	336	0,2398 × E
B3	4	42	80	49392	336	0,2398 × E
C1	4	84	80	197568	336	0,6337 × E
C2	4	84	80	197568	336	0,6337 × E
C3	4	84	80	197568	336	0,6337 × E

