

**PENGARUH PENAMBAHAN BAJA TULANGAN HORIZONTAL
PADA DINDING PASANGAN BATA MERAH TERKEKANG
Influence of Horizontal Steel Reinforcement Addition to
the Confined Red Brick Masonry Wall**

Cecep Bakheri Bachroni

Pusat Litbang Peremukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan Kabupaten Bandung 40393
E-mail : cecep_bch@yahoo.com

Diterima : 07 Maret 2012; Disetujui : 18 Maret 2013

Abstrak

Sistem struktur penahan beban lateral dengan menggunakan dinding pasangan bata merah terkekang adalah sistem struktur yang paling umum digunakan untuk bangunan rumah tinggal sampai dengan dua lantai. Ketahanan gempa sistem struktur ini tergantung pada potensial disipasi energi dari elemen struktur balok, kolom dan pasangan bata merah yang dirancang dengan baik, sehingga bangunan dapat mengalami deformasi inelastik yang besar dan keruntuhan bangunan akibat beban lateral gempa dapat dikendalikan oleh kemampuan deformasi sistem struktur bangunan. Pada struktur dinding pasangan bata merah terkekang. Tegangan akibat gempa direspon oleh unsur-unsur horisontal, vertikal dan/atau diagonal secara bersama-sama. Regangan elemen-elemen pengekang dan regangan diagonal strut pasangan mendisipasi jumlah energi yang signifikan selama gempa bumi. Agar keruntuhan dinding dikendalikan oleh regangan diagonal strut, maka kapasitas sliding geser dinding harus lebih besar dari kapasitas tekan diagonal strut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki perilaku seismik pasangan terkekang yang disisipi baja tulangan diameter 8 mm secara horizontal pada panel dindingnya. Spasi vertikal baja tulangan ini adalah satu meter yang menembus dari kolom satu ke kolom lainnya. Hasil penyelidikan eksperimental menunjukkan bahwa dinding pasangan terkekang dengan tambahan baja ini memberikan kestabilan deformasi yang lebih baik, sehingga dapat memberikan kapasitas simpangan yang lebih panjang dibandingkan dengan dinding tanpa tambahan baja tulangan.

Kata Kunci : *Dinding pasangan bata merah terkekang, tulangan horizontal, kapasitas geser dinding terkekang, mode keruntuhan, pola retak*

Abstract

Lateral load resisting system using confined red brick masonry wall is the most common structural system used for residential building up to two floors. Earthquake resistance system depends on the potential dissipation of energy for each of the structural elements, i.e. beams, columns, red brick and well-designed masonry, such that the building can undergo large inelastic deformation and collapse of the building can be controlled by the capability of the structural elements to undertake significant deformation. On the confined masonry wall system, the forces stimulate during an earthquake will be carried by horizontal, vertical and/or diagonal elements simultaneously. Inelastic deformation expected to be developed in the confining elements and also in the diagonal strut of the masonry walls will dissipate significant amount of energy in structural system during strong earthquake. In order to ensure that the collapse of the masonry walls is controlled by the strain in diagonal strut, the capacity of shear sliding of the panel walls should be designed larger than the compressive strength of diagonal strut. The purpose of this study was to investigate the seismic behavior of the confined masonry wall with additional steel bars of 8 mm in diameter that are horizontally inserted into the wall panels. Vertical space of the horizontal reinforcing steel is one meter that penetrates from one column to another column. The results of experimental investigations show that the confined masonry wall with extra steel provides better stability of the deformation, and also provide displacement capacity longer than that of the wall without additional reinforcement.

Keywords : *Confined red brick masonry walls, horizontal reinforcement bar, shear capacity of confined masonry wall, failure mode, cracks pattern*

PENDAHULUAN

Kejadian gempa bumi baru-baru ini seperti gempa Padang (2007), gempa Yogyakarta (2006) dan gempa Tasikmalaya (2009), walaupun tidak

menimbulkan korban jiwa yang tinggi, tetapi gempa-gempa tersebut menimbulkan kerusakan dan meruntuhkan lebih banyak bangunan-bangunan non-rekayasa berbasis pasangan dari

pada bangunan rumah tinggal tradisional berbasis kayu (Tim Pusat Litbang Permukiman 2006, 2007, 2009). Gambar 1 memperlihatkan tiga kondisi rumah tinggal dengan tiga macam bahan struktur setelah gempa Tasikmalaya. Ketiga gambar tersebut diambil di daerah Cigalontang Tasikmalaya. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa rumah tinggal dari pasangan bata merah tanpa kekangan mengalami rusak berat, rumah tinggal dari pasangan bata merah terkekang mengalami rusak ringan, sedangkan rumah dari bahan kayu panggung tidak mengalami kerusakan yang berarti. Gempa bumi ini telah dengan jelas menunjukkan kerentanan pada bangunan berbasis dinding pasangan, terutama dinding pasangan tanpa perkuatan atau kekangan. Pada kejadian gempa Yogyakarta yang baru lalu pada umumnya bangunan rumah tinggal yang runtuh adalah bangunan dengan menggunakan sistem dinding pasangan tanpa kekangan. Dari penyelidikan, keruntuhan pasca gempa pada dinding pasangan tanpa pengekang didominasi oleh unit-unit bata merah yang lemah (yang memiliki kekuatan tekan kecil), unit bata merah ini pecah lebih dulu sehingga tidak memberi kesempatan terbentuknya *sliding* antara mortar dengan unit bata merah untuk mengembangkan kekuatannya (Samaresh Paikara and Durgesh C. Rai, 2006). Struktur konvensional berbasis kayu yang didesain tahan gempa bergantung pada potensi disipasi energi pada bagian elemen struktur yang didetailkan dengan baik dan/atau yang mengalami deformasi besar tapi terkontrol secara elastis. Untuk menambah kapasitas kekuatan dinding terhadap gaya gempa, saat ini telah berkembang sistem dinding pasangan bata merah terkekang, untuk rumah tinggal sampai dengan dua lantai.

Kekuatan lateral dinding pasangan bata merah terkekang sangat tergantung pada pola keruntuhan yang terjadi. Beberapa mekanisme kegagalan dan pola keruntuhan yang umum terjadi pada portal beton bertulang dengan dinding pengisi diidentifikasi dari berbagai kajian eksperimental yang telah dilakukan. Paulay dan Priestley (1992) menggolongkan pola keruntuhan portal dengan dinding pengisi ke dalam 5 kategori, yaitu :

1) *Corner crushing* (CC), dimana keruntuhan dimulai dari daerah pojok portal. Pola keruntuhan ini umumnya terjadi pada dinding bata yang dikelilingi struktur portal balok kolom yang kuat namun memiliki hubungan balok kolom lemah.

- 2) *Sliding shear* (SH), dimana terjadi kegagalan geser horizontal pada *bed joint* (interaksi mortar dengan bagian bawah unit bata). Keruntuhan seperti ini terjadi akibat lemahnya kekuatan mortar sedangkan struktur portal sangat kuat.
- 3) *Diagonal compression* (DC), dimana keruntuhan ditandai kerusakan area pada daerah tengah panel dinding. Keruntuhan seperti ini diakibatkan oleh besarnya kelangsingan dinding pengisi sehingga memicu terjadinya tekuk keluar bidang (out of plane).
- 4) *Diagonal cracking* (DCR), dimana keruntuhan ditandai dengan terbentuknya retak pada arah diagonal struktur. Keruntuhan seperti ini terjadi pada struktur portal yang memiliki kekuatan yang cukup lemah dibanding dengan kekuatan dinding pasangan.
- 5) *Frame failure* (FF), dimana keruntuhan ditandai dengan terbentuknya sendi plastis pada sambungan balok-kolom. Keruntuhan seperti ini terjadi pada dinding yang memiliki kekuatan besar dengan struktur portal yang memiliki kekuatan kecil dan hubungan balok-kolom yang lemah.

Pola runtuh dinding pasangan terkekang yang paling baik terhadap beban lateral gempa adalah yang memiliki kapasitas deformasi sampai dengan *ratio drift* 1,65 % (Fema 273, 1997). Untuk mencapai rasio *drift* sebesar itu, dinding harus dirancang agar keruntuhannya didahului oleh kegagalan pada *strut* diagonal. L.E. Flores dan S.M. Alcocer, 1996, telah melakukan studi eksperimental penambahan kawat baja las pabrikan pada dinding pasangan terkekang yang menggunakan balok dan kolom beton bertulang. Hasil studi menunjukkan bahwa penambahan kawat baja ini dapat meningkatkan kekuatan dan simpangan dinding pasangan dengan keruntuhan diawali oleh retakan yang terjadi pada *strut* diagonal panel dinding pasangan bata merah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pola runtuh dinding pasangan bata merah terkekang yang diberi perkuatan. Perkuatan tersebut dicapai dengan cara menyisipkan baja tulangan diameter 8 mm dalam arah horizontal, dengan spasi vertikal 100 cm. Baja tulangan horizontal tersebut dipasang menerus sampai menembus kedua kolom pengekang pasangan bata merah.



Gambar 1 Bangunan Rumah Tinggal a) Rumah Tinggal dari Dinding Pasangan Tanpa Pengekang, b) Rumah Tinggal dari Dinding Pasangan dengan Pengekang, c) Rumah Tinggal Tradisional Berbasis Kayu

METODE

Penelitian dilakukan melalui uji laboratorium dengan menggunakan dua benda uji dinding pasangan bata merah terkekang skala penuh, berukuran 3 m x 3 m dikekang oleh balok dan kolom beton bertulang dengan ukuran penampang melintang 15 cm x 15 cm untuk kolom maupun balok pengekangnya. Tulangan utama balok dan kolom adalah diameter 10 mm dengan sengkang diameter 8 mm berspasi 20 cm diseluruh tinggi kolom dan panjang balok. Benda uji No.1 dibuat tanpa penambahan tulangan horizontal dan benda uji No. 2 diberi tambahan tulangan horizontal. Kemudian kedua benda uji ini dibebani secara lateral sebagai simulasi gaya gempa (lihat gambar 3).

Benda Uji

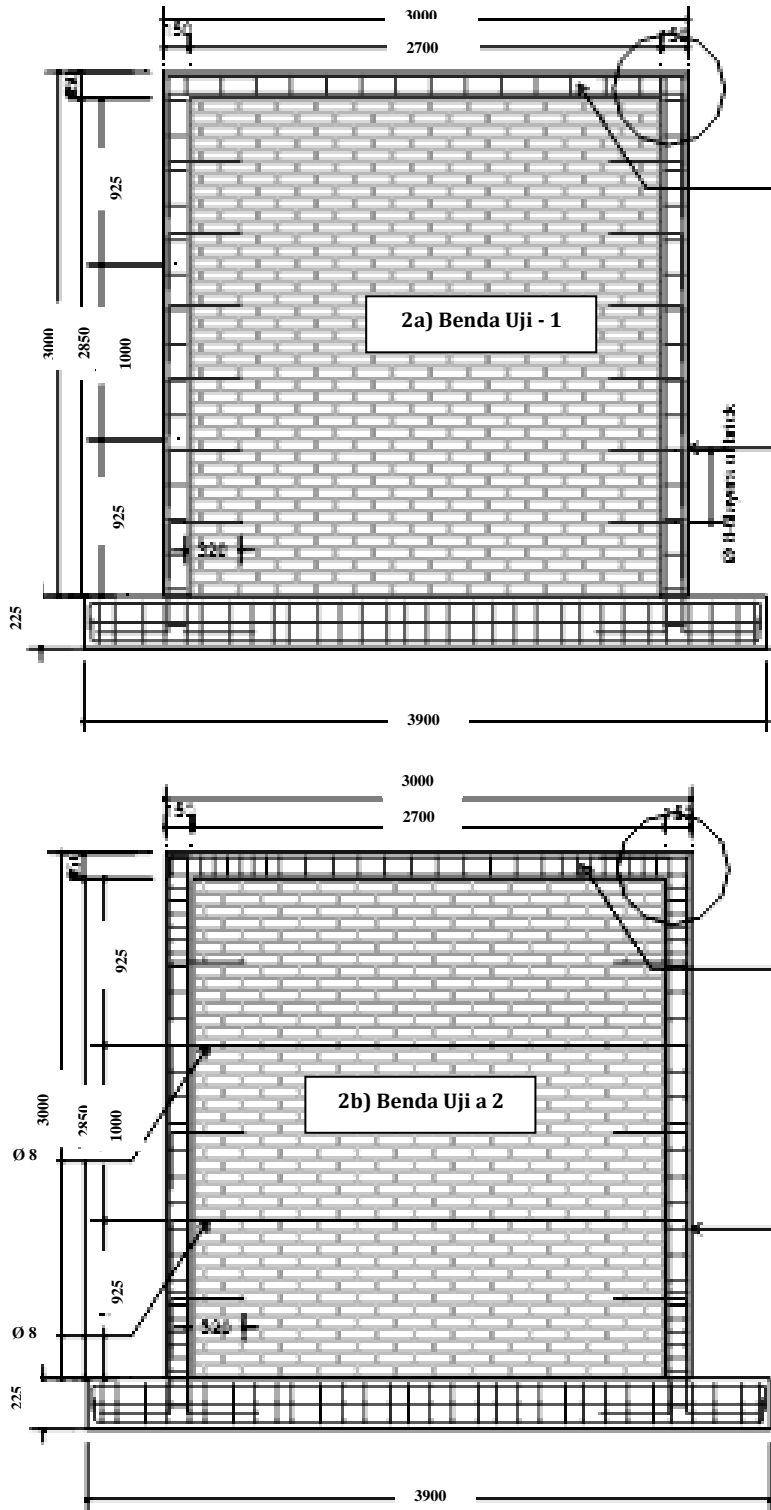
Pada studi eksperimental ini, benda uji diambil dari 10 (sepuluh) benda uji dinding pasangan terkekang skala penuh dari program kerjasama penelitian antara Institut Teknologi Bandung dengan Japan International Cooperation Agency (JICA) dan Laboratorium Struktur Pusat Litbang Permukiman pada tahun 2009 yang lalu. Dari serangkaian benda uji diatas diambil dua benda uji untuk diselidiki, benda uji pertama (BU 1) tanpa tulangan horizontal dan benda uji ke dua (BU 2) dengan tulangan horizontal. Kedua benda uji tersebut berukuran 3 m x 3 m. Dimensi penampang melintang kolom dan balok pengekang 15 cm x 15 cm dengan tulangan utama 4 buah diameter 10 mm dan sengkang diameter 8 mm dipasang dengan spasi 20 cm diseluruh tinggi kolom dan panjang balok. Bata merah yang digunakan dalam pengujian ini adalah bata merah buatan Garut Jawa Barat dengan ukuran, tebal 55 mm, panjang 205

mm dan lebar 100 mm. Kuat tekan unit bata merah rata-rata 4,16 MPa. Kuat tekan mortar dengan komposisi campuran 1: 5 (1 semen : 5 pasir) adalah rata-rata 8,74 MPa. Kuat tarik baja tulangan utama \varnothing 10 mm adalah 317,34 MPa, dan baja tulangan sengkang \varnothing 8 mm adalah 350,97 MPa. Detail kedua benda uji dapat dilihat pada gambar 2.

Set-Up Uji

Benda uji dipasang pada lantai uji (*reaction floor*) dengan pondasi terikat pada lantai dengan menggunakan 16 batang baut kekuatan tinggi diameter 25,4 mm (1 in) sehingga benda uji dapat diasumsikan sebagai terjepit sempurna. *Jack actuator* kapasitas 50 ton sebagai beban simulasi gaya lateral gempa dipasang pada dinding pereaksi (*reaction wall*) sedemikian rupa sehingga *jack* tersebut tepat berada di ujung atas benda uji. Skema pelaksanaan pengujian dapat dilihat pada gambar 3.

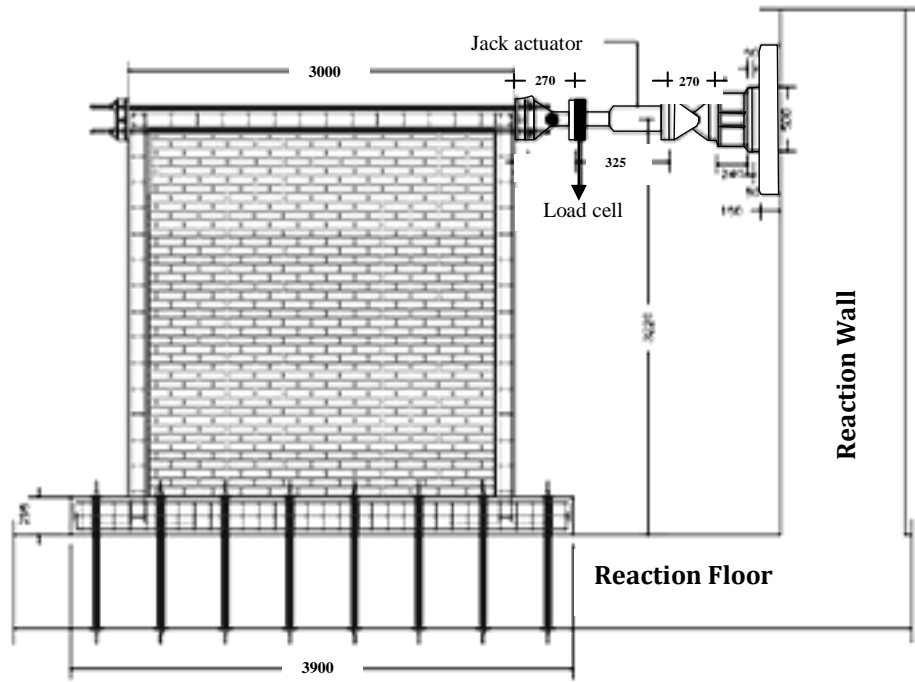
Untuk mengukur regangan-regangan yang terjadi pada baja tulangan dan deformasi benda uji kearah horizontal dan vertikal termasuk pengukuran deformasi di ujung atas benda uji, maka dipasang sejumlah alat ukur *straingauge* dan *transducer* (LVDT). Pada benda uji BU 1 dipasang kurang lebih 30 (tiga puluh) *straingauge* dan 15 *transducer* (LVDT) berkapasitas 25 cm. Pada benda uji BU 2 ditambah 4 *straingauge* yang dipasang pada baja horizontal, yaitu *straingauge* S39 dan S48 serta S42 dan S46. Semua alat ukur ini termasuk *jack actuator* terhubung pada alat pembaca data *logger* TDS 303 dan Switch-Box kapasitas 50 *channel*. Semua data dari data *logger* dihubungkan ke unit komputer untuk membaca hasil uji. Gambar 4 memperlihatkan skema penempatan peralatan ukur pada setiap benda uji.



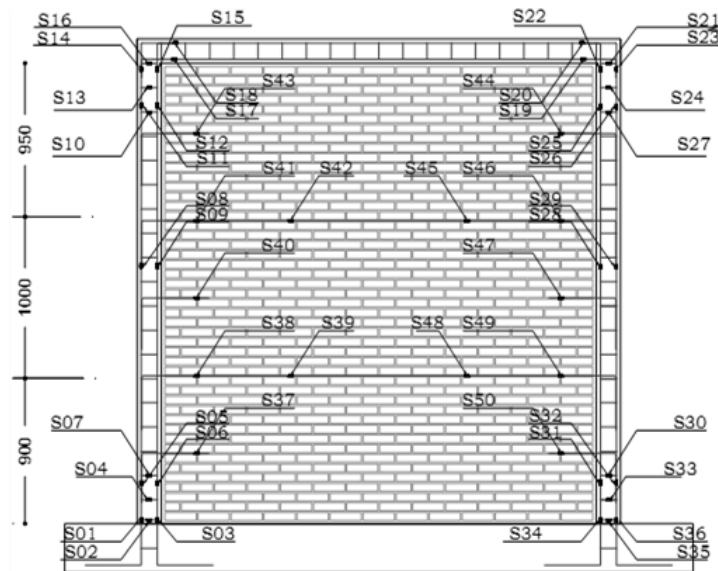
2c) Ukuran kolom dan balok pengebang dengan spasi sengkang konstan untuk balok dan kolom

<p>Kolom 150 x 150 Utama : 4 Ø 10 Sengkang : Ø 8 - 200</p>		<p>Balok 150 x 150 Utama : 4 Ø 10 Sengkang : Ø 8 - 200</p>	
---	---	---	---

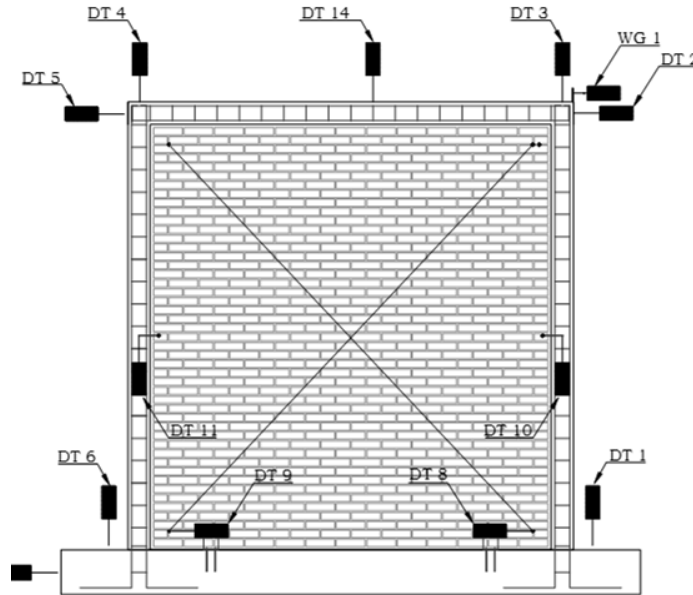
Gambar 2 Benda Uji Dinding Pasangan Terkekang: a) Dinding Tanpa Tulangan Horizontal, b) Dinding dengan Tulangan Horizontal dan c) Ukuran Balok dan Kolom Pengebang



Gambar 3 Skema Pengujian



4a

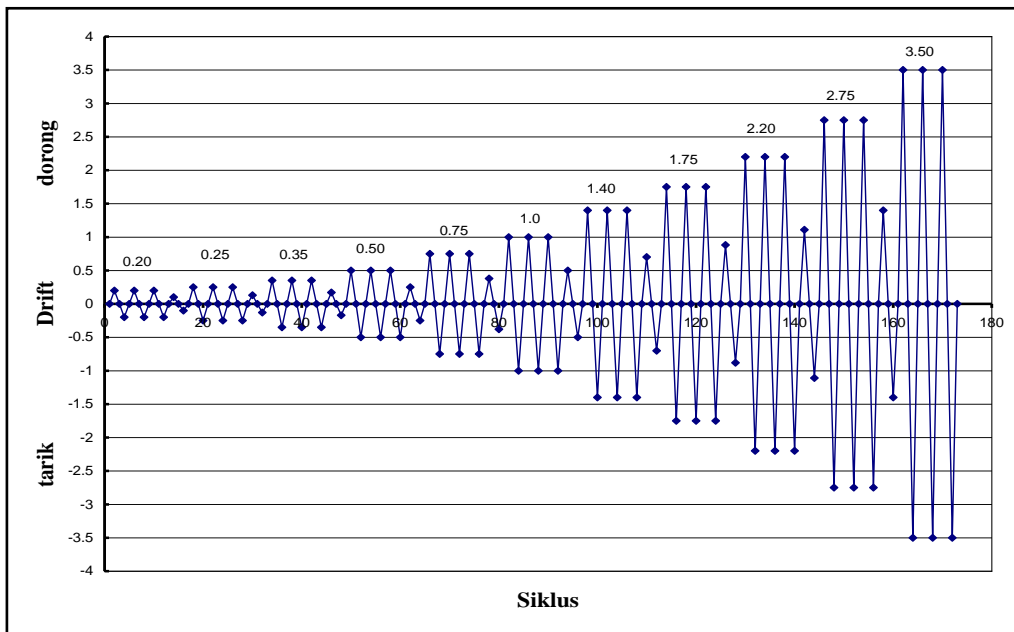


4b
Gambar 4 Skema Penempatan Alat Ukur Regangan dan Transducer

Pembebanan

Beban uji yang digunakan berupa beban *quasi-static*, yaitu: beban lateral siklik bolak-balik dalam arah sejajar bidang dinding (*in-plane*). Beban uji diaplikasikan di balok atas benda uji. Mekanisme pembebanan dilakukan melalui kontrol perpindahan atau simpangan yang ditentukan oleh

deformasi maksimum yang terukur dari *transducer* (LVDT) pada bagian atas benda uji. Pengujian dilakukan hingga reduksi kekuatan benda uji mencapai 50% atau mencapai *drift* 3,5%. Pola pembebanan diaplikasikan mengikuti rekomendasi ACI 374.1-05, (gambar 5).



Gambar 5 Skema Pembebanan

Kapasitas Gaya Geser Horizontal dan Gaya Tekan Diagonal Strut Panel Pasangan Bata Merah Terkekang

Mengacu pada gambar 2, kapasitas gaya geser horizontal dan kapasitas gaya tekan diagonal

dihitung menggunakan persamaan-persamaan dari FEMA 273 1997, untuk data bahan diambil dari kumpulan data hasil uji dinding kegiatan kerjasama ITB, JICA dan Pusat Litbang Permukiman - Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum (2009).

Kapasitas Geser Sliding Horizontal Pasangan Bata Merah (V_{fl})

$$V_{fl} = \frac{\tau_o \cdot t \cdot L_m}{1 - \mu \cdot \tan \theta}$$

τ_o = kuat geser horizontal pasangan
 $\mu = 0,654 + 0,000515 \times f'_m$
 $\theta = \tan^{-1}(h_m / L_m)$.

Kapasitas Kuat Tekan Diagonal Strut Dinding Pasangan Bata Merah (V_c)

$V_c = Z \cdot t \cdot f'_{pas} \cdot \cos \theta \cdot Z = 0,175 (\lambda \cdot h)^{1/4} \cdot d_m \cdot d_m$ = panjang diagonal dinding

$$\lambda = \left[\frac{E_{pas} \cdot t \cdot \sin 2 \theta}{4 \cdot E_c \cdot I_g \cdot h_m} \right]^{1/4}$$

$$f'_{pas} = \frac{f'_{btm} (f'_{tb} + \alpha \cdot f'_j)}{U_u (f'_{tb} + \alpha \cdot f'_{btm})}$$

j = tebal mortar pada pasangan, h_b = tebal unit bata merah, $U_u = 1,5$ (konstanta, ditetapkan),
 $\alpha = j / 4,1 \times h_b, f'_{tb} = 0,1 f'_{btm}$

Gaya geser yang pikul oleh baja dihitung mengikuti ketentuan ACI 318-M08 (ACI, 2008).

$$V_{f2} = \rho_w \cdot f_{ye} \cdot A_{vh}$$

di mana: ρ_w = rasio volumetrik penguatan di *infill* panel, f_{ye} = kuat leleh rencana tulangan pengisi (yang ditambahkan), dan A_{vh} = luas bersih bidang geser horizontal panel *infill*.

Dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas dan data bahan dari kumpulan data hasil uji dinding kegiatan kerjasama ITB, JICA dan Pusat Litbang Permukiman Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum 2009, seperti pada tabel 1 diperoleh hasil hitungan kapasitas *sliding* geser dinding pasangan pada tabel 2.

Tabel 1 Data Bahan Benda Uji Pasangan Bata Merah

f'_{btm} =	4,16 MPa	$f'_{y \theta 10}$ =	317,34 Mpa	$A_{\theta 8}$ =	47,20 mm ²
f'_{mrtar} =	8,75 Mpa	$f'_{y \theta 8}$ =	350,97 Mpa	E_c =	$4700 \sqrt{18,08} = 19985$ Mpa
f'_c =	18,08 Mpa	$A_{\theta 10}$ =	74,42 mm ²	E_{pas} =	$750 \times f'_{pas} = 2932,5$ Mpa
τ_o =	0,206 Mpa				

Sumber : Kumpulan Data Hasil Uji Dinding Kegiatan Kerjasama ITB, JICA dan Pusat Litbang Permukiman - Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum (2009)

Tabel 2 Hasil Perhitungan Analitis Kapasitas Geser *Sliding* dan Kapasitas Tekan Diagonal *Strut*

	V_{fl} (N)	V_{f2} (N)	V_c (N)
BU-1	186951	-	19986
BU-2	186951	33200	19986

V_{fl} = Kapasitas geser *sliding horizontal* pasangan bata merah dihitung dari parameter bahan pasangan.

V_{f2} = Kapasitas geser *sliding horizontal* dari baja yang disisipkan pada panel pasangan.

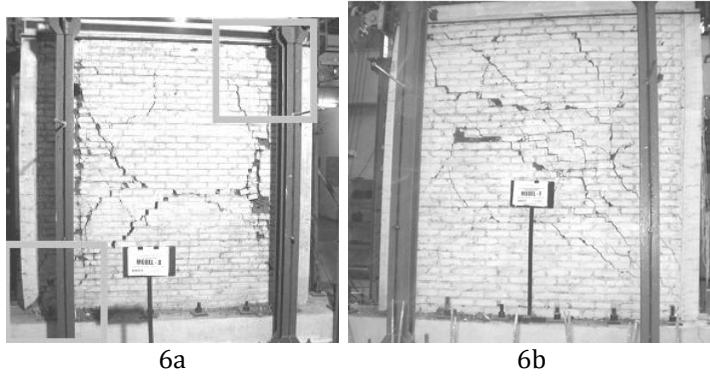
Dari tabel 2 diatas terlihat bahwa kapasitas geser *sliding* horizontal BU 2 setelah ditambah baja tulangan lebih besar dari kapasitas tekan diagonal *strut*, oleh karena itu keruntuhan BU 2 akan terjadi pada diagonal *strut*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perilaku Histeretik

Benda Uji 1. Keretakan awal terjadi pada panel pasangan dinding saat simpangan mencapai 1,8 mm atau (*drift* 0,067%) di beberapa lokasi dengan arah retak diagonal memotong unit bata diikuti dengan retakan vertikal pada pertemuan panel dinding pasangan dengan kolom pengekang. Keretakan vertikal ini juga disertai dengan terjadinya retakan diagonal dan geser *sliding*; keretakan ini menjadi penyebab keruntuhan. Pola keretakan benda uji (BU 1) ditampilkan pada gambar 6a. Keretakan elemen portal pengekang mulai terjadi pada saat simpangan di ujung atas BU 1 mencapai 10,5 mm (*drift* 0,35%) dengan pola

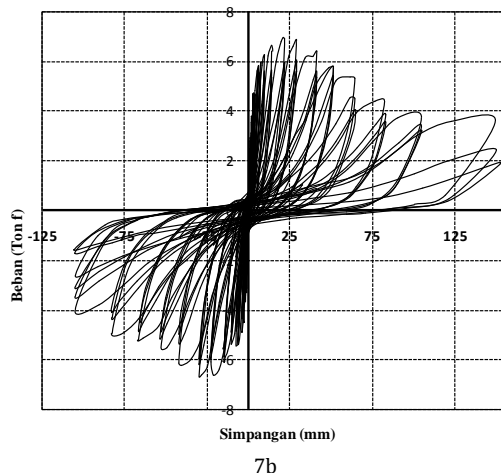
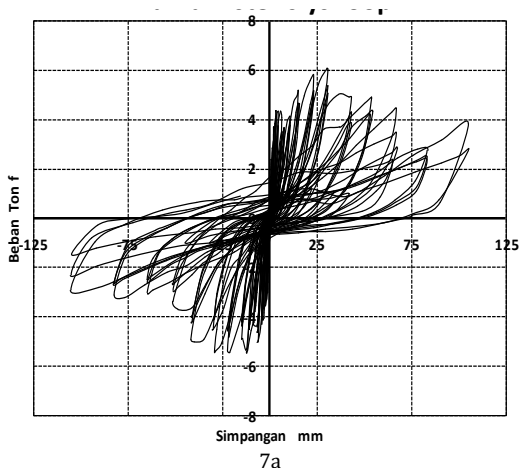
retakan lentur pada bagian setengah tinggi kolom. Pada simpangan 22,5 mm (*drift* 0,75%) mulai terjadi retak geser pada bagian atas kolom pengekang, diikuti dengan terjadinya retak lentur pada bagian luar kolom pengekang pada tahapan beban selanjutnya. Retak geser besar juga terjadi pada bagian bawah kolom mulai pada simpangan 42 mm (*drift* 1,4%) dan terus membesar hingga tahanan lateral bagian bawah kolom yang hanya tertahan oleh mekanisme aksi dowel (*dowel action*) dari tulangan memanjang balok dan kolom pengekang mengalami keruntuhan. Keruntuhan signifikan portal benda uji BU 1 terjadi karena kehancuran pada hubungan balok-kolom portal dan kegagalan geser pada bagian bawah kolom. Beban maksimum BU 1 diperoleh sebesar 5,44 ton dengan simpangan 30 mm (*drift* 1 %). Gambar 7a memperlihatkan perilaku histeretik BU 1 yang memiliki kekuatan puncak dan respon histeristik yang relatif berbeda pada pembebanan dorong dan tarik.



Gambar 6 Pola Retakan Setelah Dibebani (a) Benda Uji 1, dan (b) Benda Uji 2

Benda Uji 2. Pengujian pada benda uji (BU 2) menunjukkan keretakan awal dinding terjadi saat perpindahan di ujung atas dinding mencapai 1,5 mm (*drift* 0,05%), pada beban dorong, berupa retak kecil di beberapa tempat dengan kecenderungan diagonal. Retak diagonal pada arah pembebanan tarik mulai terbentuk saat simpangan di ujung atas dinding mencapai 3,99 mm (*drift* 0,133%). Retakan pada arah beban tarik ini terus berlanjut dan bertambah sampai dengan perpindahan lateral di ujung atas dinding 6 mm (*drift* 0,2%), sehingga membentuk suatu diagonal *strut* pada arah pembebanan tarik. Begitu pula retakan diagonal arah pembebanan dorong, sehingga pada kedua arah terbentuk *strut* tekan diagonal seperti ditunjukkan pada gambar 6b. Pada simpangan 82,5 mm (*drift* 2,75%), dinding belum mengalami kerusakan signifikan yang menyebabkan keruntuhan dinding, sementara pada BU 2, pada *drift* ini dinding mulai mengalami keruntuhan-keruntuhan kecil hingga besar.

Keruntuhan pada dinding mulai terjadi pada simpangan 105 mm (*drift* 3,5%) tetapi keruntuhan signifikan terjadi pada perpindahan sebesar 150 mm (*drift* 5%). Keretakan elemen portal pengekang mulai terjadi pada simpangan 6 mm (*drift* 0,2%) dengan pola keretakan lentur pada bagian setengah tinggi kolom. Keruntuhan signifikan portal pengekang benda uji BU 2 terjadi karena kehancuran pada hubungan balok-kolom portal dan kegagalan kolom akibat retak lentur dan geser pada bagian atas kolom. Respon kekuatan puncak BU 2 terjadi pada simpangan 30 mm (*drift* 1 %) dengan tahanan lateral sebesar 6,7 ton. Perilaku histeretik (gambar 7b) memperlihatkan BU 2 memiliki kekuatan puncak dan respon histeretik yang sama pada pembebanan dorong dan tarik. Respon struktur setelah melewati beban puncak relatif masih dapat mengakomodasi perpindahan tanpa mengalami penurunan kekuatan yang besar.



Gambar 7 Perilaku Beban – Deformasi (a) Benda Uji 1 dan (b) Benda Uji 2

Daktilitas

Kurva histeretik hubungan beban lateral dengan perpindahan untuk BU 1 dan BU 2 ditampilkan pada gambar 7. Kurva sampel kedua benda uji ditampilkan dalam gambar 8a. Benda uji 1

mencapai beban ultimit 5,44 ton pada simpangan 30 mm, sedangkan benda uji 2 mencapai akhir beban 6,7 ton pada simpangan 50 mm. Pengaruh tambahan baja tulangan yang dipasang horizontal pada benda uji 2, kapasitas beban lateral dan

simpangan diperoleh lebih tinggi dibanding dengan benda uji 1 (tanpa tambahan baja horizontal). Daktilitas dihitung dari rasio simpangan ultimit dengan simpangan leleh, simpangan ultimit diperoleh dari simpangan pada 80 % beban puncak, sedangkan simpangan leleh dihitung menggunakan konsep *equal energy absorbtion* seperti diperlihatkan pada gambar 8b.

Simpangan leleh (d_y) dan simpangan maksimum (d_{max}) serta daktilitas untuk masing-masing benda uji 1 dan 2 dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Daktilitas pada Akhir Pengujian

Benda Uji	Simpangan Leleh, d_y , (mm)	Simpangan Maksimum d_{max} (mm)	Daktilitas (d_{max}/d_y)
1	10,35	54,62	5,28
2	9,07	60,56	6,68

Pada tabel 3 dan gambar 8a terlihat dengan jelas bahwa dengan menambahkan 2 batang baja horizontal pada panel dinding pasangan dapat meningkatkan daktilitas benda uji 2 lebih baik.

Baja tulangan tambahan yang disisipkan pada panel dinding menyumbangkan kekuatannya dalam memperlambat terjadinya keruntuhan *sliding* geser dan sekaligus menambah kapasitas gaya lateral dan kapasitas deformasi dinding secara keseluruhan, yang akhirnya kekakuan dinding semakin besar.

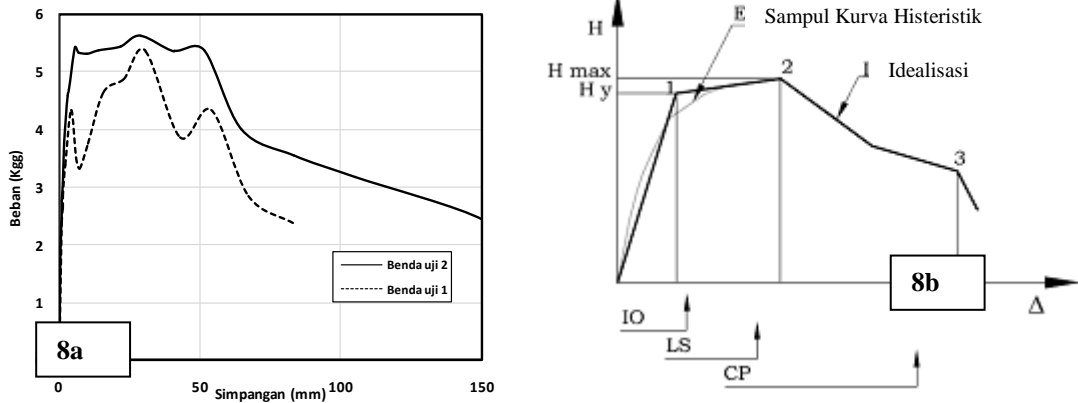
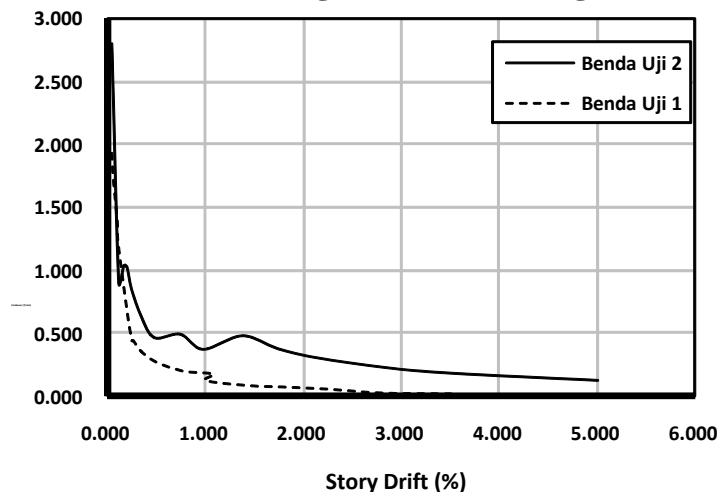


Figure 8 a) Kurva Sampul Ketahanan Geser, 8b) Kurva Daktilitas Benda Uji

Kurva Hubungan Kekakuan dengan Drift



Gambar 9 Kurva Hubungan Kekakuan Setiap Siklus dengan Simpangan (*Story Drift*)

Kekakuan Siklus

Kurva hubungan kekakuan dengan *drift* untuk kedua benda uji ditunjukkan pada gambar 9. Kekakuan dihitung dari beban puncak dibagi panjang perpindahan (*displacement*) horizontal pada setiap siklus. Dari gambar terlihat penurunan

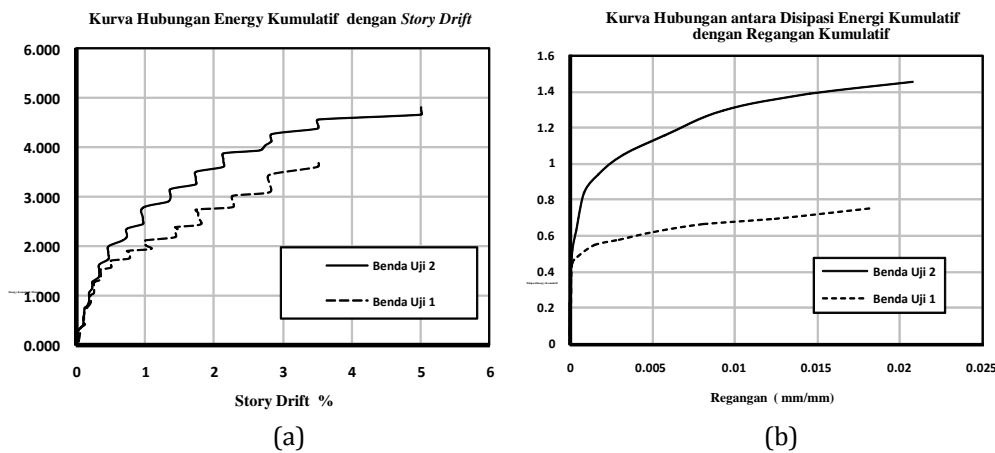
kekakuan lateral kedua benda uji sangat drastis sampai dengan simpangan 3,3 mm (*drift* 0,11%), tetapi penurunan kekakuan tersebut terjadi secara lambat setelah simpangan ini. Penambahan baja tulangan yang disisipkan pada panel dinding

pasangan benda uji 2, memberikan efek kekakuan yang lebih besar dalam arah sejajar dinding (*in-plane*).

Disipasi Energi

Energi yang didisipasi di setiap siklus adalah area yang dikelilingi oleh lingkaran histeristik sesuai dengan siklusnya. Energi yang didisipasi oleh seluruh dinding berkaitan dengan kekuatan total dinding dan simpangan horizontal dinding. Energi yang dihamburkan per volume oleh panel dihitung dari rata-rata tegangan dan regangan panel pasangan bata merah. Tegangan rata-rata dihitung dari gaya lateral hasil uji dibagi oleh luas penampang horizontal dinding pasangan. Regangan pada dinding bata dihitung dari perpindahan yang diukur LVDT diagonal pada panel. Kurva hubungan disipasi energi kumulatif dengan *story drift* untuk

kedua benda uji ditampilkan dalam gambar 10a, dan kurva hubungan energi kumulatif dengan regangan tekan diagonal panel dinding ditampilkan pada gambar 10b. Pengaruh kekangan baja tulangan Ø 8 mm yang dipasang horizontal dapat menambah kapasitas disipasi energi kurang lebih sebesar 22 %. Baja horizontal ini yang dipasang sebanyak 2 batang dengan spasi vertikal 100 cm pada panel pasangan bata merah terkekang (pada benda uji 2) memegang peran untuk menghambat terjadinya keruntuhan geser mortar horizontal. Gambar 8b menunjukkan pengaruh baja horizontal yang mampu memperlambat terjadinya kerusakan pada panel pasangan bata merah sehingga dinding secara keseluruhan dapat memperpanjang simpangan horizontal tanpa runtuh, dan ini berdampak pada meningkatnya kapasitas disipasi energi dinding pasangan terkekang.



Gambar 10 (a) Kurva Hubungan Disipasi Energi Kumulatif dengan *Story Drift* (b) Kurva Hubungan Disipasi Energi Kumulatif dengan Regangan Panel Pasangan Bata Merah

Efek Baja Horizontal

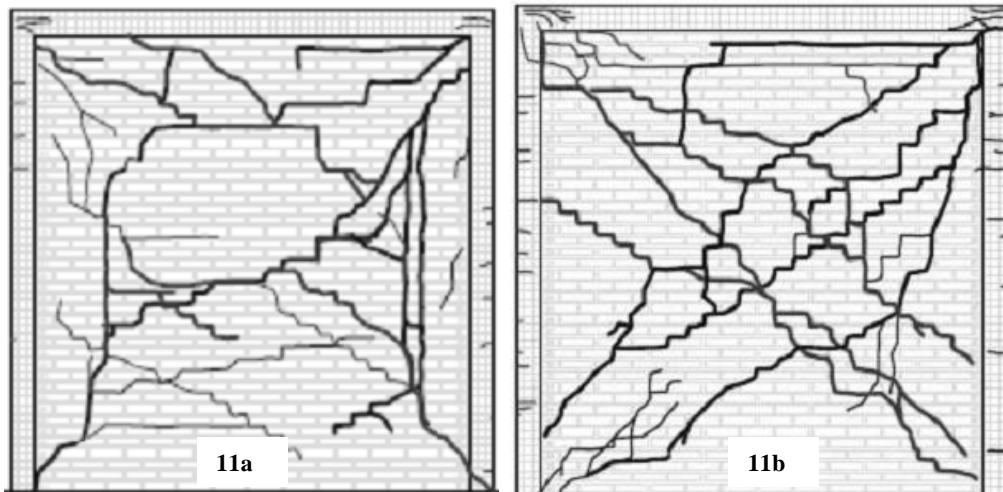
Mengacu pada gambar 4b, strain gauge No. S 39 dan S 48 di pasang pada baja bawah (1 m dari ujung bawah dinding), *strain gauge* No. S 42 dan S 46 di pasang pada baja atas (2 m dari ujung bawah dinding). Regangan baja hasil pengamatan uji dapat dilihat dalam tabel 4.

Tabel 4 Regangan Baja Horizontal (Ø 8 mm) yang Tercatat dari Hasil Pengujian

Nomor Strain Gauge	Regangan (ε)
S39	1345 x 10 ⁻⁶
S 42	1859 x 10 ⁻⁶
S 46	1400 x 10 ⁻⁶
S 48	Tidak terbaca

Regangan leleh baja horizontal = 350,97/200.000 = 0,00175, Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa baja horizontal bawah (S 42) telah mengalami

kelelahan. Gaya geser yang ditahan oleh baja atas = $V_{uji a} = 1345 \times 10^{-6} \times 200.000 \text{ MPa} \times 47,2 \text{ mm}^2 = 12697 \text{ N} = 1,27 \text{ Tonf}$. Gaya geser yang ditahan oleh baja bawah = $V_{uji b} = 350,97 \text{ MPa} \times 47,2 \text{ mm}^2 = 16565,78 \text{ N} = 1,66 \text{ Tonf}$. Kedua baja yang terpasang pada panel pasangan bata merah memikul gaya geser horizontal sebesar 2,93 Tonf, nilai ini berbeda dengan yang diprediksi dalam tabel 2 sebesar 3,32 Tonf. Perbedaan ini disebabkan oleh fakta bahwa tidak semua tulangan horizontal mengalami kelelahan. Kedua baja tulangan sebagai penambah kapasitas gaya geser horizontal panel dinding pasangan bata merah dapat mengubah pola runtuh dinding. Keruntuhan yang dikendalikan oleh geser horizontal (pada BU 1) menjadi keruntuhan yang dikendalikan oleh *strut* diagonal (pada BU 2) seperti diperlihatkan pada gambar 11.



Gambar 11 (a) Skema Pola Retakan setelah Pengujian BU 1 (b) Skema Pola Retakan setelah Pengujian BU 2

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tulisan ini fokus pada pengaruh tambahan baja tulangan \emptyset 8 mm yang dipasang horizontal menembus pada kedua kolom praktis di kedua sisi dinding pasangan bata merah sebanyak dua batang dengan spasi vertikal 100 cm. Hasil pengujian laboratorium dengan menggunakan benda uji pasangan bata merah berukuran 3 m x 3 m dan dikekang dengan balok dan kolom praktis beton bertulang berukuran 15 cm x 15 cm, menunjukkan bahwa penambahan baja horizontal tersebut dapat menambah kapasitas disipasi energi, kekakuan dan kapasitas simpangan horizontal dinding. Selain itu baja tambahan ini dapat merubah pola runtuh dinding dari runtuh getas menjadi pola runtuh yang lebih daktile, dibandingkan dengan dinding tanpa tulangan horizontal.

Saran

Studi eksperimental ini perlu dilanjutkan untuk mencari besaran baja horizontal optimum agar keruntuhan dinding pasangan terkekang selalu dikendalikan oleh tekan diagonal *strut*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu atas terselesaikannya tulisan ini, terutama kepada Balai Struktur dan Konstruksi Bangunan, Pusat Litbang Permukiman - Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum, dan para penelaah sehingga tulisan ini dapat diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

JICA, ITB, Laboratorium Struktur Pusat Litbang Permukiman 2009. *Kumpulan Data Hasil Pengujian Dinding Terkekang*. Bandung.

ACI 318 M-08, ACI 318 2008, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318 M-08) and Commentary. ACI committee 318.

Paulay, T. and M.J.N., Priestley. 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, J. Wiley and Sons, NY, 744 pp.

Samaresh Paikara and Durgesh C. Rai, 2006. *Confining Masonry Using Pre-Cast RC Element for Enhanced Earthquake Resistant*. Proceedings of The 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering. April 18 - 22, 2006, San Francisco, California, USA. Paper No. 1177.

FEMA 273 1997, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Applied Technology Council (ATC - 33 Project) Redwood City, California.

L. E. Flores and S. M. Alcocer, 1996. "Calculated Response Confined Masonry Structure". National Centre for Disaster Prevention, Delfin Madrigal 665, 04360, Mexico DF.

Tim Pusat Litbang Permukiman 28 Mei - 4 Juni 2006, Pemeriksaan Kerusakan Bangunan Negara dan Rumah Tinggal Pasca Gempa di Provinsi DI Yogyakarta.

Tim Pusat Litbang Permukiman 2007, Pemeriksaan Kerusakan Bangunan Negara dan Rumah Tinggal Pasca Gempa di Padang Provinsi Sumatera Barat.

Tim Pusat Litbang Permukiman September 2009, Pemeriksaan Kerusakan Bangunan Negara dan Rumah Tinggal Pasca Gempa di Kota/Kabupaten Tasikmalaya Provinsi Jawa Barat.

NOMENKLATUR

f'_{btm}	=	Kuat tekan unit bata merah
f'_{mrtar}	=	Kuat tekan mortar
f'_c	=	Kuat tekan beton
τ_o	=	Kuat geser horizontal
$f_{y\phi 10}$	=	Kuat leleh baja diameter 10 mm
$f_{y\phi 8}$	=	Kuat leleh baja diameter 8 mm
$A_{\phi 10}$	=	Luas baja tulangan 10 mm
$ES_{\phi 8}$	=	Modulus elastisitas baja tulangan 8 mm
$A_{\phi 8}$	=	Luas baja tlangan 8 mm
E_c	=	Modulus elastisitas beton
E_{pas}	=	Modulus elastisitas pasangan bata merah
f'_{pas}	=	Kuat tekan Pasangan bata merah
f'_{tb}	=	Kuat tarik bata merah ($f'_{tb} = 0,1 f'_{btm}$)
J	=	Tebal mortar pada pasangan
h_b	=	Tebal unit bata merah
U_u	=	Konstanta (diambil 1,5)
V_f	=	Kuat geser horizontal pasangan
t	=	Tebal pasangan bata merah
Lm	=	Panjang pasangan
hm	=	Tinggi pasangan
V_c	=	Kapasitas tekan diagonal <i>strut</i> asangan bata merah
Z	=	Panjang bidang kontak pasangan dengan kolom rangka pengekang
d_m	=	Panjang diagonal pada dinding pasangan
θ	=	Sudut antara diagonal dengan horizontal pada pasangan
ρ_w	=	Rasio volumetrik penguatan di <i>infill</i> panel
f_{ye}	=	Kuat leleh rencana tulangan pengisi (yang ditambahkan)
A_{vh}	=	Luas bersih bidang geser horisontal panel <i>infill</i>
