

PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN VERTIKAL TERHADAP DAKTILITAS DAN KEKAKUAN DINDING GESER DENGAN PEMBEBANAN SIKLIK (QUASI-STATIS)

Jackson Bernath Simanjuntak¹, Ari Wibowo², Ming Narto Wijaya²

¹Mahasiswa / Program Sarjana / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

²Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur
Korespondensi : jacksonmanapin@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan intensitas gempa bumi vulkanik dan tektonik cukup aktif oleh karena itu diperlukan struktur-struktur yang mampu bertahan selama gempa yang terjadi. Dinding geser merupakan dinding struktur yang diaplikasikan untuk menahan gaya momen, geser dan aksial. Penerapan dinding geser dengan menggunakan beton memiliki kapasitas biaya yang besar akan tetapi dengan konfigurasi tulangan vertikal serta analisa lebih lanjut maka kita bisa merencanakan dinding geser dengan biaya yang lebih murah tetapi dengan mutu dan kuat yang sama atau lebih besar dengan konfigurasi dinding geser biasanya. Apabila ditinjau dari bidang ketekniksipil maka perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai konfigurasi tulangan vertikal ditinjau dari berbagai aspek-aspek konstruksi. Aspek-aspek konstruksi yang dimaksud yaitu kapasitas kekuatan struktur dinding geser, bahan-bahan penyusun dinding geser beserta analisisnya, daktilitas dinding geser, dan kekakuan dinding geser. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan, pembuatan dan uji pembebanan siklik terhadap tiga spesimen benda uji dengan menggunakan material utama yaitu semen, air, agregat kasar dan agregat halus untuk mutu desain 20 Mpa serta tulangan polos $\varnothing 8$ untuk pondasi dan dinding geser dengan rasio tulangan dinding geser vertikal 2,44% serta rasio tulangan horizontal 5,54%. Dinding geser pertama yaitu dengan jarak antar tulangan vertikal 50 mm. Dinding geser kedua yaitu dengan jarak antar tulangan vertikal 40 mm. Dinding geser ketiga yaitu dengan jarak antar tulangan vertikal 30 mm. Untuk masing-masing spesimen memiliki jarak antar tulangan horizontal 150 mm dengan tinggi benda uji 800 mm, lebar 400mm serta tebal 80 mm. Pembebanan aksial yang diberikan sebesar 5% dari kapasitas desain benda uji. Pembebanan lateral yang diberikan berupa pembebanan siklik. Data yang diperoleh berupa % drift simpangan, beban setiap % drift simpangan, perpindahan lentur dan geser, kuat tekan beton dan kuat tarik baja. Hasil design dan teoritis menunjukkan bahwa semakin rapat jarak antar tulangan vertikal maka semakin besar kapasitas momen dan beban lateralnya serta daktilitas dan kekakuannya. Pada penelitian dilapangan dikarenakan berbagai kondisi maka spesimen dengan jarak antar tulangan vertikal 50 mm (jarak tengah tulangan 65mm) memiliki beban lateral 6780 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1,645$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 2,742$ dan $K_{\text{tangential}} = 678,154$ kg/mm juga $K_{\text{secant}} = 464,829$ kg/mm. Spesimen dengan jarak antar tulangan vertikal 40 mm (jarak tengah tulangan 105mm) memiliki beban lateral 7650 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1,137$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 2,274$ dan $K_{\text{tangential}} = 583,658$ kg/mm juga $K_{\text{secant}} = 434,98$ kg/mm. Spesimen dengan jarak antar tulangan vertikal 30 mm (jarak tengah tulangan 165mm) memiliki beban lateral 6782 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1,959$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 3,919$ dan $K_{\text{tangential}} = 1090,178$ kg/mm dan $K_{\text{secant}} = 553,678$ kg/mm.

Kata kunci : Dinding geser, Pembebanan Siklik , % drift, Daktilitas, Kekakuan

ABSTRACT

Indonesia is the country with the intensity of volcanic and tectonic earthquakes are quite active, therefore we need structures that can survive during earthquake. Shear wall is a wall structure which is applied to retain moments, shear and axial. Application of concrete shear walls using a large cost but with the configuration of the vertical reinforcement and further analysis so we can plan a shear wall with lower cost but with the same quality and strong or even larger compared with a normal shear wall configuration. Viewed from the civil engineering study, we need for further research for configuration of the vertical reinforcement in terms of various aspects of construction. Aspects of the construction in question are the strength capacity of the structure of the shear wall, constituent materials, analysis of shear walls, ductility of shear wall, and stiffness of shear walls. In this research, modeling, manufacture and test of cyclic loading on three specimens by using the main material such as cement, water, coarse aggregate and fine aggregate for quality design of 20 MPa and reinforcing plain $\varnothing 8$ for foundation and shear walls with vertical reinforcement ratio of shear wall 2.44% and 5.54% of the horizontal reinforcement ratio. The first shear wall is the distance between the vertical bars of 50 mm. A second sliding wall with the distance between the vertical bars of 40 mm. The third shear wall that is the distance between the vertical bars of 30 mm. For each specimen have the distance between the horizontal reinforcement 150 mm with tow specimen of 800 mm, width 400 mm and 80 mm thick. Imposition of axial given 5% of the design capacity of the test specimen. Imposition of a given form of lateral cyclic loading. Data obtained in the form of % drift deviation, load each % drift deviation, bending and shear displacement, concrete compressive strength and tensile strength of steel. Design and theoretical results show that the closer distance between the vertical bars, the greater the moment and lateral load capacity as well as ductility and stiffness. In the field of research due to various conditions, the specimen with the distance between the vertical bars of 50 mm has a lateral load of 6780 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1.645$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 2.742$ and $K_{\text{tangential}} = 678.154 \text{ kg / mm}$ also $K_{\text{secant}} = 464.829 \text{ kg / mm}$. The specimen with the distance between the vertical bars of 40 mm has a lateral load 7650 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1.137$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 2.274$ and $K_{\text{tangential}} = 583.658 \text{ kg / mm}$ also $K_{\text{secant}} = 434.98 \text{ kg / mm}$. The specimen with the distance between the vertical bars of 30 mm has a lateral load of 6782 kg, $\mu_{\text{peak load}} = 1.959$, $\mu_{\text{Simp max load}} = 3,919$ and $K_{\text{tangential}} = 1090.178 \text{ kg / mm}$ and $K_{\text{secant}} = 553.678 \text{ kg / mm}$.

Keyword: Shear Wall, Cyclic Loading, % Drift, Ductility, Stiffness

1. PENDAHULUAN

Dinding geser merupakan dinding yang dirancang supaya dapat menahan geser yang merupakan gaya lateral akibat gempa bumi serta gaya aksial dari struktur tetapi dengan konsep bahwa keruntuhan awal yang terjadi ada keruntuhan akibat gaya lateral kemudian keruntuhan geser tujuannya yaitu untuk memberikan spasi waktu untuk pengguna struktur sehingga dapat menyelamatkan diri sebelum struktur mengalami keruntuhan total. Saat ini, dinding geser sudah banyak diaplikasikan pada gedung-gedung bertingkat hingga rumah sehingga aman dan lebih stabil serta kokoh. Harapannya, untuk kedepannya pembangunan di Indonesia dapat mengedepankan keamanan struktur

sehingga jumlah korban material dan jiwa dapat diminimalisir.

Di Indonesia, perencanaan bangunan beton bertulang diatur dalam SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Dalam SNI ini, disyaratkan bahwa luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 1% luas bruto penampang. Karena manfaat yang diberikan dinding geser, maka dinding geser dirancang kaku yang kemudian tidak terlepas dari penulangan pada beton serta kapasitas kekuatan beton. Semakin kaku suatu struktur maka semakin besar mutu beton, penampang beton, maupun jumlah tulangan beton tersebut. Hal ini juga yang membuat struktur semakin getas sehingga

perlu adanya konfigurasi antar kekakuan struktur dan daktilitas struktur sehingga struktur mempunyai kekakuan yang cukup dalam menahan beban tetapi juga memiliki kedaktilitan yang cukup untuk dapat menahan torsi.

Semakin kaku dan daktil suatu struktur maka semakin besar juga diameter tulangan, jumlah penulangan, mutu beton, ukuran penampang pada struktur tersebut yang berarti semakin mahalnya struktur tersebut dari segi cara pengerjaan maupun jumlah material yang digunakan. Sehingga, perlu dilakukan penelitian terhadap variasi penulangan dinding geser sehingga tercapainya penambahan kualitas dinding geser dengan menggunakan jumlah tulangan yang sama, rasio badan yang sama dan rasio tulangan yang sama dengan dinding geser normal tetapi mampu menahan kapasitas momen, daktilitas dan kekakuan lebih baik dari dinding geser normal.

Maka tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbedaan kekakuan antara *Shear wall* dengan variasi jarak tulangan vertikal ($s= 40\text{mm}$ dan $s= 30\text{mm}$) dan *Shear wall* tanpa variasi ($s= 50\text{mm}$)
2. Mengetahui perbedaan daktilitas antara *Shear wall* dengan variasi letak tulangan vertikal ($s= 40\text{mm}$ dan $s= 30\text{mm}$) dan *Shear wall* tanpa variasi ($s= 50\text{mm}$)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Geser (*Shear Wall*)

Berdasarkan SNI-2847-2013, dinding struktural adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser adalah dinding struktural. Dinding struktural yang ditetapkan sebagai bagian sistem penahan gaya gempa bisa dikategorikan sebagai berikut:

1. Dinding beton polos struktur biasa (*Ordinary structural plain concrete*

wall) – Dinding yang memenuhi persyaratan pasal 22.

2. Dinding struktural beton bertulang biasa (*Ordinary reinforced concrete structural wall*) – Dinding yang memenuhi persyaratan pasal 1 sampai 18.
3. Dinding struktural pracetak menengah (*Intermediate precast structural wall*) – Dinding yang memenuhi persyaratan pasal 1 sampai 18 yang sesuai sebagai tambahan pada 21.4

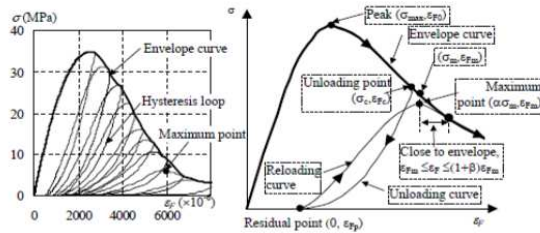
Dinding struktural khusus (*Special structural wall*) – Dinding di cor ditempat atau pracetak yang memenuhi persyaratan 21.1.3 sampai 21.1.7, 21.9, dan 21.10, sebagaimana sesuai, sebagai tambahan pada persyaratan untuk dinding struktural beton bertulang biasa.

Sedangkan, menurut Schueller (1989) menjelaskan bahwa dinding geser adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan. Susunan geometri sistem dinding geser tidak terbatas. Bentuk segitiga, persegi panjang, sudut, kanal dan flens lebar adalah contoh-contoh bentuk yang dikenal dalam bahasa arsitektural.

Pembebanan dinding geser dimulai dari lantai yang berlaku sebagai diafragma horizontal yang meneruskan beban lateral secara merata ke dinding geser. Penyebaran gaya lateral ke dinding geser adalah fungsi dari susunan geometris sistem dinding penahan. Apabila resultan dari gaya lateral melalui titik berat dari kekakuan relatif bangunan, maka yang dihasilkan hanyalah reaksi translasi. Kasus yang paling jelas adalah pada bangunan dinding geser murni. Pada bangunan dinding geser rangka kaku, sebagai perkiraan awal dianggap bahwa geser akan dipikul seluruhnya oleh inti, karena kekakuannya jauh melebihi kekakuan lateral rangka. Apabila susunan dinding geser asimetris, maka resultan gaya lateral tidak melalui titik berat kekakuan bangunan. Hasilnya, terjadilah rotasi dari dinding geser ditambah dengan translasi.

Penyebaran tegangan bergantung pada bentuk sistem dinding geser.

2.2 Beban Siklik



Gambar 1. Histerisis Loop

Beban siklik adalah beban yang diterima oleh suatu struktur. Kegagalan struktur juga bias disebabkan oleh beban siklik yang terjadi, meskipun desain awal struktur memiliki kekuatan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Kegagalan *fatigue* yang merupakan fenomena di mana beton pecah ketika mengalami beban berulang pada tegangan lebih kecil daripada kekuatan tekan maksimum dan kekuatan *fatigue* yang didefinisikan sebagai kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan *fatigue* dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, load history dan sifat material (Al-Sulayfani, 2008).

2.3 Tulangan Baja Pengekang

1. Rasio Tulangan Longitudinal (ρ_v)

$$\rho_v = \frac{A_s}{b D}$$

Keterangan:

A_s = luas total tulangan longitudinal

b = lebar kolom

D = tinggi penampang kolom

2. Rasio Tulangan Transversal

2.1 Rasio Volumetrik (ρ_s)

$$\rho_s = \frac{A_v(2b_s + 2h_s)}{b_h h_h s}$$

Keterangan:

A_v = luas penampang tulangan transversal

s = jarak antar pusat tulangan sengkang

b_s dan h_s = dimensi terhadap garis tengah sengkang

b_h dan h_h = dimensi inti beton diukur ke bagian luar sengkang

2.2 Rasio luas (ρ_h)

$$A_{v.min} = \frac{0.35 b_v s}{f_{sy}}$$

Keterangan:

b_v = lebar efektif pada web untuk geser ($b_w - \Sigma d_d$)

Σd_d = jumlah dari diameter saluran grouting, jika ada, sepanjang bidang horizontal web

2.4 Perpindahan (*Displacement*)

1. Perpindahan Lentur

Estimasi perpindahan lentur bisa didapatkan dengan mengidealisasi-distribusi kelengkungan pada daerah elastis dan plastis.

$$\Delta_{fl} = \Delta_{fe} + \Delta_{fp}$$

Keterangan :

Δ_{fl} = Perpindahan lentur

Δ_{fe} = Perpindahan lentur elastis

Δ_{fp} = Perpindahan lentur plastis

2. Perpindahan Penetrasi Leleh (Δ_y)

Perpindahan saat leleh terjadi saat adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung kolom, dimana keadaan leleh dicapai saat muncul celah yang terbuka di hubungan pondasi dengan kolom dari penetrasi tegangan plastis pada regangan tulangan di pondasi.

3. Perpindahan Geser

Terdapat beberapa metode yang dapat memodelkan perpindahan geser yaitu metode ACI 318-2002, FEMA 273, Priestley (1994), dan Sezen & Moehle (2004).

2.5 Daktilitas

Daktilitas kolom menurut Paulay dan Priestly (1992), dapat diklarifikasikan sebagai berikut :

1. Daktilitas Aksial

$$\mu \varepsilon = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_y}$$

ε = Regangan maksimum yang terjadi

ε_y = Regangan leleh baja

$\mu \varepsilon$ = Besarnya daktilitas aksial

2. Daktilitas Kurvatur

$$\mu \varphi = \frac{\varphi_m}{\varphi_y}$$

Nilai φ_y akan diperoleh pada saat kondisi regangan tulangan Tarik pertama kali mencapai regangan leleh baja yang dipakai, maka kondisi yang demikian disebut kurvatur leleh pertama (φ_y).

3. Daktilitas Peprindahan

$$\mu \Delta = \frac{\Delta}{\Delta_y} \text{ dimana } \Delta = \Delta_y + \Delta_p$$

Δ = Perpindahan total yang terjadi

Δ_y = Perpindahan leleh

Δ_p = Defleksi ujung akibat gaya lateral total

2.6 Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpendekan kolom. Rumus umum kekakuan adalah : (Gere & Timoshenko, 1996)

$$k = \frac{P}{x}$$

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

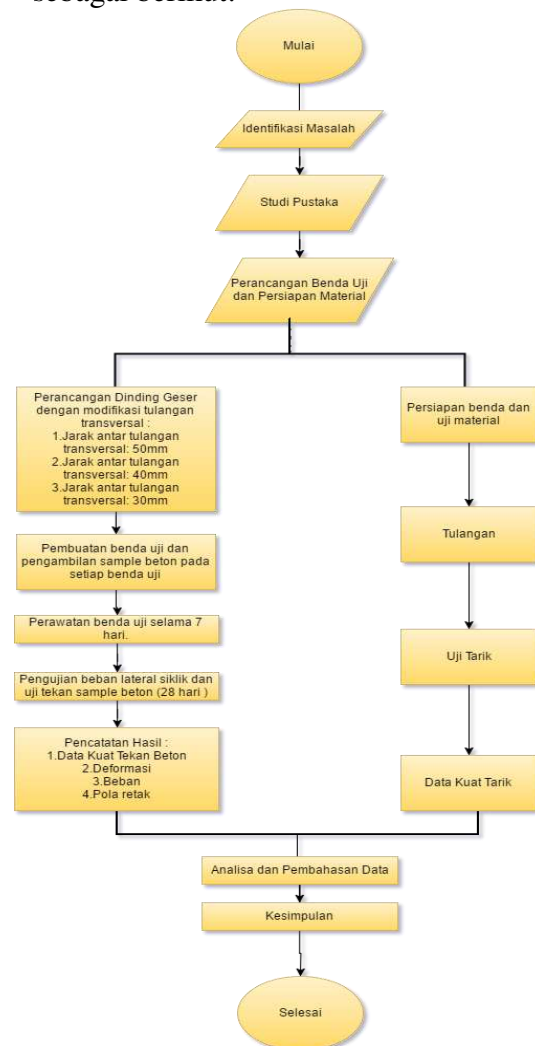
k = Kekakuan struktur (kg/m)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mengenai “Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Transversal pada Dinding Geser Terhadap Kekakuan dan Daktilitas dengan Pembebanan Siklik

dan Aksial” ini termasuk dalam penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji serta pengujian semi siklik dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang pada bulan agustus 2016 sampai november 2016.

Diagram alur penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

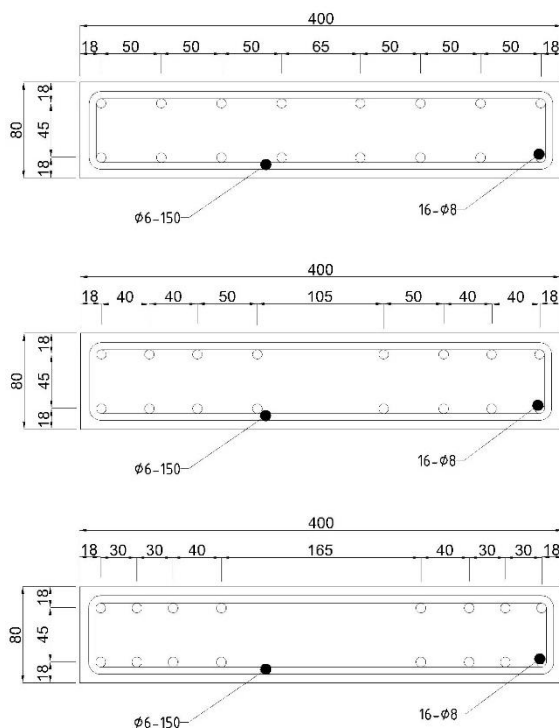
3.1 Rancangan Penelitian

Jumlah benda uji dalam penelitian ini adalah 4 (empat) benda yang terdiri dari :

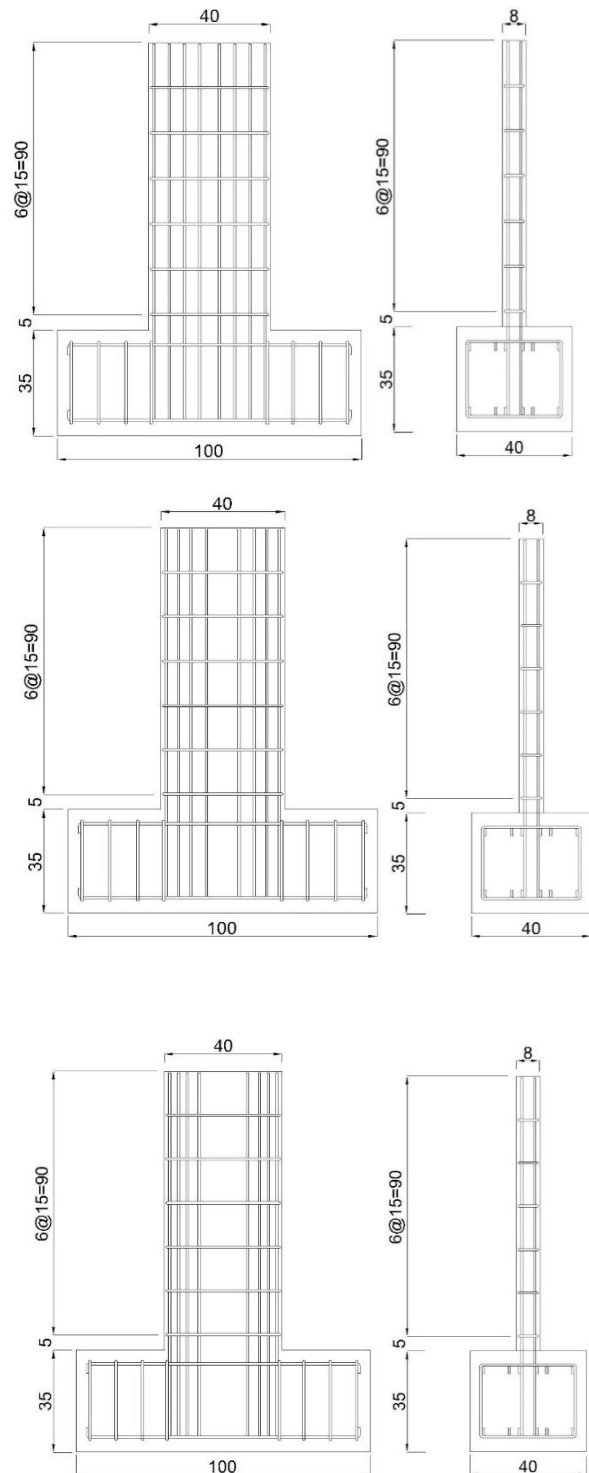
Nama Kolom	Dimensi Dinding Geser (mm)	Tinggi Dinding Geser (mm)	Aspek Ratio	P _v (%)	P _h (%)
SW-50 (65 mm)	80 x 400	800	2	2,44	5,54
SW-40 (105mm)	80 x 400	800	2	2,44	5,54
SW-30 (165mm)	80 x 400	800	2	2,44	5,54

Tulangan Sengkang	Tulangan Longitudinal	Variasi Kerapatan ujung sengkang (mm)	n (%)	Fc (Mpa)
Ø8-150 mm	16-Ø8	50-50	5	20
Ø8-150 mm	16-Ø8	50-40	5	20
Ø8-150 mm	16-Ø8	40-30	5	20

Tabel 1. Spesifikasi Benda Uji



Gambar 3. Tampak atas benda uji SW-50(65mm), SW-40(105mm) dan SW-30(165mm)



Gambar 4. Tampak depan dan samping benda uji SW-50(65mm), SW-40(105mm) dan SW-30(165mm)

Variabel penelitian yang diukur dalam penelitian ini adalah:

- a. Variabel bebas (*independent variable*)
 - Jarak antar tulangan vertikal (s)
- b. Variabel terikat (*dependent variable*)
 - Daktilitas
 - Kekakuan

Pada penelitian ini dilakukan pembacaan data, yang meliputi:

- Pembacaan data kuat tarik baja,
- Kuat tekan silinder beton
- Data beban *displacement* pada saat pengujian siklik benda uji dinding geser.
- Data *displacement* pada saat pengujian siklik benda uji dinding geser.

Hipotesa penelitian pengaruh uji beban siklik terhadap pola retak dan momen kapasitas pada dinding geser beton dengan variasi jarak dan diameter dengan rasio tulangan $\rho_v = 2,44\%$, $\rho_h = 2,99\%$ adalah:

1. Semakin rapat kerapatan ujung penulangan vertikal dinding geser maka kekakuan dinding geser semakin besar.
2. Semakin rapat kerapatan ujung penulangan vertikal dinding geser maka daktilitas dinding geser semakin besar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Beton Segar

Pengujian slump ini bertujuan untuk mengetahui tingkat *workability* atau tingkat kemudahan untuk dikerjakan dan juga kekentalan pada beton segar. Campuran beton yang terlalu cair akan menyebabkan mutu beton rendah, dan lama mengering. Sedangkan campuran beton yang terlalu kental menyebabkan adukan tidak merata dan sulit untuk dicetak.

Benda Uji	Slump (cm)	Umur Beton (hari)
	9.5	
SW-50 (65mm)	19	
	17	
	15	
SW-40 (105mm)	14.5	28
	12.5	
	10.5	
SW-30 (165mm)	16	
	17	

Tabel 2. Hasil uji slump

4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

1 Kuat tekan silinder

Benda Uji	KUAT TEKAN	KUAT TEKAN
	28 hari kg/cm ²	28 hari Mpa
SW-50 (65 mm)	109.837	10.98
SW-50 (65 mm)	164.756	16.48
SW-50 (65 mm)	118.330	11.83
		13.10
SW-30 (165mm)	170.984	17.10
SW-30 (165mm)	203.255	20.33
SW-30 (165mm)	153.999	15.40
		17.61
SW-40 (105mm)	176.645	17.66
SW-40 (105mm)	163.623	16.36
SW-40 (105mm)	302.902	30.29
		21.44

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan beton

2 Analog Hammer Test

Analog hammer test merupakan pengujian pada permukaan beton untuk mengetahui kekuatan pada saat beton sudah mengering ataupun pengecekan secara insitu. Alat yang digunakan yaitu *Scmidht Rebound Hammer*.

Benda Uji	Analog Hammer Uji Tekan Silinder	
	Test Mpa	Mpa
SW-50 (65mm)	29.5	13.10
SW-40 (105mm)	25.1	21.44
SW-30 (165mm)	27.1	17.61

Tabel 4. Hasil uji Analog Hammer Test

4.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya diperoleh data bahwa tegangan leleh tulangan baja Ø8 adalah 378,86 Mpa yang diambil dari rata-rata tiga sampel tulangan yang berbeda.

No Tulangan	Diameter (mm)	Diameter Aktual (mm ²)	A (mm ²)	P (N)	fy (Mpa)
1	Ø8	7.88	48.744	16406	336.57
2	Ø8	7.88	48.744	19660	403.33
3	Ø8	7.88	48.744	19335	396.66
fy					378.86

Tabel 5. Tegangan Leleh Tulangan

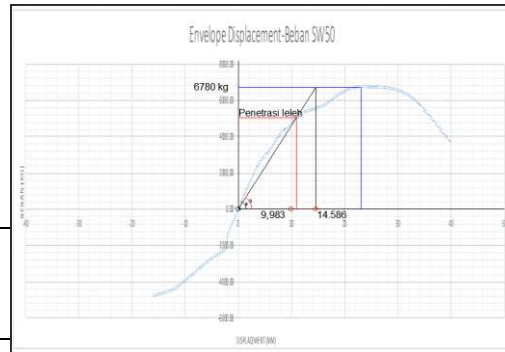
4.4 Hasil Pengujian Beban Siklik

Kolom	Phmaks (kg)		Selisih %
	Eksperimen	Teoritis	
SW-50 (65 mm)	6780.00	5413.40	25,24
SW-40 (105mm)	7650.00	6146.23	24,47
SW-30 (165mm)	6782.00	6254.06	8,44

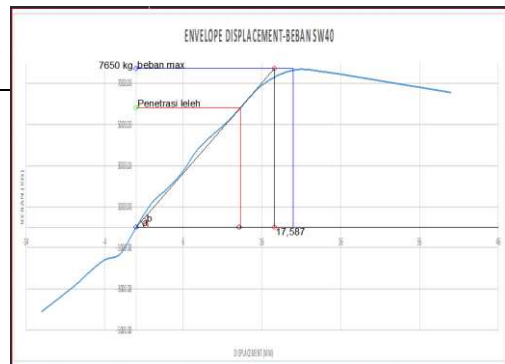
Tabel 6. Perbandingan Eksperimen dan Teoritis

Dari tabel diatas nampak bahwa ada perbedaan selisih yang tidak terlalu jauh antara teoritis dan juga eksperimen. Perbedaan ini bisa dikarenakan adanya perpindahan yang cukup besar pada kolom baja disamping kanan spesimen uji, pelelehan baja pengikat pondasi dengan frame serta dikarenakan beban aksial yang tidak selalu stabil sehingga ada kemungkinan bahwa spesimen uji tidak selalu dalam kondisi akurat ketika pengujian. Hasil pengujian ini digunakan pada penghitungan daktilitas serta kekakuan spesimen benda uji berikutnya yang dapat menyebabkan nilai kekakuan dan daktilitas struktur meningkat drastis.

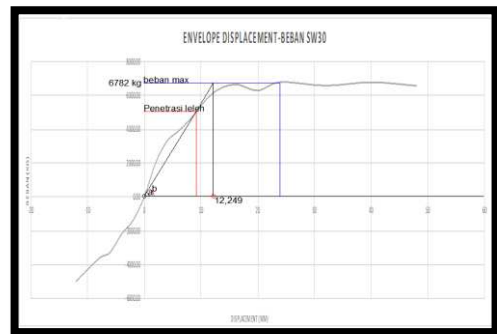
1. Analisis perpindahan saat leleh



Gambar 5. Perpindahan saat leleh SW-50 (65mm)



Gambar 6. Perpindahan saat leleh SW-40 (105mm)

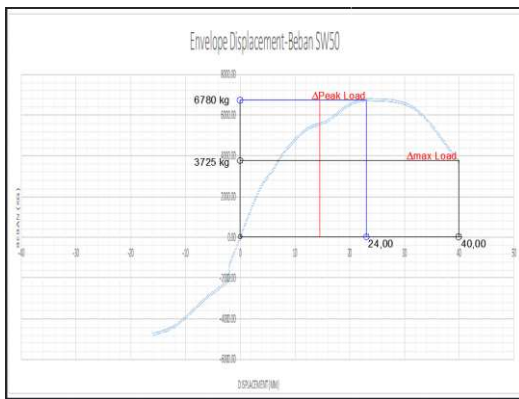


Gambar 7. Perpindahan saat leleh SW-30 (165mm)

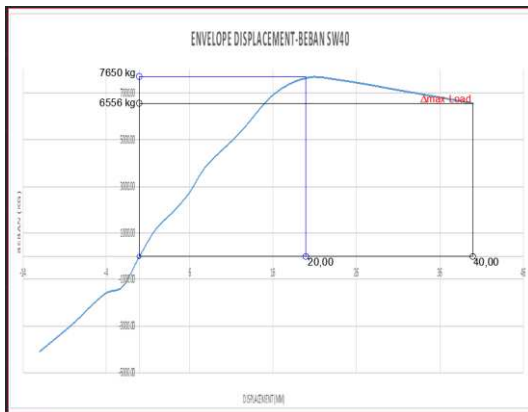
Perpindahan SW-40 (105mm) di saat leleh adalah yang paling besar jika dibandingkan dengan SW-50 (65 mm) dan SW-30 (165mm). Perpindahan SW-40 (105mm) sebesar 17,587 mm, SW-50 (65 mm) sebesar 14,586 mm dan SW-30 (165mm) sebesar 12,249 mm. Secara garis besar semakin rapat tulangan vertikal maka semakin besar kapasitas beban lateral

maksimum dan momen maksimum dan juga akan meningkatkan panjang perpindahan leleh. Peningkatan panjang perpindahan leleh dari SW-50 (65mm) ke SW-40 (105mm) yaitu dari 14,586 mm ke 17,587 mm. Sedangkan, perpindahan saat leleh SW-30 (165mm) lebih rendah dari SW-50 (65 mm) dan SW-40 (105mm) yaitu 12,249 mm.

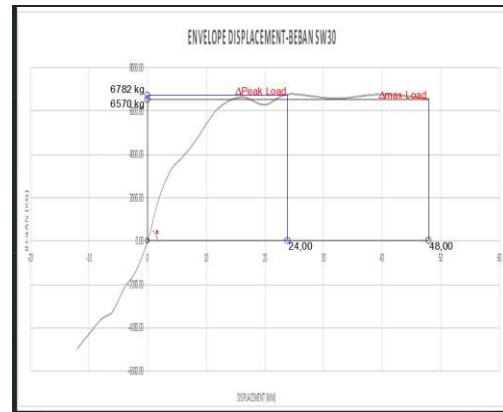
2. Analisis perpindahan saat $\Delta_{maksimum}$



Gambar 8. Perpindahan saat $\Delta_{maksimum}$ SW-50 (65mm)



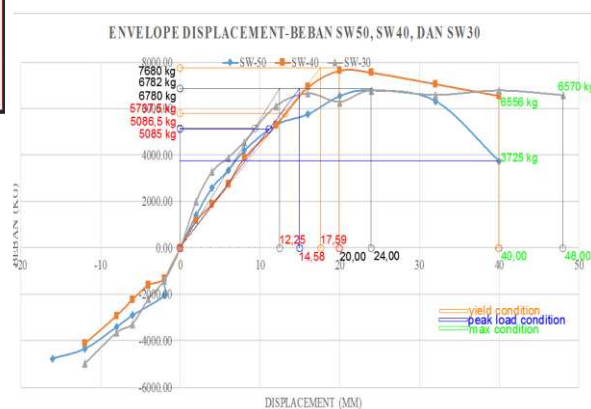
Gambar 9. Perpindahan saat $\Delta_{maksimum}$ SW-40 (105mm)



Gambar 10. Perpindahan saat $\Delta_{maksimum}$ SW-30 (165mm)

Pada kasus daktilitas disaat perpindahan maksimum terlihat bahwa semakin besar kerapatan tulangan vertikal ke tepi spesimen dinding geser maka semakin kecil beban yang terjadi pada perpindahan maksimum dan semakin besar juga *drift* untuk mencapai perpindahan saat ultimit. Perbandingan ini bisa dilihat bahwa daktilitas maksimum pada SW-30 (165mm) lebih besar dibandingkan SW-40 (105mm) dan SW-50 (65mm) secara berurutan yaitu 6570 kg, 6556 kg, 3726 kg. Walaupun perbandingan beban lateral di saat *drift* maksimum tidak terlalu berbeda jauh antar SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm) yang bisa terjadi dikarenakan berbagai faktor seperti yang sudah dibahas sebelumnya.

3. Analisa daktilitas Perpindahan



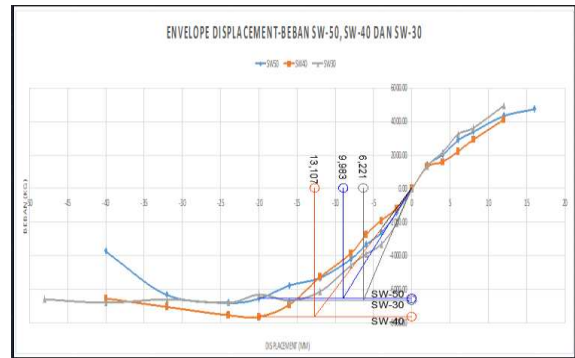
Gambar 11. Perbandingan analisis daktilitas perpindahan SW-50 (65mm), SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm)

Berdasarkan **Gambar 11** maka bisa kita lihat perbedaan perbandingan daktilitas perpindahan setiap spesimen. SW-40 (105mm) mempunyai daktilitas perpindahan yang kecil, hal ini mengindikasikan apabila yang semakin besar beban lateral yang dapat ditahan oleh spesimen benda uji akan mengurangi nilai daktilitasnya. Berdasarkan data diatas juga maka semakin spesimen benda uji dapat menahan beban lateral lebih besar pada *drift* awal maka daktilitasnya akan meningkat. Jika dibandingkan antara SW-40 (105mm) dan juga SW-50 (65mm) maka nilai daktilitas perpindahan leleh SW-40 (105mm) yang bernilai 1,137 lebih rendah daripada SW-50 (65mm) yang bernilai 1,645. Perbandingan perpindahan *max load* antara SW-50 (65mm) dan SW-40 (105mm) juga bernilai besar untuk SW-50 (65mm) yaitu dengan perbandingan perpindahan *max load* untuk SW-50 (65mm) bernilai 2,742 dan untuk SW-40 (105mm) bernilai 2,274.

Sedangkan, pada spesimen benda uji SW-30 (165mm) memiliki daktilitas perpindahan yang lebih besar dibandingkan SW-50 (65mm) dan SW-40 (105mm). Perpindahan leleh SW-30 (165mm) bernilai 1,959 dan untuk perpindahan *max load* bernilai 3,919. Perbedaan analisa daktilitas SW-30 (165mm) dan SW-40 (105mm) ini bisa dikarenakan keadaan-keadaan lapangan yang sudah dijelaskan sebelumnya sehingga beban lateral maksimum yang didapat tidak sesuai ekspektasi yang akhirnya berdampak pada perpindahan leleh yang menggunakan metode secan dan juga peningkatan perbandingan beban puncak-leleh serta penurunan beban lateral setelah beban lateral maksimum yang tidak terlalu signifikan yang menyebabkan perpindahan maksimum load yang semakin jauh serta nilai daktilitas saat simpangan maksimum-leleh yang semakin besar.

4. Analisa Kekakuan

- Metode *Tangential Stiffness*



Gambar 12. Grafik kekakuan tangensial SW-50 (65mm),SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm)

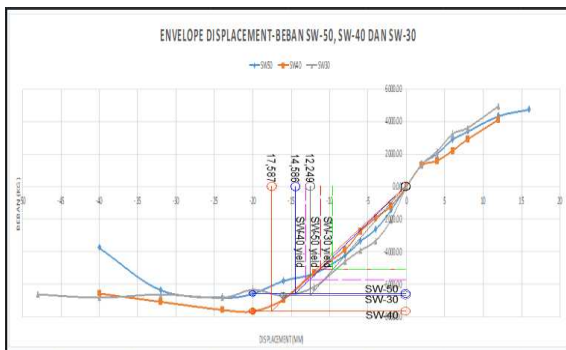
Dinding Geser	$P_{peak\ load}$ (kg)	$\Delta_{tangential\ stiffness}$ (mm)	<i>Tangential stiffness</i>
SW-50 (65mm)	6780	9,983	678,154
SW-40 (105mm)	7650	13,107	583,658
SW-30 (165mm)	6782	6,221	1090,178

Tabel 5. Kekakuan tangensial spesimen SW-50 (65mm), SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm)

Dari hasil perhitungan tabel diatas maka terlihat bahwa SW-30 (165mm) memiliki kekakuan tangensial yang paling besar jika dibandingkan dengan SW-50 (65mm) dan SW-40 (105mm) yaitu sebesar 1090,178 kg/mm sedangkan SW-50 (65mm) sebesar 678,154 kg/mm dan SW-40 (105mm) sebesar 583,658 kg/mm. Pada saat pengujian beban yang bisa ditahan oleh SW-30 (165mm) pada *drift* 0% sampai dengan 1,5% merupakan yang paling besar diantara SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm) walaupun beban lateral maksimum yang dapat ditahan tidak sesuai ekspektasi dan dibawah SW-40 (105mm). Hasil analisa kekakuan ini seharusnya sesuai teori desain dimana semakin rapat jarak tulangan vertikal maka kekakuan akan semakin besar dikarenakan pada tahap awal beton bertulang yaitu ketika

mengalami saat elastis, tulangan tarik baja akan mengalami pelepasan yang hampir bersamaan dikarenakan rapatnya tulangan vertikal sesuai dengan objek SW-30 (165mm). Sedangkan, untuk SW-40 (105mm) tidak sesuai dugaan yang bisa dipengaruhi tekan beton yang kuat sehingga beton belum mengalami *fatigue* dan juga pelepasan yang berarti pada saat elastis sehingga SW-40 (105mm) mampu menahan beban lebih lama tetapi kekakuannya menurun.

- Metode *Secant Stiffness*



Gambar 13. Grafik kekakuan secant SW-50 (65mm), SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm)

Dinding Geser	Beban (kg)	Δ_{secant} stiffness (mm)	Secant Stiffness
SW-50 (65mm)	6780	14,586	464,829
SW-40 (105mm)	7650	17,587	434,98
SW-30 (165mm)	6782	12,249	553,678

Tabel 6. Kekakuan secant spesimen SW-50 (65mm), SW-40 (105mm) dan SW-30 (165mm)

Dari data diatas maka dapat kita lihat bahwa pada secan stiffness kekakuan SW-30 (165mm) adalah yang paling besar diantar spesimen SW-40 (105mm) dan SW-50 (65mm). Nilai kekakuan SW-30 (165mm) sebesar 553,678 kg/mm, sedangkan SW-50 (65mm) sebesar 464,829 kg/mm dan SW-40 (105mm) sebesar 434,98 kg/mm. Hasil

analisa kekakuan ini seharusnya sesuai teori desain dimana semakin rapat jarak tulangan vertikal maka kekakuan akan semakin besar dikarenakan pada tahap awal beton bertulang yaitu ketika mengalami saat elastis, tulangan tarik baja akan mengalami pelepasan yang hampir bersamaan dikarenakan rapatnya tulangan vertikal sesuai dengan objek SW-30 (165mm). Sedangkan, untuk SW-40 (105mm) tidak sesuai dugaan yang bisa dipengaruhi tekan beton yang kuat sehingga beton belum mengalami *fatigue* dan juga pelepasan yang berarti pada saat elastis sehingga SW-40 (105mm) mampu menahan beban lebih lama tetapi kekakuannya menurun.

Terdapat konsistensi antara *tangential stiffness* dan *secant stiffness* dimana secara berurutan kekakuan yang paling besar yaitu SW-30 (165mm) kemudian SW-50 (65mm) dan SW-40 (105mm). Sehingga semakin besar kemampuan struktur menahan beban dengan *drift* yang lebih singkat maka kekakuan akan meningkat dan semakin kecil struktur menahan beban dengan *drift* yang singkat ataupun lama maka kekakuannya akan menurun.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pengamatan dari penelitian untuk dinding adalah berupa analisis data secara teoritis dan eksperimental serta pembahasan data. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa pengaruh variasi jarak tulangan vertikal pada *shear wall* terhadap daktilitas dan kekakuan dengan pembebanan siklik dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian dinding geser dengan ratio tulangan vertikal, ratio tulangan horizontal dan rasio badan yang sama menghasilkan daktilitas dinding geser dengan jarak sengkang 30 mm (spasi tulangan ditengah 165 mm) lebih besar jika dibandingkan dengan dinding geser dengan jarak tulangan vertikal 50 mm (spasi tulangan ditengah 65 mm) dan 40

- mm (spasi tulangan ditengah 105 mm) tetapi kapasitas beban lateral dan momen kapasitas lebih kecil. Sedangkan, daktilitas dinding geser dengan jarak 40 mm (spasi tulangan ditengah 105 mm) lebih kecil jika dibandingkan dinding geser dengan jarak tulangan vertikal 50 mm (spasi tulangan ditengah 65 mm) dan 30 (spasi tulangan ditengah 165 mm) mm tetapi kapasitas beban lateral dan momen kapasitas lebih besar.
2. Penelitian dinding geser dengan ratio tulangan vertikal, ratio tulangan horizontal dan rasio badan yang sama menghasilkan kekakuan dinding geser dengan jarak sengkang 30 (spasi tulangan ditengah 165 mm) mm lebih besar jika dibandingkan dengan dinding geser dengan jarak tulangan vertikal 50 mm (spasi tulangan ditengah 65 mm) dan 40 mm (spasi tulangan ditengah 105 mm). Kekakuan dinding geser dengan jarak sengkang 40 mm (spasi tulangan ditengah 105 mm) lebih besar jika dibandingkan dengan dinding geser dengan jarak tulangan vertikal 50 mm (spasi tulangan ditengah 65 mm) dan 30 mm (spasi tulangan ditengah 165 mm).

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan dari penelitian terhadap pengaruh variasi jarak tulangan vertikal terhadap daktilitas dan kekakuan pada uji pembebanan siklik terdapat beberapa saran yang direkomendasikan untuk penelitian serupa berikutnya, yakni :

1. Perlunya pengontrolan dan pengawasan terhadap alat-alat pengujian sehingga selama praktikum tidak terjadi kerusakan yang bisa merugikan dari segi biaya maupun waktu.
2. Perlunya perencanaan secara matang-matang benda uji yang digunakan sehingga dapat mudah dioperasikan selama penelitian. Ukuran benda uji harus logis dengan jumlah peneliti serta kondisi frame baja dan alat pengujian.
3. Perlunya peninjauan secara khusus pada frame baja karena umur alat yang sudah lama sehingga bisa terjadi pelepasan pada beberapa bagian baja yang bisa menyebabkan perpindahan yang tak terduga pada beberapa sisi frame.
4. Perlunya ketelitian ketika melaksanakan pembuatan benda uji sehingga mutu yang ditargetkan bisa dicapai.
5. Perlunya stabilisasi pembebanan aksial pada spesimen benda uji sehingga keakuratan data dapat dipertahankan.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 318. 2002. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.
2. Badan Standarisasi Nasional. 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. SKSNI T-15-1991-03. Jakarta.
3. Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI-03-1726-2002. Jakarta.
4. Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. Jakarta.
5. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1979. *Peraturan Beto Bertulang Indonesia*. Jakarta: Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
6. Gere & Timoshenko. 1996. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
7. Muto, Kiyoshi. 1965. *Seismic Design analysis*. Shokoku: Shu
8. Nawy, Edward. 2010. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT.Refika Aditama
9. Pantazopoulou, S.J. dan Imran, I. 1992. *Slab-Wall Connections Under Lateral Forces*. ACI Structural Journal, V.89, No.5, pp. 515-527.
10. Park and Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons

11. Park. 1988. *Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing*. Japan: Ninth World Conference on Earthquake Engineering
12. Paulay dan Priestley. 1994. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Wiley Interscience.
13. Schueller, Wolfgang. 1989. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: PT.Bresco.
14. Shedid, MT. 2006. *Ductility of Reinforced Concrete Masonry Shear Wall*. Masterthesis, McMaster University. McMaster University: McMaster University Press.
15. Vaughan, TP. 2010. *Evaluation of masonry wall under cyclic loading*. MS Thesis, Washington: Departement of civil and Environmental Engineering.
16. Watanabe, K, Niwa, J, Yokota, H and Iwanami, M. 2004. *Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclic Loading*. Japan.
17. Wibowo, A., Wilson, J., Lam, N., & Gad, E. 2013. Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes. *Magazine Of Concrete Research*, 65(13), 809-828. <http://dx.doi.org/10.1680/mac.13.00021>
18. Wibowo, A., Wilson, J., Lam, N., Gad, E., Lu, Y., & Henry, R. 2014. Discussion: Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes. *Magazine Of Concrete Research*, 66(20), 1073-1074. <http://dx.doi.org/10.1680/mac.14.00049>
19. Wibowo, Ari. 2012. *Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Buildings*. PhD Thesis. Victoria : Swinburne University of Technology.
20. Wibowo, Ari. 2013. *Seismic Performance of Lightly Reinforced Structural Walls for Design Purposes*. ICE Megazine of Concrete Research. Australia: ICE Publishing.
21. Wilson, J., Wibowo, A., Lam, N., & Gad, E. 2015. Drift behaviour of lightly reinforced concrete columns and structural walls for seismic design applications. *Australian Journal Of Structural Engineering*, 16(1). <http://dx.doi.org/10.7158/s14-002.2015.16.1>

