

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Kekuatan Dinding Geser Teoritis

Dinding Geser yang digunakan pada saat pengujian terbentuk dari beton dengan bertulangan baja. Untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan dari bahan tersebut maka dilakukan analisis dari dua pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya, seperti:

- a. Uji Tekan Beton
- b. Uji Tarik Baja

#### 4.1.1 Beton

Beton yang digunakan direncanakan memiliki  $f'c$  20 Mpa pada saat berumur 28 hari. Perencanaan beton dilakukan melalui perhitungan atau mix design. Perbandingan yang didapat dari mix design ini adalah semen : agregat kasar : agregat halus : air sebesar 1 : 2,6 : 2,13 : 0,6.

Tabel 4.1 Perancangan *Concrete Mix Design*

NO	KETERANGAN	KETERANGAN	NILAI
1	Kuat tekan yang disyaratkan (28 HR, 5%)	SNI (rasio=1)	20 Mpa
2	Deviasi standar	SNI (Mutu Baik)	4,2
3	Nilai Tambah (Margin)	K=1,64	6,888 Mpa
4	Kuat tekan rata2 yg ditargetkan	(1)+(3)	26,888 MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Normal (tipe I)
6	Jenis Agregat Kasar	Ditetapkan	Batu Pecah
7	Jenis Agregat Halus	Ditetapkan	Pasir
8	Faktor Air semen Bebas	Tabel 2, Grafik ½	0,55
9	Faktor air semen Maksimum	Ditetapkan	0,6
10	Slump	Ditetapkan	60 – 180 mm
11	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	20 mm
12	Kadar Air Bebas	Tabel 6	225 Kg/m3
13	Jumlah semen	(11) : (8)	375 Kg/m3
14	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	-
15	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	275 Kg/m3
16	FAS yg disesuaikan	-	-
17	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 – 6	Zona 1
18	Persen agregat halus	Grafik 13 – 15	45%
19	Berat Jenis Relatif Agregat (SSD)	Diketahui	2,7 Kg/m3
20	Berat isi beton	Grafik 16	2375 Kg/m3
21	Kadar agregat gabungan	(19)-(11)-(12)	1775,000 Kg/m3
22	Kadar agregat halus	(17)*(20)	798,750 Kg/m3
23	Kadar agregat kasar	(20)-(21)	976,250 Kg/m3

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan di Laboratorium.



Untuk membuat satu benda uji memerlukan pengecoran sebanyak tiga kali dengan menggunakan *concrete mixer*. Untuk itu tiap benda uji diambil tiga buah contoh atau *sample* yang berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Karena pengujian beban siklik dilakukan pada saat benda uji telah berumur lebih dari 28 hari maka hasil dari uji kuat tekan beton dikonverikan menjadi beton yang telah berumur 28 hari.

Tabel 4.2 Perancangan *mix design* silinder

Bahan yang digunakan	Semen (Kg)	Air (Kg/lt)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5 kg (Teoritis)	375	225	798,750	976,250
Tiap campuran uji 0,198 m <sup>3</sup>	5,97	3,58	12,71	15,53
Tiap m <sup>3</sup> dg ketelitian 5kg (Aktual)	375	225	798,750	976,250
Tiap campuran uji 0,198 m <sup>3</sup>	15,60	9,36	33,23	40,61
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,60	2,13	2,60
Proporsi (Aktual)	1	0,60	2,13	2,60

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan di Laboratorium



Gambar 4.1 Proses Pembuatan Benda Uji Silinder

Sumber: Foto pada saat pembuatan di Laboratorium

Tabel 4.3 Perancangan *mix design* dinding geser

Bahan yang digunakan	Dinding Geser			
	Semen (Kg)	Air (Kg/lt)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)
Tiap m3 dg ketelitian 5 kg (Teoritis)	375	225	798,750	976,250
Tiap campuran uji 0,198 m3	15,60	9,36	33,23	40,61
Tiap m3 dg ketelitian 5kg (Aktual)	375	225	798,750	976,250
Tiap campuran uji 0,053 m3	15,60	9,36	33,23	40,61
Proporsi (Teoritis) (1/3)	1	0,60	2,13	2,60
Proporsi (Aktual)	1	0,60	2,13	2,60

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan di Laboratorium



(a)



(b)

Gambar 4.2 Proses Pembuatan Dinding Geser (a) Sebelum dicor (b) setelah dicor

Sumber: Foto pada saat pembuatan di Laboratorium

Tabel 4.4 Jumlah agregat pembuatan sekali molen

Dinding Geser + Silinder + Pondasi				
Semen (Kg)	Air (Kg/lt)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Total sekali Adukan Molen
74,07	44,44	157,76	192,82	469,1

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.5 Mutu Beton Benda Uji Bagian Dinding Geser

Tanpa Variasi

BENDA UJI	Slump (cm)	UMUR pengujian (hari)	Berat (kg)	Beban (kN)	Mutu Beton f'c 28 HARI (MPa)
SW50	9,5	28	12,4	194	11,20
	19		12,3	291	16,79
	17		12,4	209	12,06

Dengan Variasi Tulangan Horizontal *Double*.

BENDA UJI	Slump (cm)	UMUR pengujian (hari)	Berat (kg)	Beban (kN)	Mutu Beton f'c 28 HARI (MPa)
SD-300	12	28	12,2	466	16,51
	14,5		12,25	464	26,78
	11		12,55	342	19,74
SD-150	15	28	12,35	281	16,22
	17		12,55	293	26,89
	18		12,2	286	16,91

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Nilai mutu beton untuk dinding geser didapatkan dengan mengambil rata-rata sampel dari benda uji. Diperoleh hasil rata-rata mutu beton (f'c) sebesar 20 Mpa untuk benda uji SD-150 dan 21 Mpa untuk benda uji SD-300.

Berdasarkan tabel tersebut diketahui pula nilai slump berkisar antara 9,5-18 cm untuk variabel semua variasi tulangan. Nilai tersebut tidak dalam cakupan (masih dalam cakupan/ tidak) dalam nilai standar berdasarkan PBI 1971 untuk struktur pondasi dan dinding seperti yang tertera pada tabel 4.3 berikut.

**Tabel 1.6 Nilai Standar Slump**

	Maks	Min
Dinding		
Pelat Pondasi	12.5	5
Pondasi Telapak Bertulang		
Pondasi Telapak Tidak Bertulang		
Kaison	9	2.5
Konstruksi di bawah tanah		
Pelat Balok Kolom	15	7.5
Dinding		
Pengerasan Jalan	7.5	5
Pembetonan masal	7.5	2.5

Sumber : PBI 1971

#### 4.1.2 Baja

Baja digunakan sebagai tulangan pada benda uji. Baja yang digunakan adalah baja polos Ø8. Untuk mengetahui tegangan leleh ( $f_y$ ) pada tiap tulangan baja adalah dengan cara melakukan uji tarik pada tiap tulangan baja. Dilakukan uji tarik pada tulangan penyusun dinding geser, yaitu tulangan dengan diameter Ø8. Tulangan diameter Ø8 diambil 3 sample dari batang tulangan yang berbeda untuk diperoleh rata-rata tegangan leleh ( $f_y$ ) yang digunakan pada benda uji dinding geser. Setiap sample uji tarik dipotong sepanjang 20 cm ( untuk memenuhi  $20x d \geq 20\text{cm}$ ).



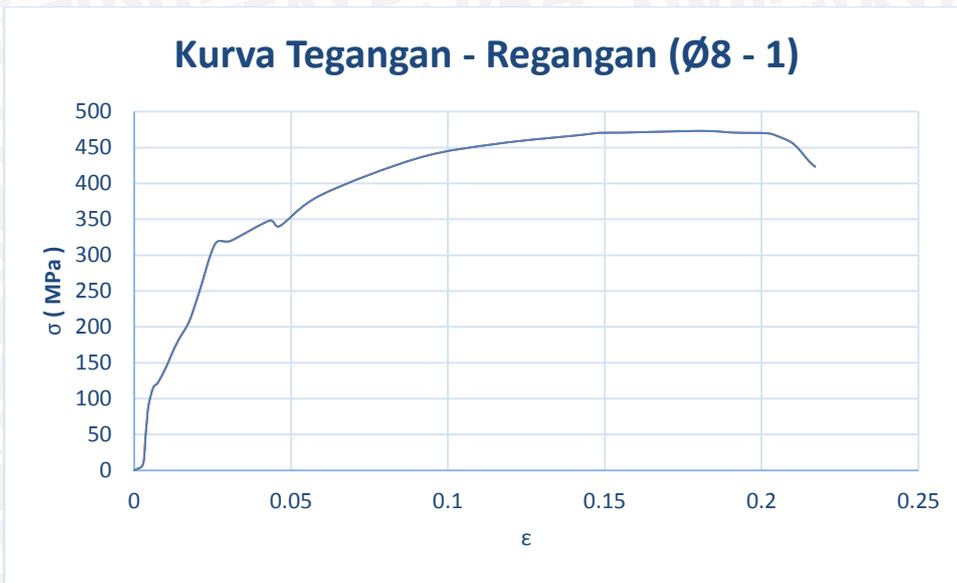
Gambar 4.3 Pengujian Tarik Tulangan Baja

Tabel 4.7 Tegangan Leleh Tulangan Dinding Geser

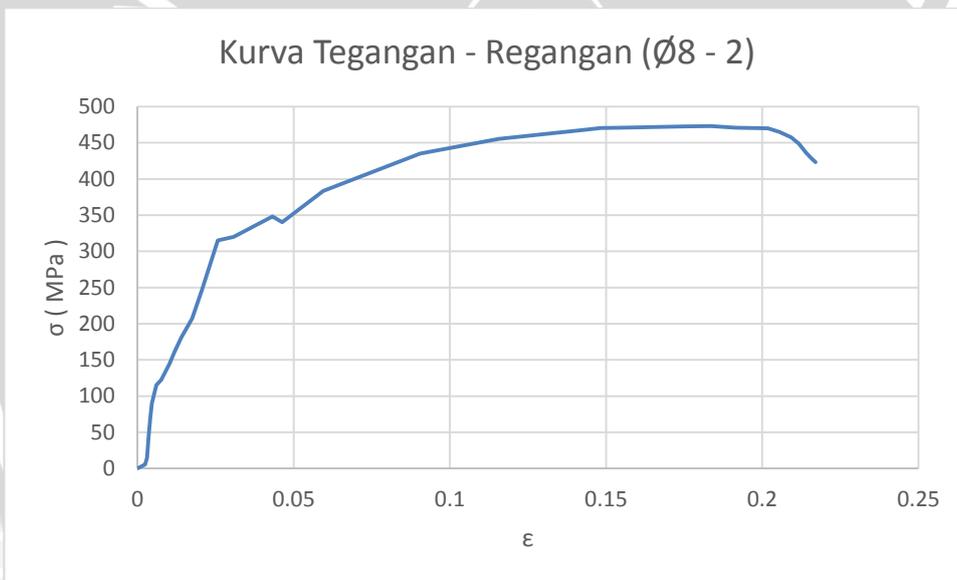
No.	Diameter	Diameter	A	P	Fy
Tulangan	(mm)	Aktual (mm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )	(N)	(Mpa)
1	8	7,88	48,769	16406	336.57
2	8	7,88	48,769	19660	403.33
3	8	7,88	48,769	19335	396.66
				<b>f<sub>y</sub></b>	<b>378,86</b>

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

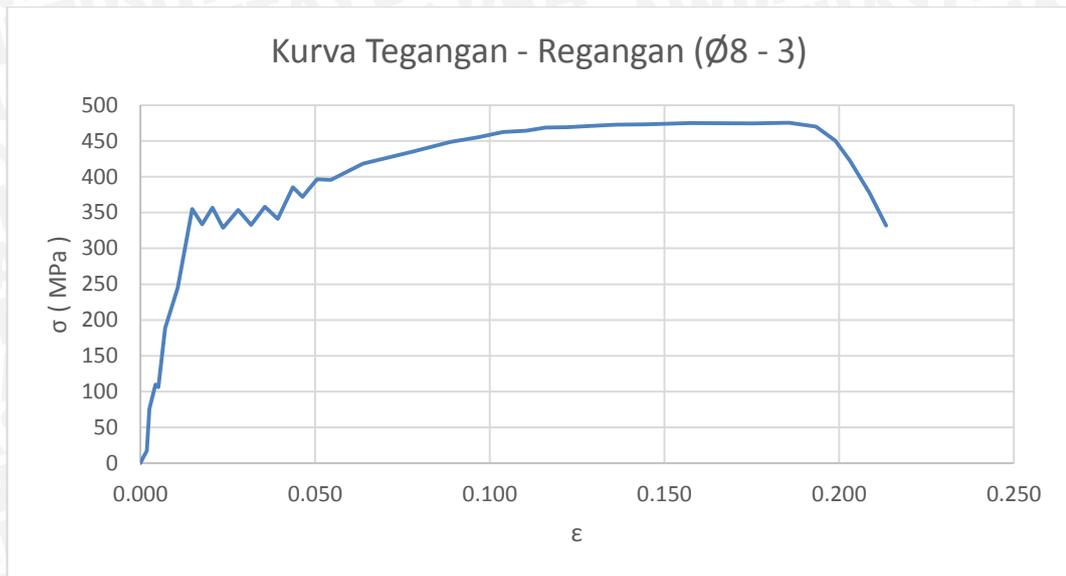
Tegangan leleh tulangan Ø8 didapatkan dengan cara merata-rata kan nilai tegangan leleh dari setiap sampel tulangan. Dari hasil rata-rata ini, didapatkan tegangan leleh ( $f_y$ ) tulangan Ø8 sebesar 378,86 Mpa.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Kurva tegangan-regangan (a) Tulangan 1 (b) Tulangan 2 (c) Tulangan 3

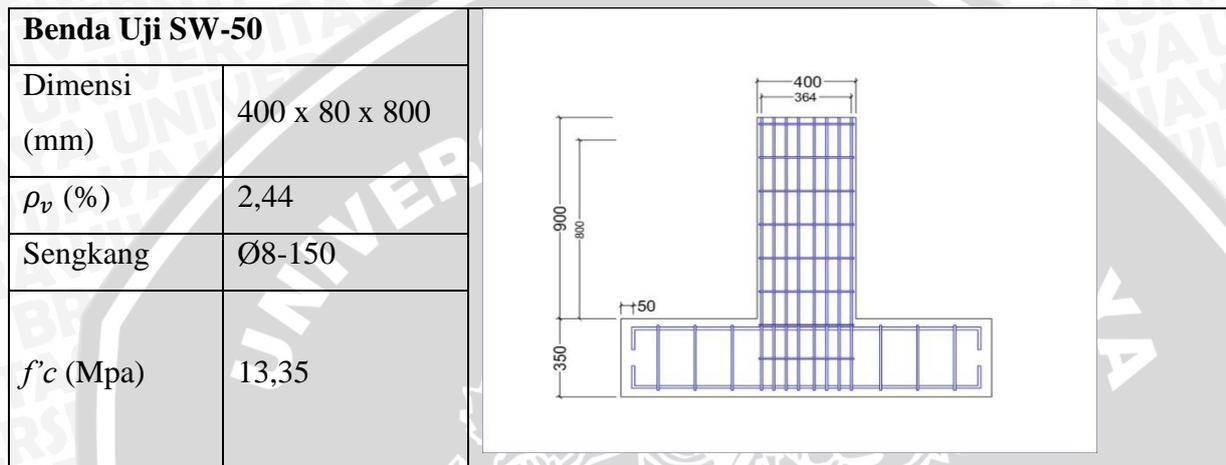
## 4.2 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik

Pengujian Beban lateral siklik ini dilakukan pada saat usia beton telah mencapai lebih dari 28 hari. *Displacement control* pada pengujian ini didapat dalam beberapa siklus dengan menaikkan drift sebesar 0.25% sampai drift 2.5%, setelah itu dilanjutkan dengan menaikkan drift sebesar 0.5% hingga menaikkan drift mencapai 5%.

Karena loadcell yang dipakai pada saat pengujian 5 ton dan 10 ton, maka apabila beban pada loadcell 5 ton sudah mencapai batas, dinding hanya dibebani pada salah satu sisi dengan loadcell 10 ton. Pada setiap analisis nantinya hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan hasil kurva positif lainnya, begitu juga dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah perpindahan yang terjadi dan beban lateral yang dialami oleh dinding geser uji.

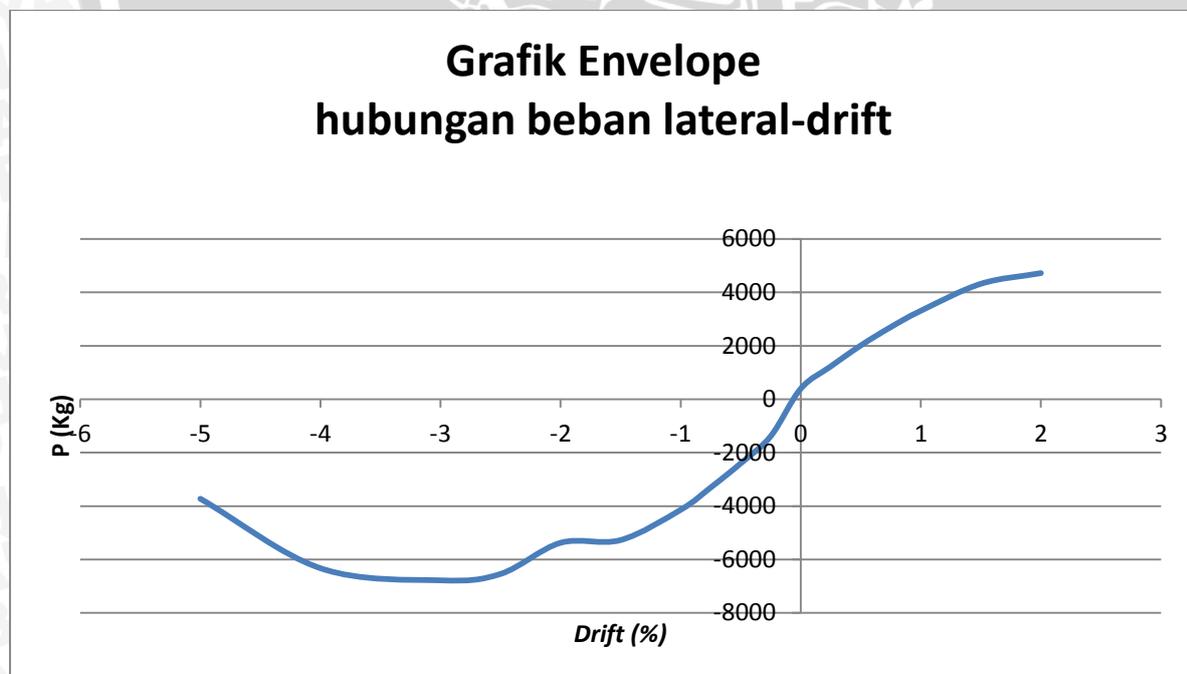
#### 4.2.1 Benda Uji SW-50

Benda uji SW-50 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,51% tanpa adanya variasi. Spesifikasi dinding geser secara detail seperti pada tabel. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 5%. Pada *drift* 5% ini, benda uji telah mengalami penurunan beban. Hasil pengujian semi siklik benda uji SW-50 ditunjukkan dengan grafik envelope pada gambar dan momen kapasitas ditunjukkan pada tabel. Sedangkan untuk tahapan retak yang terjadi ditunjukkan pada gambar.



Gambar 4.5 Benda Uji SW-50

Sumber : Data Pengujian



Gambar 4.6 Envelope P- Drift Spesimen SW-50

Tabel 4.8 Kapasitas Benda Uji SW-50

Data	Arah	Mu (kg.m)	Pu (kg)
Aktual	(+)	-	-
	(-)	5424	6780
Teoritis	(+)	4350,674	5438,343
	(-)	4350,674	5438,343

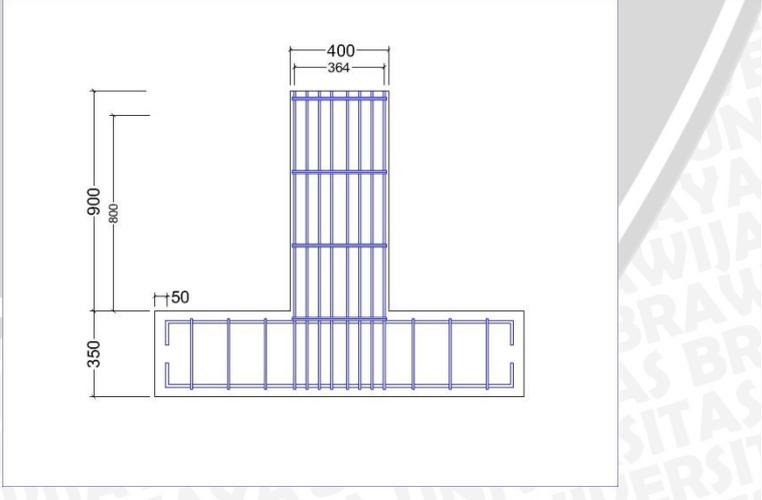
Sumber: Hasil Perhitungan dan Pengujian

- Tahap Beban Puncak

Beban lateral maksimum terjadi sebesar -6780 kg pada *drift* -3%. Beban puncak hanya dari satu sisi karena kondisi alat yang tidak memadai untuk lebih dari 5 ton.

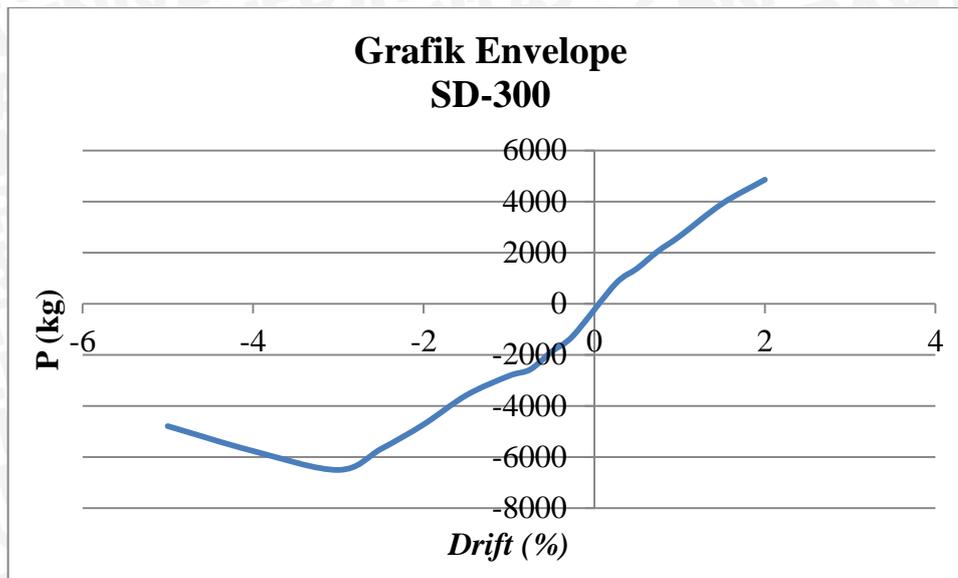
#### 4.2.2 Benda Uji SD-300

Benda uji SD-300 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,51% dengan variasi tulangan horisontal yang dipasang double dengan jarak 300 mm. Spesifikasi dinding geser secara detail seperti pada tabel. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 5%. Pada *drift* 5% ini, benda uji telah mengalami penurunan beban. Hasil pengujian semi siklik benda uji SD-300 ditunjukkan dengan grafik envelope pada gambar dan momen kapasitas ditunjukkan pada tabel. Sedangkan untuk tahapan retak yang terjadi ditunjukkan pada gambar.

Benda Uji SD-300		
Dimensi (mm)	400 x 80 x 800	
$\rho_v$ (%)	2,44	
Sengkang	2 Ø8-300	
$f'_c$ (Mpa)	21,01	

Gambar 4.7 Benda Uji SD-300

Sumber : Data Pengujian



Gambar 4.8 Envelope P- Drift Spesimen SD-300

Sumber: Data Pengujian

Tabel 4.9 Kapasitas Benda Uji SD-300

Data	Arah	Mu (kg.m)	Pu (kg)
Aktual	(+)	-	-
	(-)	5200,8	6501
Teoritis	(+)	4743,2811	5929,1014
	(-)	4743,2811	5929,1014

Sumber: Hasil Perhitungan dan Pengujian

- Tahap Beban Puncak

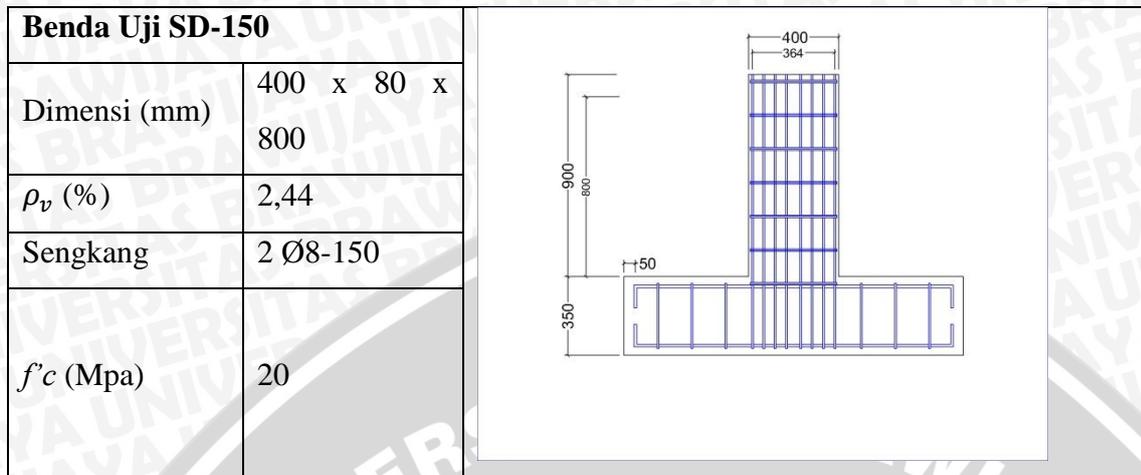
Beban lateral maksimum terjadi sebesar -6501 kg pada *drift* -3% beban puncak hanya dari satu sisi karena kondisi alat yang tidak memadai untuk lebih dari 5 ton.

#### 4.2.3 Benda Uji SD-150

Benda uji SD-150 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,44% dengan variasi tulangan horisontal yang dipasang dobel dengan jarak 150 mm. Spesifikasi dinding geser secara detail seperti pada tabel. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 6%. Pada *drift* 5% ini, benda uji telah mengalami penurunan beban. Hasil pengujian semi siklik benda uji SD-150 ditunjukkan dengan grafik

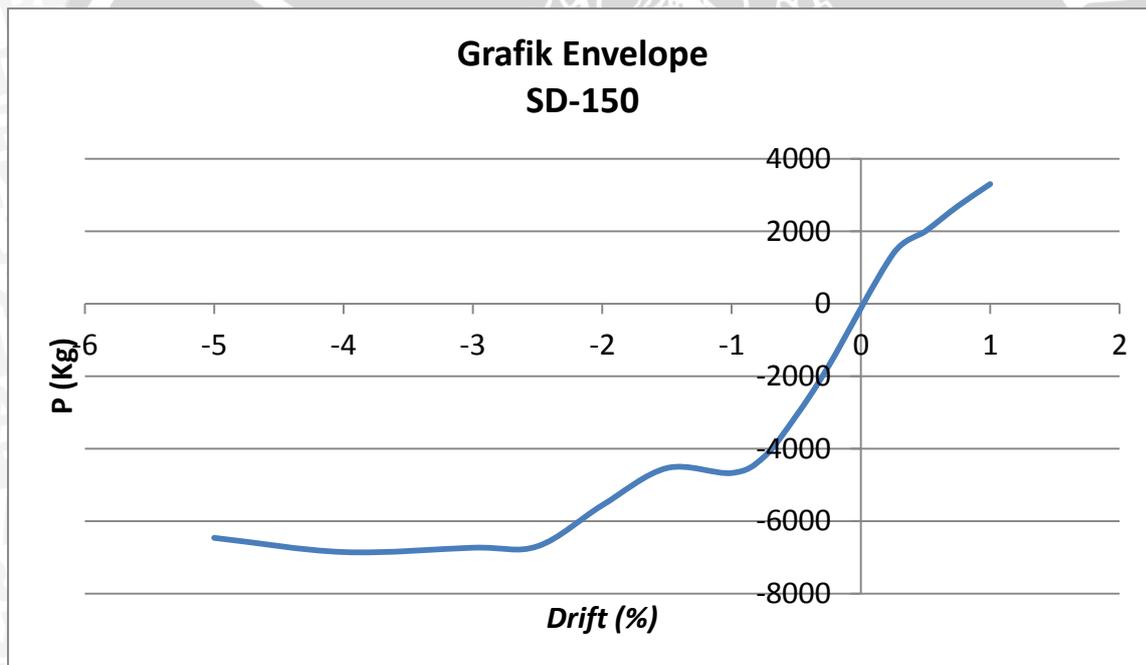


envelope pada gambar dan momen kapasitas ditunjukkan pada tabel. Sedangkan untuk tahapan retak yang terjadi ditunjukkan pada gambar.



Gambar 4.9 Benda Uji SD-150

Sumber : Data Pengujian



Gambar 4.10 Envelope P- Drift Spesimen SD-150

Sumber: Data Pengujian

Tabel 4.10 Kapasitas Benda Uji SD-150

Data	Arah	Mu (kg.m)	Pu (kg)
Aktual	(+)	-	-
	(-)	5664	7080
Teoritis	(+)	4696,4849	5870,6061
	(-)	4696,4849	5870,6061

Sumber: Hasil Perhitungan dan Pengujian

- Tahap Beban Puncak

Beban lateral maksimum terjadi sebesar -7080 kg pada *drift* -4% beban puncak hanya dari satu sisi karena kondisi alat yang tidak memadai untuk lebih dari 5 ton.

### 4.3 Perbandingan Antar Benda Uji

#### 4.3.1 Kekuatan Dinding Geser Teoritis

Perhitungan kekuatan dinding geser secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai beban lateral maksimum ( $P_h$  Maksimum), dan juga momen nominal ( $M_n$ ).

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Dinding geser Teoritis

Dinding Geser	0.05 Pno (kNm)	Ph Maksimum (kNm)	Mn (kNm)
SW-50	30	54,38342728	43.5067
SD-150	30	58,70606134	46,9648
SD-300	30	59,29101432	47,4328

Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dilihat dari tabel diatas dapat dilihat jika momen nominal yang paling besar secara berturut-turut adalah benda uji SD-300 (47,4328kNm), SD-150 (46,9648kNm), dan SW-50 (43.5067kNm).

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik

Pengujian beban lateral dilakukan saat usia benda uji telah mencapai > 28 hari. Data yang didapatkan dari pengujian siklik berupa data beban lateral lateral yang terjadi saat nilai perpindahan total yang telah ditentukan setiap siklusnya tercapai. Penggunaan *displacement*

*control* pada pengujian ini membagi pengujian dalam beberapa siklus dengan kenaikan drift sebesar 0,25% sampai drift mencapai 1% dan dilanjutkan dengan kenaikan drift 0,5 % hingga spesimen mengalami keruntuhan beban lateral.

Untuk satu siklus pengujian dilakukan sekali pengulangan beban, sehingga didapatkan dua data beban untuk perpindahan yang sama. Analisis hubungan beban-perpindahan untuk kurva positif dilakukan dengan merata-rata hasil setiap siklus yang sama, begitu juga dengan kurva negatif. Sehingga, kurva positif dan negatif memiliki bentuk yang tidak harus sama, nantinya hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan hasil kurva positif lainnya, sama halnya dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya.

Pada pengujian setiap spesimen dinding geser didapatkan hasil yang sangat signifikan pada kurva negatif dan positif. Kurva positif menunjukkan perpindahan yang lebih pendek dari kurva negatif. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat sensor pembaca beban yang hanya memiliki kapasitas 5 ton saja sementara sensor untuk membaca beban arah negatif memiliki kapasitas 10 ton. Sehingga ketika pembacaan beban sudah mendekati 5 ton maka pengujian searah positif dihentikan dan hanya dilakukan pengujian searah positif. Hal ini akan mempengaruhi pada analisis data dan kesimpulan dari penelitian. Dimana kurva yang didapatkan dari hasil pengujian tidak akan dapat digunakan sepenuhnya karena tidak menunjukkan nilai perpindahan saat beban maksimum maupun kondisi saat sudah terjadi penurunan. Dua kondisi tersebut sangat penting untuk menentukan daktilitas dan kekakuan dari dinding geser. Maka dari itu hanya digunakan analisis data dari kurva negatif yang memuat informasi perpindahan saat kondisi beban maksimum dan sesudah terjadi penurunan kekuatan.

#### **4.3.3 Analisis Beban Lateral Maksimum**

Beban lateral maksimum merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam perhitungan daktilitas perpindahan serta kekakuan. Pada perhitungan daktilitas perpindahan seperti perpindahan saat leleh dan perpindahan saat ultimit sangat berkaitan dengan beban lateral maksimum. Pada perhitungan kekakuan, nilai beban lateral maksimum digunakan dalam penentuan kemiringan garis antara hubungan beban dan perpindahan dalam metode

secant. Oleh karena itu perlu adanya kontrol terhadap nilai beban lateral maksimum yang terjadi saat pengujian. Berikut ini merupakan data beban lateral maksimum yang didapatkan dari hasil eksperimen pada masing-masing spesimen.

Tabel 4.12 beban lateral maksimum

Kolom	Pmaks (kg)		Selisih (%)
	Eksperimen	Teoritis	
SW-50	6780	5438	24,67819
SD-150	7080	5870,6	20,60096
SD-300	6501	5929,1	9,645646

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel tersebut dapat dilihat adanya perbedaan yang cukup besar antara teoritis dan eksperimen. Hasil pengujian ini digunakan pada perhitungan daktilitas dan kekakuan eksperimen.

Dilihat dari tabel diatas, beban maksimum yang dapat ditahan oleh SW-50 adalah 6780 kg, SD-150 sebesar 7080 kg, dan SD-300 sebesar 6501 kg. Dilihat dari tabel, terdapat selisih yang cukup besar yang mencapai 20%. Hal ini terjadi karena adanya pembebanan yang tidak konstan dan juga adanya perpindahan pada frame saat pengujian. Dari tabel ini dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin rapat jarak antara tulangan longitudinal dan juga semakin banyak jumlah sengkang maka dapat meningkatkan kapasitas beban lateral dari benda uji. Akan tetapi pada pengujian ini mutu beton berbeda.

#### 4.3.4 Analisis Daktilitas Perpindahan

Perpindahan daktilitas atau *displacement ductility* didapat dari grafik hubungan antara beban lateral dengan *displacement*. *Displacement ductility* atau Perpindahan daktilitas didapatkan dari pembagian antara perpindahan saat ultimit dengan perpindahan saat leleh. Berikut adalah tabel perhitungan daktilitas pada masing-masing benda uji.

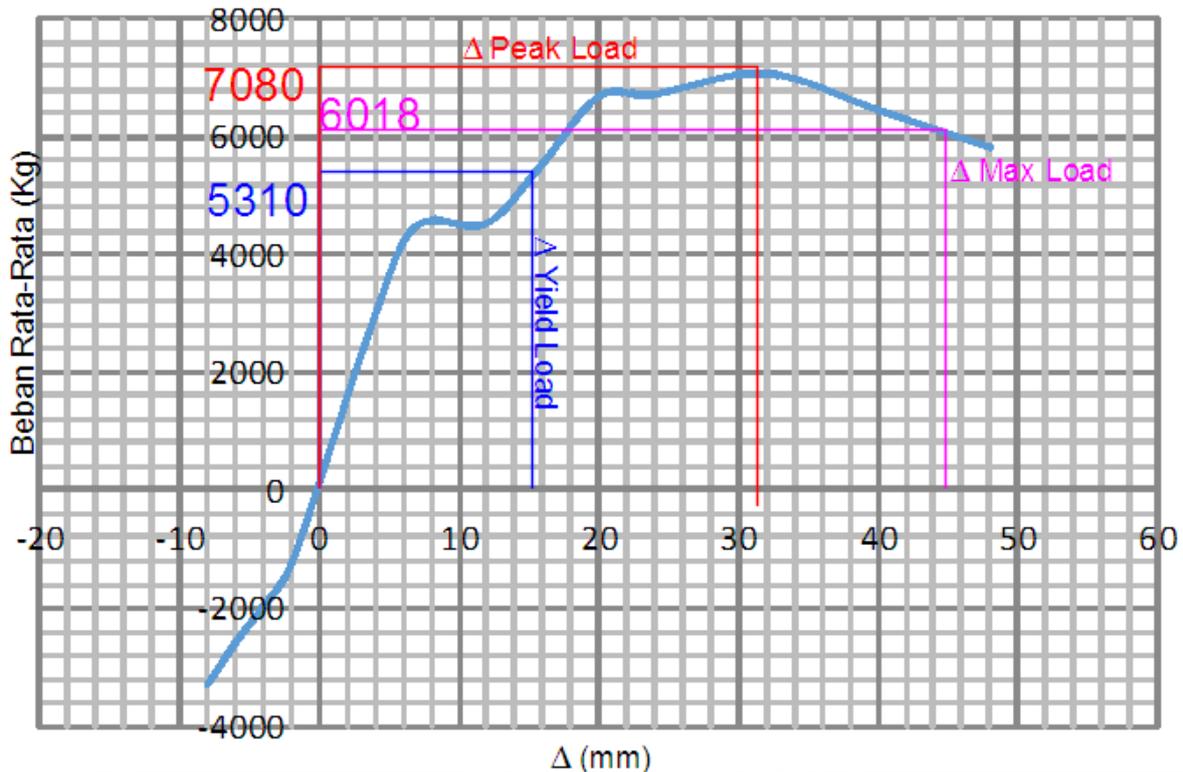
Tabel 4.13 Perpindahan Tiap Spesimen

Kolom	$\Delta_U$ (mm)	$\Delta_Y$ (mm)	$\mu_\Delta$ (mm)
SD-150	44.4317	15.14755	2.9333
SD-300	34.3091	17.65382	1.9434
SW-50	34.29	11.3166	3.03006

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

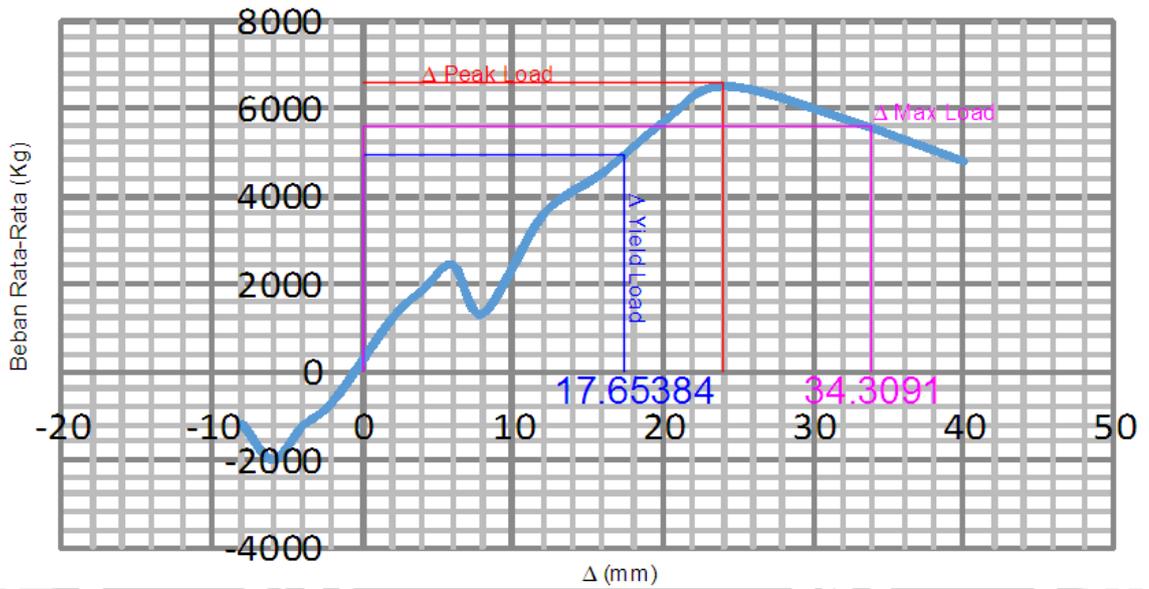
Berdasarkan hasil perhitungan daktilitas perpindahan di atas, dinding geser dengan variasi sengkang (SD-150 dan SD-300) mendapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan dinding geser tanpa variasi (SW-50).

Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin rapat jarak antara tulangan longitudinal (vertikal) dan transversal (horizontal) akan mengakibatkan daktilitas benda uji berkurang tetapi kekuatannya bertambah.



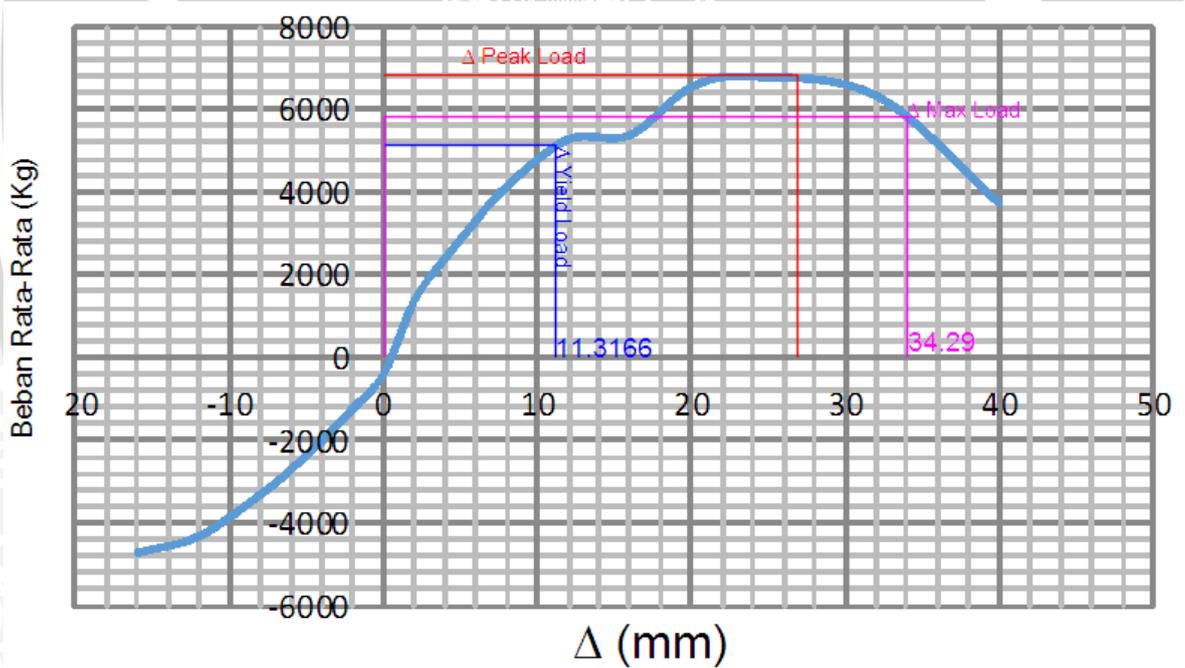
Gambar 4.11 Perpindahan saat leleh SD-150

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar4.12 Perpindahan saat leleh SD-300

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.13 Perpindahan saat leleh SW-50

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

#### 4.3.5 Analisis Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpindahan kolom. Kekakuan juga didefinisikan suatu kemampuan benda untuk tetap mempertahankan posisi dan bentuknya. Rumus umum kekakuan adalah:

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

P = Beban yang terjadi (kg)

$\Delta$  = Deformasi searah beban (mm)

k = Kekakuan struktur (kg/mm)

Pada penelitian ini dilakukan analisis kekakuan dengan metode *secant stiffness*. Metode ini dipilih karena lebih realistis dengan pengujian yaitu dikarenakan metode ini mengambil lebih dari satu kali titik leleh. Hal ini sangat cocok sekali pada pengujian kolom dan dinding geser.

#### 4.3.6 Metode *Secant Stiffness*

Metode *secant stiffness* merupakan suatu perbandingan antara penambahan beban dengan perpindahan disaat leleh. Metode ini digunakan untuk mendekati perilaku leleh yang lebih dekat dengan keadaan yang terjadi pada saat pengujian di lapangan. Karena untuk benda uji dinding geser, titik leleh yang digunakan adalah nilai rata-rata dari beberapa titik.

Tabel 4.14 hasil perhitungan *secant stiffness*.

Dinding Geser	Beban Puncak (Kg)	Perpindahan (mm)	K (Kg/mm)
SD-150	7080	20.1318	351.6809
SD-300	6501	22.9661	283.0688
SW-50	6780	15.0888	449.3396

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel diatas dapat dilihat jika SW-50 memiliki kekakuan yang lebih besar, kemudian SD-150, dan yang terakhir SD-300. Dilihat dari tabel ini dapat ditarik kesimpulan bahwa benda uji yang memiliki tulangan longitudinal (vertikal) dan tulangan horizontal (sejang) yang lebih rapat akan menghasilkan kekakuan yang lebih besar. Pada dinding geser ini, sejang berfungsi sebagai pengekang antar tulangan vertikal. Sedangkan kontribusi yang lebih besar dalam meningkatkan kekakuan struktur adalah tulangan vertikal.

