



**PENGARUH ASPEK RASIO ( $H_w/L_w$ ) TERHADAP DAKTILITAS DAN  
KEKAKUAN PADA DINDING GESER BERTULANGAN  
HORIZONTAL BERJARAK LEBAR DI BAWAH  
PEMBEBANAN SIKLIK (QUASI-STATIS)**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**LOUCE PATRICIA**

**NIM. 135060100111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**



## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH ASPEK RASIO ( $H_w/L_w$ ) TERHADAP DAKTILITAS DAN KEKAKUAN PADA DINDING GESER BERTULANGAN HORIZONTAL BERJARAK LEBAR DI BAWAH PEMBEBANAN SIKLIK (QUASI-STATIS)

#### SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**LOUCE PATRICIA**

**NIM. 135060100111002**

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 24 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19740619 200012 1 002

Ir. Sugeng P. Budio, M.S.  
NIP. 19610125 198601 1 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi W., S.T., M.Eng (Prac)  
NIP. 19810220 200604 1 002





## HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Pengaruh Aspek Rasio ( $H_w/L_w$ ) terhadap Daktilitas dan Kekakuan pada Dinding Geser

Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Statik)

Nama Mahasiswa : Louce Patricia

NIM : 135060100111002

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Ir. Sugeng P. Budio, M.S.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng. Desy S., S.T., M.T., M.Sc

Tanggal Ujian : 21 Juli 2017

SK Penguji : 840/UN 10. F07/SK/2017



## **PERNYATAAN 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 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 terkuip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

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

Malang, Juli 2017

Louce Patricia

NIM. 135060100111002



## RIWAYAT HIDUP

Louche Patricia, lahir di Malang, 4 Juni 1995, anak keempat dari Bapak Liem Wan Tien dan Ibu Njoo Kiem Siu. Mulai memasuki bangku sekolah di SD Katolik Santo Yusup 1 Malang sejak tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Katolik Santa Maria 1 Malang dan lulus pada tahun 2010. Selanjutnya, melanjutkan pendidikan di SMA Katolik Kolese Santo Yusup Malang dan lulus pada tahun 2013. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2017 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Juli 2017

Penulis





## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan hikmat yang telah diberikan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Aspek Rasio ( $H_w/L_w$ ) terhadap Daktilitas dan Kekakuan pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Static)”** sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi strata satu di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Di balik itu semua, penulis juga menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu. Oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah menjaga dan memberkati saya selama hidup saya.
2. Keluarga penulis, Ayah dan Ibu serta Saudara-Saudara yang tanpa henti memberikan dukungan secara emosi maupun materi.
3. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, M.S. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan Bapak Dr. Eng. Indradi W., S.T., M.Eng. (Prac) selaku Ketua Prodi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah mendukung skripsi ini.
4. Bapak Ari Wibowo S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan petunjuk dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini
5. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, M.S. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan petunjuk dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Ibu dosen Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah mengajar dan memberikan banyak saran selama masa perkuliahan
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, M.S. selaku kepala laboratorium serta Pak Sugeng, Pak Hadi, dan Mas Dino selaku Laboran yang telah membantu penelitian penulis di Laboratorium Struktur.
8. Ayu S., Nida, Ayu F., dan Vivi yang telah membantu selama penelitian dan pembuatan skripsi ini.
9. Kesepuluh teman-teman yang tergabung dalam grup “EZ”, yaitu Hanna, Ayu, Yiyin, Gunawan, Dewa, Erick, Bondan, Fachreza, Emil, dan Iqbal, yang turut memberikan dukungan selama masa perkuliahan serta membantu selama masa penelitian dan pembuatan skripsi ini.



10. Pengurus Komisi Pemuda GKT III Malang Periode 2015-2017 dan teman-teman dari

JOY Community yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam perkuliahan dan pelayanan.

11. Seluruh sipil angkatan 2013 yang turut memberi dukungan selama masa perkuliahan dan

penelitian.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, penulis harapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk hasil yang lebih baik ke depannya. Penulis berharap skripsi ini nantinya dapat bermanfaat bagi semua pihak di masa sekarang maupun masa yang akan datang.

Malang, 14 Juli 2017

Penulis



**DAFTAR ISI****Halaman**

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Dinding Geser .....	5
2.1.1 Pengertian Dinding Geser .....	5
2.1.2 Jenis Dinding Geser .....	5
2.1.3 Parameter yang Mempengaruhi Dinding Geser .....	7
2.2 Beban Siklik .....	11
2.3 Komponen Perpindahan Lateral .....	13
2.3.1 Perpindahan Lentur .....	13
2.3.2 Perpindahan Penetrasi Leleh .....	14
2.3.3 Perpindahan Geser .....	15
2.4 Daktilitas .....	16
2.5 Kekakuan .....	19
2.6 Pola Keruntuhan Dinding Geser .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	23
3.2 Alat dan Bahan .....	23
3.3 Tahapan Penelitian .....	25
3.4 Rancangan Penelitian .....	26



3.4.1 Campuran Beton .....	26
3.4.2 Jumlah Benda Uji .....	26
3.5 Prosedur Penelitian.....	27
3.5.1 Persiapan.....	27
3.5.2 <i>Setting Up</i> .....	27
3.5.3 Beban Rencana .....	29
3.5.4 Pelaksanaan Pengujian Siklik.....	29
3.6 Variabel Penelitian.....	30
3.7 Data Pengamatan.....	30
3.8 Analisis Hasil .....	31
3.9 Hipotesis Penelitian.....	34
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	35
4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Dinding Geser .....	35
4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Beton .....	35
4.1.2 Pengujian Tarik Baja Tulangan .....	36
4.2 Kapasitas Teoritis Dinding Geser .....	37
4.2.1 Diagram Interaksi .....	37
4.2.2 Momen Kurvatur .....	39
4.3 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik .....	43
4.3.1 Benda Uji SW-50.....	43
4.3.2 Benda Uji SD-300.....	45
4.3.3 Kekuatan Lateral Dinding Geser .....	46
4.3.4 Analisis Perpindahan Saat Leleh .....	47
4.4 Analisis Daktilitas Perpindahan .....	48
4.5 Analisis Kekakuan .....	51
4.5.1 Kekakuan Tangensial.....	51
4.5.2 Kekakuan <i>Secant</i> .....	52
4.6 Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Daktilitas dan Kekakuan.....	53
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	57
5.1 Kesimpulan .....	57
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	





## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Spesifikasi Benda Uji Dinding Geser .....	26
Tabel 3.2	<i>Form</i> Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi .....	32
Tabel 3.3	<i>Form</i> Data Hasil Pengamatan Pola Retak.....	33
Tabel 4.1	Hasil <i>Hammer Test</i> .....	36
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan .....	36
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Teoritis Dinding Geser dengan Diagram Interaksi .....	38
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Momen-Kurvatur.....	41
Tabel 4.5	Perpindahan dan Beban Lateral yang Terjadi Berdasarkan Hubungan Momen dengan Kurvatur.....	41
Tabel 4.6	Beban Lateral Maksimum Benda Uji SW-50-1,5 pada Setiap <i>Drift</i> .....	43
Tabel 4.7	Beban Lateral Maksimum Benda Uji SD-300-1,5 pada Setiap <i>Drift</i> .....	45
Tabel 4.8	Perbandingan Nilai Beban Lateral Maksimum Hasil Eksperimen dengan Hasil Analisis Diagram Interaksi .....	46
Tabel 4.9	Perbandingan Nilai Beban Lateral Maksimum Hasil Eksperimen dengan Hasil Analisis Momen-Kurvatur.....	47
Tabel 4.10	Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan Benda Uji SW-50-1,5 Teoritis dan Eksperimental .....	49
Tabel 4.11	Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan Benda Uji SD-300-1,5 Teoritis dan Eksperimental.....	50
Tabel 4.12	Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan SW-50-1,5 dengan SD-300-1,5 Hasil Eksperimen .....	50
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan <i>Tangential Stiffness</i> .....	51
Tabel 4.14	Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Tangential Stiffness</i> Teoritis dan Eksperimental .....	52
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan <i>Secant Stiffness</i> .....	52
Tabel 4.16	Perbandingan Hasil Perhitungan <i>Secant Stiffness</i> Teoritis dan Eksperimental .....	53
Tabel 4.17	Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji Rasio 1,5 dengan Rasio 2.....	53
Tabel 4.18	Perbandingan Nilai Kekakuan SW-50 Rasio 1,5 dengan Rasio 2 .....	53
Tabel 4.19	Perbandingan Nilai Kekakuan SD-300 Rasio 1,5 dengan Rasio 2 .....	54





## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis Dinding Geser Berdasarkan Geometrinya .....	6
Gambar 2.2	<i>Coupled Shear Wall</i> .....	7
Gambar 2.3	Distribusi Tulangan Vertikal dan Horizontal pada Dinding Geser.....	9
Gambar 2.4	Kurva Eksperimental dan Model yang Diusulkan dari <i>Hysteresis Loop</i> untuk <i>Failure Zone</i> .....	12
Gambar 2.5	Perpindahan Lentur .....	13
Gambar 2.6	Mekanisme Perpindahan Gelincir.....	14
Gambar 2.7	Perpindahan Geser Elastis.....	15
Gambar 2.8	Deformasi Geser dari Beton Bertulang Menggunakan Model Rangka .....	16
Gambar 2.9	Daktilitas Kurvatur.....	18
Gambar 2.10	Grafik Hubungan Beban dengan Perpindahan.....	18
Gambar 2.11	Pola Keruntuhan Dinding Geser .....	21
Gambar 2.12	Perkembangan Mekanisme <i>Sliding Shear</i> .....	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3.2	Tampak Atas (a) Benda Uji SW-50-1,5; (b) Benda Uji SD-300-1,5.....	26
Gambar 3.3	Potongan Memanjang Dinding Geser (a) Benda Uji SW-50-1,5; (b) Benda Uji SD-300-1,5.....	27
Gambar 3.4	Skema Pengujian Semi Siklik (a) Tampak Atas ; (b) Tampak Depan.....	28
Gambar 3.5	Siklus Pembebanan Lateral Berdasarkan <i>Drift</i> .....	29
Gambar 3.6	Hubungan Beban ( $P$ ) dengan Deformasi atau Perpindahan ( $\Delta$ ).....	33
Gambar 4.1	<i>Hammer Test</i> .....	35
Gambar 4.2	Diagram Interaksi SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 .....	38
Gambar 4.3	Grafik Momen-Kurvatur Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 .....	39
Gambar 4.4	Hubungan Beban Lateral dengan Perpindahan Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 .....	42
Gambar 4.5	Grafik Histeresis <i>Drift</i> -Beban Lateral Benda Uji SW-50-1,5.....	44
Gambar 4.6	Grafik <i>Envelope Drift</i> - Beban Lateral Benda Uji SW-50-1,5.....	44
Gambar 4.7	Grafik Histeresis <i>Drift</i> -Beban Lateral Benda Uji SD-300-1,5.....	45
Gambar 4.8	Grafik <i>Envelope Drift</i> - Beban Lateral Benda Uji SD-300-1,5.....	46
Gambar 4.9	Analisis Perpindahan Saat Leleh Benda Uji SW-50-1,5.....	47
Gambar 4.10	Analisis Perpindahan Saat Leleh Benda Uji SD-300-1,5 .....	48



Gambar 4.11	Perbandingan Daktilitas Perpindahan Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 Hasil Eksperimen.....	49
Gambar 4.12	Analisis <i>Tangential Stiffness</i> SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 .....	51
Gambar 4.13	Analisis <i>Secant Stiffness</i> SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 .....	52
Gambar 4.14	Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji SW-50-1,5 dengan SW-50-2.....	54
Gambar 4.15	Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji SD-300-1,5 dengan SD-300-2 .....	55





**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>No.</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1	Desain Awal.....	61
Lampiran 2	Data Pengujian Siklik.....	86
Lampiran 3	Dokumentasi Penelitian.....	103





## RINGKASAN

**Louche Patricia**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Pengaruh Aspek Rasio ( $H_w/L_w$ ) terhadap Daktilitas dan Kekakuan pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*, Dosen Pembimbing: Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D. dan Ir. Sugeng P. Budio, M.S.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan intensitas terjadinya gempa bumi yang tinggi. Kondisi ini menyebabkan bangunan-bangunan di Indonesia harus tahan gempa agar tidak langsung mengalami keruntuhan selama gempa bumi terjadi. Salah satu perkuatan struktur tambahan untuk menahan gaya gempa adalah dinding geser. Dinding geser merupakan slab beton bertulang yang dipasang vertikal pada sisi gedung tertentu dan berfungsi untuk menambah kekakuan struktur, menahan gaya lateral, serta membatasi defleksi lateral yang terjadi.

Dinding geser sudah banyak digunakan pada bangunan bertingkat maupun rumah tinggal di Indonesia. Untuk bisa menahan beban lateral, dinding geser harus kaku dan daktil. Kekakuan dan daktilitas dinding geser dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah jumlah dan diameter tulangan serta rasio tinggi dan lebar dinding geser. Semakin kaku dan daktil suatu struktur dinding geser, maka jumlah dan diameter penulangan yang dibutuhkan akan semakin banyak dan akan mempengaruhi biaya pembuatannya. Agar dinding geser yang dihasilkan ekonomis, maka diperlukan sebuah variasi untuk membentuk elemen struktur ini dengan kekakuan maksimal tetapi efisien. Penelitian ini akan lebih menekankan pengaruh rasio tinggi dan lebar dinding geser terhadap daktilitas dan kekakuannya.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dinding geser pendek dengan pembebanan semi siklik. Ada dua dinding geser pendek dengan variasi tulangan horizontal yang diuji. Kedua dinding geser mempunyai rasio badan ( $a$ ) sebesar 1,5, rasio pembebanan ( $n$ ) sebesar 5%, rasio tulangan vertikal ( $\rho_v$ ) sebesar 2,44%, dan rasio tulangan horizontal ( $\rho_h$ ) sebesar 0,813% dengan variasi jarak tulangan horizontal. Benda uji dibebani sampai pada drift yang ingin dicapai. Selama pengujian berlangsung dinding geser diberi beban aksial sebesar 3000 kg dan beban lateral berupa pembebanan semi siklik. Data yang diperoleh dari pengujian ini berupa drift, beban lateral setiap drift, dan simpangan yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian pada penelitian sebelumnya.

Hasil analisis data secara teoritis dan eksperimental pada dinding geser dengan rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) yang berbeda menunjukkan bahwa dinding geser pendek dengan rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 1,5 dalam beban aksial yang sama dengan dinding geser tinggi dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 2,0 mempunyai nilai daktilitas perpindahan yang lebih rendah dan kekakuan yang cenderung lebih besar dari dinding geser tinggi. Sementara hasil analisis pada dinding geser dengan rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) yang sama dengan variasi jarak tulangan horizontal menunjukkan nilai daktilitas dan kekakuan dinding geser dengan jarak tulangan horizontal yang rapat (150 mm) lebih besar dibandingkan dengan dinding geser dengan jarak tulangan horizontal yang lebar (300 mm).

Kata kunci: dinding geser, pembebanan siklik, *drift*, daktilitas, kekakuan





## SUMMARY

**Louce Patricia**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2017, *The Effect of Aspect Ratio ( $H_w/L_w$ ) on Ductility and Stiffness of Shear Wall with Widely Spaced Horizontal Reinforcement Subjected to Cyclic Loading (Quasi-Static)*, Academic Supervisor: Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D. dan Ir. Sugeng P. Budio, M.S.

Indonesia is one of the countries with high intensity of earthquakes. This condition causes the buildings in Indonesia to be earthquake-resistant so as not to directly experience a collapse during an earthquake occurred. One of the additional structural reinforcements to withstand earthquake forces is the shear wall. Shear wall is a reinforced concrete slab mounted vertically on the side of a particular building and serves to increase the stiffness of the structure, resist lateral forces, and limit the lateral deflection that occurs.

Shear walls are widely used in high-rise buildings and residential houses in Indonesia. To be able to withstand lateral loads, the shear wall must be rigid and ductile. The rigidity and ductility of the shear wall is influenced by several factors, one of which is the number and diameter of the reinforcement as well as the ratio of the height and width of the shear wall. The more rigid and ductile a shear wall structure, the number and diameter of reinforcement required will be more and will affect the cost of manufacture. In order for the resulting shear wall to be economical, it required a variation to form these structural elements with maximal but efficient rigidity. This research will emphasize the effect of height ratio and shear wall width on ductility and stiffness.

In this research, a squat shear wall with semi-cyclic loading is carried out. There are two squat shear walls with horizontal reinforcement variations tested. Both shear walls have a body ratio ( $a$ ) of 1.5, the loading ratio ( $n$ ) of 5%, the vertical reinforcement ratio ( $\rho_v$ ) of 2.44%, and the horizontal reinforcement ratio ( $\rho_h$ ) of 0.813% with the horizontal distance variation. The test object is loaded up to the drift to be achieved. During the test the shear wall was given axial load of 3000 kg and lateral load in the form of semi-cyclic loading. The data obtained from this test are drift, lateral load of each drift, and deviation which is then compared with the test result in the previous research.

The results of theoretical and experimental data analysis on shear walls with different height ( $h_w$ ) and width ( $l_w$ ) ratios indicate that the squat shear wall with a high ( $h_w$ ) and wide ( $l_w$ ) wall ratio of 1.5 in axial load together with the high shear wall with high aspect ratio ( $h_w$ ) and width ( $l_w$ ) walls of 2.0 have a lower displacement ductility value and stiffness that tends to be larger than the high shear wall. While the results of analysis on shear walls with high ( $h_w$ ) and width ( $l_w$ ) ratios equal to horizontal reinforcement distance variations show ductility values and shear wall stiffness with conical horizontal bone spacing (150 mm) larger than shear walls with distance Wide horizontal reinforcement (300 mm).

**Keywords:** shear wall, cyclic loading, drift, ductility, stiffness







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan intensitas terjadinya gempa bumi tektonik dan vulkanik yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan kondisi geologis Indonesia yang terletak di antara dua rangkaian pegunungan muda, yaitu pegunungan Sirkum Mediterania dan pegunungan Sirkum Pasifik, serta kondisi tektonik Indonesia yang terletak tepat pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Kondisi inilah yang menyebabkan bangunan-bangunan di Indonesia harus sebisa mungkin mampu menahan gempa yang terjadi atau tahan gempa agar dapat mencegah adanya korban jiwa dan kerugian-kerugian struktural.

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang tidak langsung mengalami keruntuhan selama gempa bumi terjadi, meskipun komponen struktural telah mengalami kerusakan. Bangunan tahan gempa bisa mengalami keruntuhan, namun keruntuhan yang terjadi adalah bertahap sehingga bisa memberikan cukup waktu bagi orang-orang yang ada di dalamnya untuk melarikan diri atau melakukan evakuasi. Struktur penahan gempa yang sering digunakan adalah struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) atau struktur rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan gabungan antara portal dengan dinding geser atau sistem ganda. Persyaratan mengenai bangunan tahan gempa tersebut telah diatur dalam SNI 1726-2012.

Pada bangunan bertingkat tinggi, struktur portal sebagai penahan gempa dianggap kurang efisien dalam membatasi defleksi lateral akibat gaya gempa. Hal itu dikarenakan semakin tinggi atau semakin banyak tingkat yang dibangun, maka dimensi balok dan kolom dalam portal akan semakin besar. Bangunan bertingkat tinggi tersebut membutuhkan perkuatan struktur tambahan, seperti dinding geser (*shearwall*), untuk menahan gaya gempa lateral yang bekerja.

Dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral merupakan slab beton bertulang yang dipasang vertikal pada sisi gedung tertentu. Dinding geser tersebut berfungsi untuk menambah kekakuan struktur, menahan gaya lateral, serta membatasi defleksi lateral yang terjadi. Penggunaan dinding geser ini diharapkan dapat mengontrol stabilitas

struktur secara keseluruhan dan memperkecil kemungkinan terjadinya keruntuhan akibat gempa.

Dinding geser memiliki kekakuan bidang datar yang sangat besar sehingga mampu menyerap sebagian besar beban gempa yang diterima struktur. Kerusakan atau keruntuhan pada dinding geser ini dapat terjadi akibat momen lentur yang disebabkan oleh pembentukan sendi plastis di dasar dinding, bukan akibat gaya geser. Apabila dinding geser runtuh, maka elemen struktur yang lain tidak akan mampu menahan gaya lateral akibat gempa yang terjadi. Keruntuhan dinding geser tersebut akan diikuti dengan keruntuhan dari struktur bangunan itu.

Keruntuhan yang terjadi pada dinding geser dapat dicegah dengan perhitungan perencanaan dinding geser yang teliti dan juga detail penulangan yang efektif. Jumlah dan jarak dari penulangan yang digunakan sangat mempengaruhi kekakuan dari dinding geser. Semakin teliti dan efektif perhitungan yang dilakukan, maka semakin baik kekakuan dan tingkat daktilitas yang dihasilkan. Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung dalam menahan simpangan pada kondisi plastis. Semakin kaku dan daktail suatu struktur, maka semakin baik struktur itu bertahan selama gempa bumi terjadi.

Semakin daktail dan kaku suatu struktur, maka semakin besar juga diameter tulangan, jumlah penulangan, mutu beton, dan ukuran penampang yang dibutuhkan. Hal tersebut menyebabkan biaya yang dibutuhkan untuk material dan pengerjaannya menjadi mahal. Agar biaya pembuatan dinding geser tersebut menjadi ekonomis, maka dibutuhkan sebuah penelitian mengenai variasi penulangan dinding geser untuk mendapatkan kapasitas momen, daktilitas, dan kekakuan terbaik yang dapat dihasilkan menggunakan jumlah penulangan dan rasio penulangan yang sama. Dalam penelitian ini, penulis juga akan mencoba membandingkan kapasitas momen, daktilitas, dan kekakuan yang dihasilkan apabila rasio tinggi dan lebar dinding geser berbeda atau lebih kecil. Meskipun rasio tinggi dan lebar dinding lebih kecil, namun diharapkan kapasitas momen, daktilitas, serta kekakuan yang dihasilkan mempunyai hasil yang sama baiknya dengan dinding geser yang mempunyai rasio tinggi dan lebar dinding yang lebih besar.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Dinding geser sebagai elemen struktur yang menahan beban lateral sudah banyak digunakan pada bangunan bertingkat maupun rumah tinggal di Indonesia. Untuk bisa menahan beban lateral, dinding geser harus kaku dan daktail. Semakin kaku dan daktail suatu struktur dinding geser, maka jumlah dan diameter penulangan yang dibutuhkan





akan semakin banyak dan akan mempengaruhi biaya pembuatannya. Agar dinding geser yang dihasilkan ekonomis, maka diperlukan sebuah variasi untuk membentuk elemen struktur ini dengan kekakuan maksimal tetapi efisien. Penelitian mengenai dinding geser ini telah dilakukan sebelumnya oleh Dr. Ir. Ari Wibowo dengan judul “*Seismic Performance of Lightly Reinforced Walls of Design Purposes*”, yang kemudian dilanjutkan penelitian oleh Aldi Efrata dkk., tentang variasi jarak tulangan pada dinding geser untuk menghasilkan daktilitas dan kekakuan maksimal. Dalam penelitian ini akan lebih ditekankan mengenai pengaruh rasio tinggi dan lebar dinding geser terhadap daktilitas dan kekakuannya.

### 1.3 Rumusan Masalah

Untuk mendapatkan hasil yang relevan, maka penelitian ini memerlukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh aspek rasio tinggi dan lebar dinding pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar terhadap daktilitas dan kekakuan?
2. Bagaimana pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser yang mempunyai aspek rasio tinggi dan lebar dinding yang sama?

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penyelesaian penelitian ini diberikan batasan masalah atau ruang lingkup studi sebagai berikut:

1. Pengaruh lingkungan luar diabaikan.
2. Benda uji berupa dinding geser dengan tinggi ( $h_w$ ) 600 mm dan tinggi total 750 mm, lebar dinding geser ( $\ell_w$ ) 400 mm, tebal dinding geser ( $b_w$ ) 80 mm, tinggi fondasi 350 mm, lebar fondasi 400 mm dan panjang fondasi 1500 mm dengan rasio badan dinding ( $a$ ) sebesar 1,5, rasio pembebanan ( $n$ ) sebesar 5%, rasio tulangan vertikal ( $\rho_v$ ) sebesar 2,44%, rasio tulangan horizontal ( $\rho_h$ ) sebesar 0,813%. Ketentuan ini digunakan untuk seluruh benda uji dinding geser dengan variasi jarak tulangan horizontal.
3. Mutu beton rencana yang digunakan  $f_c' = 20$  MPa.
4. Mutu tulangan yang digunakan  $f_y = 240$  MPa dengan menggunakan standar SNI.
5. Semen yang digunakan adalah PPC tipe 1.
6. Pengujian dilakukan saat beton pada dinding geser telah berumur 28 hari atau lebih.
7. Dinding geser diasumsikan terjepit penuh pada bagian bawah dan ujung bebas (dinding kantilever). Oleh karena itu, fondasi dinding harus lebih kaku dari dinding geser.

8. Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
9. Benda uji terbatas sehingga tidak ada uji statistik.

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh aspek rasio tinggi dan lebar dinding terhadap daktilitas dan kekakuan pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar.
2. Mengetahui pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser dengan aspek rasio tinggi dan lebar yang sama.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran terhadap perilaku yang akan terjadi pada dinding geser dengan pembebanan siklik dan pembebanan aksial.
2. Evaluasi terhadap biaya struktur dengan variasi efisiensi tulangan horizontal.
3. Evaluasi terhadap kemampuan elemen struktur dengan variasi tulangan horizontal sehingga bisa diaplikasikan pada bangunan-bangunan dengan biaya konstruksi yang besar.
4. Dapat digunakan sebagai referensi oleh penulis, pembaca, dan pengusaha maupun pengembang sebagai pertimbangan untuk pembangunan gedung dan rumah tinggal dengan dinding geser.
5. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang akan meneliti lebih lanjut tentang penelitian ini.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dinding Geser

##### 2.1.1 Pengertian Dinding Geser

Dinding geser merupakan salah satu elemen struktur yang harus dimiliki bangunan tinggi. Dinding geser pada bangunan tinggi berfungsi untuk menahan gaya lateral yang timbul akibat beban angin dan beban gempa. Dengan adanya penempatan dinding geser yang kaku secara strategis dan tepat pada bangunan, maka sebagian besar beban lateral yang timbul akan terserap oleh dinding geser dan dinding tersebut dapat memberikan tahanan lateral yang dibutuhkan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, dinding geser adalah komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral. Dinding geser sebagai dinding struktural dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu dinding struktural beton biasa dan dinding struktural beton khusus.

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

1. Dinding beton polos struktur biasa (*Ordinary structural plain concrete wall*)
2. Dinding struktural beton bertulang biasa (*Ordinary reinforced concrete structural wall*)
3. Dinding struktural pracetak menengah (*Intermediate precast structural wall*)
4. Dinding struktural khusus (*Special structural wall*)

##### 2.1.2 Jenis Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis, yaitu:

1. *Bearing walls*

*Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar elemen yang berdekatan.

## 2. *Frame walls*

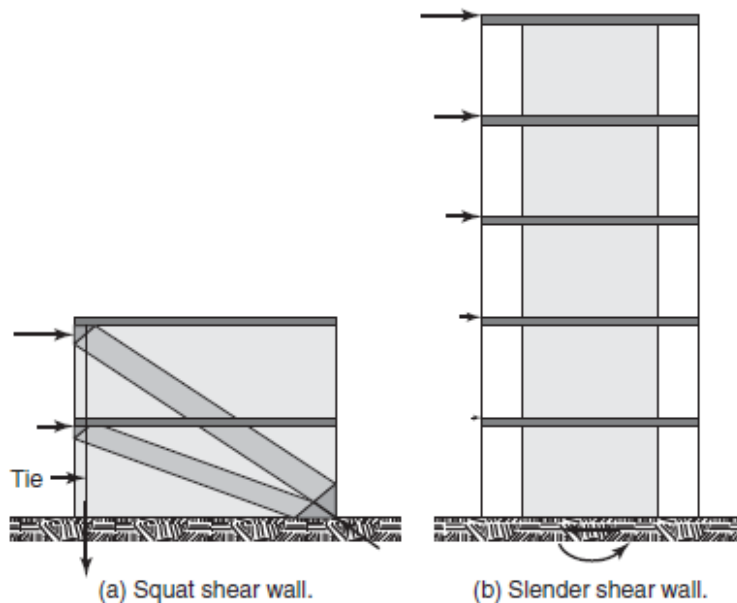
*Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, di mana beban gravitasi yang terjadi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun di antara baris kolom.

## 3. *Core walls*

*Core walls* adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

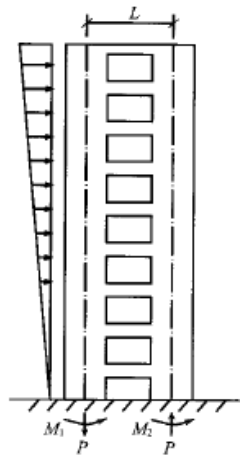
Berdasarkan geometrinya, dinding geser dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. *Slender or Flexural Wall* (dinding langsing), adalah dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/l_w \geq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat Wall* (dinding pendek), adalah dinding geser yang memiliki rasio  $h_w/l_w \leq 2$ , di mana desain dikontrol oleh perilaku geser.
3. *Coupled Shear Wall* (dinding berangkai), adalah sebuah sistem dinding geser yang terbuat dari rangkaian beberapa balok dan dinding, di mana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding yang dihubungkan oleh balok-balok perangkai, sebagai gaya-gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing-masing dasar pasangan dinding tersebut.



Gambar 2.1 Jenis Dinding Geser Berdasarkan Geometrinya  
Sumber: Wight dan MacGregor, 2012





Gambar 2.2 Coupled Shear Wall

Sumber: Lu dan Chen, 2005

Berdasarkan SNI 1726-2002, dinding geser dapat dibedakan menjadi:

1. Dinding geser kantilever

Merupakan suatu sub sistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, di mana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan.

2. Dinding geser berangkai

Merupakan suatu sub sistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh gempa rencana, yang terdiri dari dua buah atau lebih dinding geser yang dirangkaikan oleh balok-balok perangkai dan yang runtuhnya terjadi dengan sesuatu daktilitas tertentu oleh terjadinya sendi-sendi plastis pada ke dua ujung balok-balok perangkai dan pada kaki semua dinding geser, di mana masing-masing momen lelehnya dapat mengalami peningkatan hampir sepenuhnya akibat pengerasan regangan.

### 2.1.3 Parameter yang Mempengaruhi Dinding Geser

Parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi dinding geser secara umum terdiri dari aspek rasio ( $a$ ), rasio beban aksial ( $n$ ), rasio tulangan horizontal ( $\rho_s$ ) dan rasio tulangan vertikal ( $\rho_v$ ).

1. Aspek Rasio ( $a$ )

Aspek rasio merupakan perbandingan antara tinggi dan panjang dinding geser. Peningkatan nilai aspek rasio dapat meningkatkan daktilitas dinding.

$$a = \frac{hw}{\ell w} \dots\dots\dots (2-1)$$

Keterangan:

$hw$  = tinggi penampang dinding geser

$\ell w$  = panjang dinding geser

Menurut Wibowo *et al.* (2013), pengaruh aspek rasio terhadap mode keruntuhan dan kapasitas *drift* maksimum antara lain adalah:

- Dinding geser langsing cenderung mempunyai aksi dominan lentur yang ditandai dengan konsentrasi kaku pada dasar dinding, sedangkan dinding geser pendek mempunyai mode keruntuhan geser yang dominan yang ditandai dengan pola retak diagonal.
- Pada dinding geser langsing, kapasitas *drift* cenderung meningkat bersama dengan meningkatnya aspek rasio.
- Pada dinding geser pendek, nilai aspek rasio dinding tidak mempengaruhi kapasitas *drift*.

## 2. Rasio Beban Aksial ( $n$ )

Rasio beban aksial merupakan perbandingan dari beban aksial terhadap kapasitas beban aksial atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n = \frac{P}{A_g f'_c} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

$P$  = Beban aksial

$A_g$  = Luas bruto penampang dinding geser

$f'_c$  = Kuat tekan beton

Rasio beban aksial mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kapasitas *drift* maksimum dinding geser. Beban tekan aksial pada umumnya dapat mengurangi kapasitas keruntuhan daktilitas karena peningkatan kedalaman daerah tekan pada struktur. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan keruntuhan leleh dan penurunan keruntuhan ultimit. Beberapa penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa dinding geser dengan rasio beban aksial yang rendah menunjukkan *ductile flexural failure*, sedangkan dinding dengan rasio beban aksial yang lebih tinggi menunjukkan *brittle compressive failure* dikarenakan kenaikan dari garis netral dan tegangan tekan dan penurunan kapasitas kurvatur. Namun di sisi lain dapat meningkatkan





kekuatan geser dinding geser. Peningkatan kekuatan geser terjadi karena beban aksial dapat membuat dinding geser lebih kaku yang menghasilkan penundaan retak dan peningkatan efek *shear friction*.

3. Rasio Tulangan Vertikal ( $\rho_v$ )

Tulangan vertikal dapat disebut juga sebagai tulangan lentur atau tulangan longitudinal. Fungsi utama tulangan vertikal adalah untuk menahan lentur. Oleh karena itu, jumlah dan luas tulangan vertikal pada suatu struktur berpengaruh terhadap kekuatan struktur dalam menahan lentur. Rasio tulangan vertikal merupakan perbandingan dari total luasan tulangan vertikal dengan luas efektif pada beton.

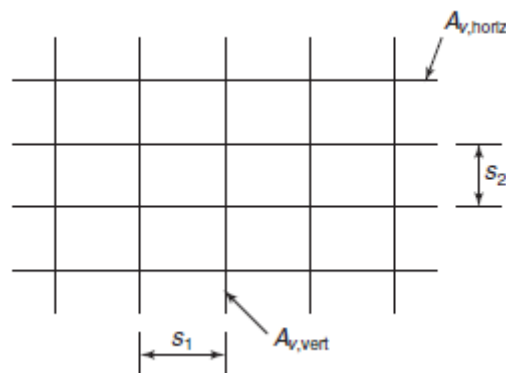
$$\rho_v = \frac{A_{st}}{b_w \times \ell_w} \dots\dots\dots (2-3)$$

atau

$$\rho_v = \frac{A_{v, \text{vert}}}{b_w \times s_1} \dots\dots\dots (2-4)$$

Keterangan:

- $A_{st}$  = luas total tulangan vertikal
- $A_{v, \text{vert}}$  = luas penampang tulangan vertikal
- $b_w$  = tebal dinding geser
- $\ell_w$  = panjang dinding geser
- $s_1$  = jarak antara tulangan vertikal



Gambar 2.3 Distribusi Tulangan Vertikal dan Horizontal pada Dinding Geser  
Sumber: Wight dan MacGregor, 2012

Berdasarkan SNI 2847-2013, spasi tulangan vertikal untuk dinding tidak boleh melebihi yang terkecil dari  $\ell_w/3$ ,  $3b_w$ , dan 18 in (450 mm). Sementara itu, rasio minimum tulangan vertikal untuk dinding harus:

- a) 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 MPa.
- b) 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya.
- c) 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari  $\emptyset$ -16 atau D16.

#### 4. Rasio Tulangan Horizontal

Tulangan horizontal disebut juga tulangan geser atau tulangan transversal. Tulangan horizontal memiliki fungsi utama untuk menahan geser. Rasio tulangan horizontal memiliki banyak defini dan berikut ini adalah dua jenis rasio tulangan horizontal yang sering digunakan pada penelitian-penelitian:

##### a) Rasio volumetrik ( $\rho_s$ )

Rasio volumetrik merupakan rasio antara volume tulangan geser dengan volume inti beton yang diukur hingga di bagian luar sengkang. Peneliti yang menggunakan rasio volumetrik adalah Park dan Paulay (1975):

$$\rho_s = \frac{A_v (2b_s + 2h_s)}{b_h h_h s} \dots\dots\dots (2-5)$$

Keterangan:

$A_v$  = luas penampang tulangan horizontal

$s$  = jarak antara titik pusat tulangan horizontal

$b_s$  dan  $h_s$  = dimensi terhadap garis tengah tulangan horizontal

$b_h$  dan  $h_h$  = dimensi inti beton diukur ke bagian luar tulangan horizontal

##### b) Rasio luas ( $\rho_h$ )

Rasio luas merupakan rasio antara luas penampang tulangan horizontal dengan luas penampang beton yang tegak lurus dengan arah beban lateral. Persentase atau rasio tulangan horizontal berdasarkan Wight dan MacGregor (2012) adalah:

$$\rho_h = \frac{A_v, \text{horiz}}{b_w \times s_2} \dots\dots\dots (2-6)$$

dengan minimal penampang tulangan horizontal yang diperlukan adalah:

$$A_{v \text{ min}} = \frac{0,35 b_v s}{f_{sy}} \dots\dots\dots (2-7)$$



Keterangan:

$A_{v, \text{horiz}}$  = luas penampang tulangan horizontal

$bw$  = tebal dinding geser

$s_2$  = jarak antara tulangan horizontal

$b_v$  = lebar efektif dari lebar geser ( $bw - \Sigma d_d$ )

$\Sigma d_d$  = jumlah dari diameter saluran grouting, jika ada di sepanjang bidang horizontal web

Menurut Wibowo *et al.* (2013), kekangan yang efektif sangat dipengaruhi oleh pengaturan dari tulangan transversal, semakin dekat jarak antar tulangan horizontal maka akan menghambat terjadinya tekuk pada tulangan vertikal. Jarak dan rasio minimum tulangan horizontal untuk dinding geser tersebut telah diatur dalam SNI. Berdasarkan SNI 2847-2013, spasi tulangan horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari  $l_w/5$ ,  $3bw$ , dan 18 in (450 mm), sedangkan rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto adalah:

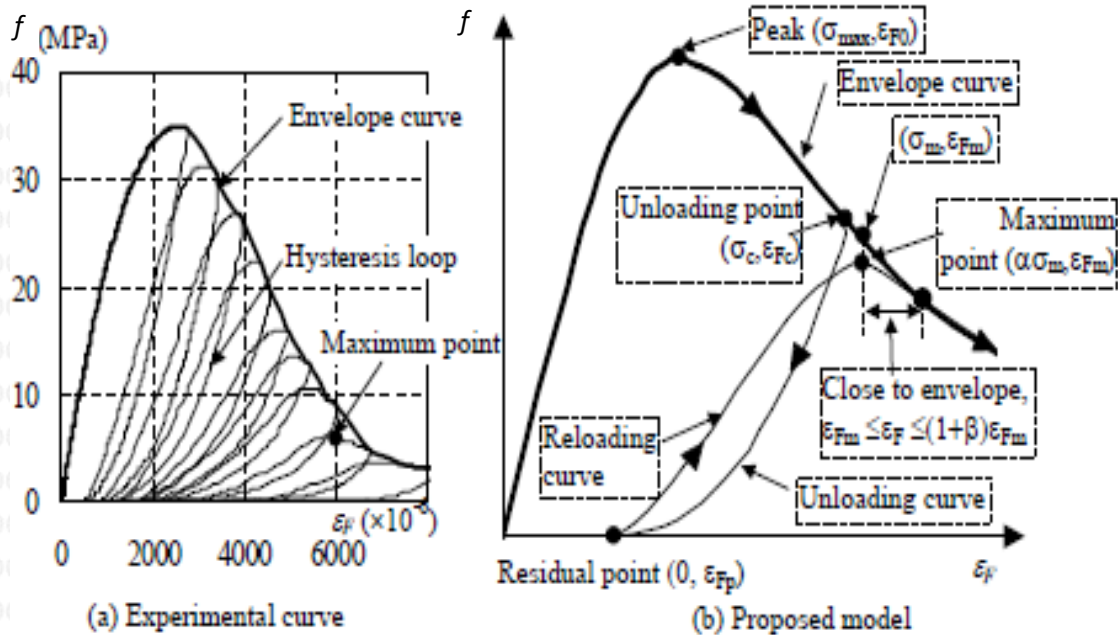
- a) 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 MPa.
- b) 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya.
- c) 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari  $\emptyset$ -16 atau D16.

## 2.2 Beban Siklik

Beban siklik atau *cyclic load* adalah pembebanan berulang yang teratur pada suatu bagian struktur yang dapat menyebabkan fraktur kelelahan (*fatigue*). Kelelahan atau *fatigue* adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum maupun tegangan luluh material yang diberikan beban konstan. Kekuatan *fatigue* dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, *load history*, dan sifat material.

Beban siklik dapat diartikan sebagai beban gempa yang bekerja pada gedung bertingkat secara bolak balik atau dua arah. Karena dalam kondisi nyata sebagian besar sistem struktur bersifat non-linear sampai taraf tertentu, maka dalam analisis beban siklik dilakukan dengan analisis dinamis non-linear. Untuk memprediksi perilaku struktur beton di bawah pembebanan seismik, model hubungan regangan dengan tegangan beton di bawah pembebanan siklik (*hysteresis loop*) adalah hal yang penting

untuk diamati. Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respons tegangan-regangan beton.



Gambar 2.4 Kurva Eksperimental dan Model yang Diusulkan dari *Hysteresis Loop* untuk *Failure Zone*

Sumber: Watanabe *et al.*, 2004

Dari Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa terdapat banyak titik yang dihubungkan sehingga membentuk sebuah *hysteresis loop* yang kemudian membentuk *envelope curve*. *Envelope curve* terdiri dari beberapa titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4(b). Titik-titik tersebut antara lain adalah *unloading point*, *residual point*, dan *maximum point*. *Unloading point* adalah titik di mana pembebanan dimulai, *residual point* adalah titik di mana ketika *unloading* penuh (tegangan mencapai nol), dan *maximum point* adalah persimpangan *unloading point* dengan *unloading curve*.

Titik-titik yang membentuk *envelope curve* tersebut membentuk beberapa kurva bagian dari *envelope curve*, seperti *unloading curve* dan *reloading curve*. *Unloading curve* adalah kurva pada saat nilai  $\epsilon_F$  dan tegangan ( $\sigma$ ) di daerah pasca puncak berkurang. *Unloading curve* terletak di antara *unloading point* ( $\sigma_c, \epsilon_{Fc}$ ) dan *residual point* ( $0, \epsilon_{Fp}$ ), di mana tegangan mencapai 0 kN. Setelah beban diturunkan sampai nol dengan tepat maka tegangan dan regangan akan meningkat lagi dari *residual point* dan kemudian mendekati *maximum point* ( $\alpha\sigma_m, \Sigma F_m$ ) membentuk sebuah kurva yang disebut *reloading curve* ( $\sigma, \epsilon_{Fr}$ ). Gabungan titik akhir dari *reloading curve* dan titik awal *unloading curve* tersebutlah yang disebut sebagai *envelope curve*.



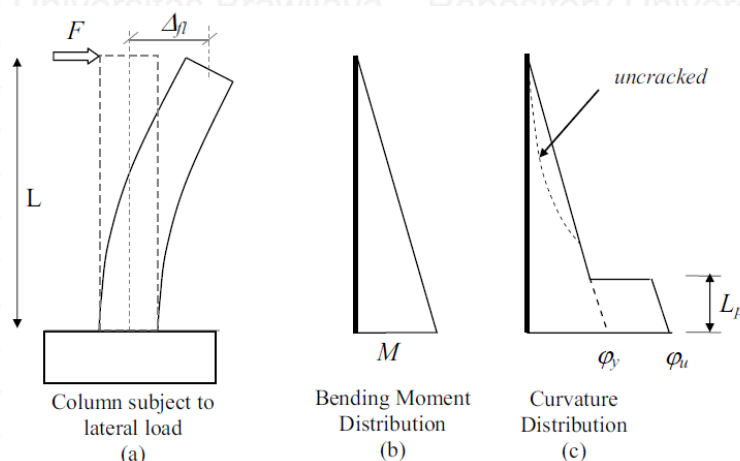
### 2.3 Komponen Perpindahan Lateral

Perpindahan lateral yang terjadi pada dinding geser hampir sama dengan perpindahan lateral yang terjadi pada kolom. Perpindahan lateral tersebut terdiri atas tiga komponen, yaitu lentur, penetrasi leleh, dan geser.

#### 2.3.1 Perpindahan Lentur ( $\Delta_{fl}$ )

Perpindahan lentur terdiri dari komponen elastis dan plastis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Perpindahan elastis terjadi apabila struktur yang mengalami perpindahan akibat beban lateral yang diberikan masih dapat kembali ke bentuk semula saat beban lateral tersebut dihilangkan. Sebaliknya, perpindahan plastis terjadi saat beban lateral terus diberikan pada struktur hingga terjadi perpindahan sehingga struktur tersebut berubah bentuk dan tidak dapat kembali ke bentuk asalnya.

$$\Delta_{fl} = \Delta_{fe} + \Delta_{fp} \dots\dots\dots (2-8)$$



Gambar 2.5 Perpindahan Lentur  
Sumber: Wibowo, 2012

Besarnya perpindahan elastis dan plastis dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$\Delta_{fe} = \frac{\phi_y L^2}{3} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y)L_p \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\Delta_{fp} = (\phi_u - \phi_y) L_p \left( L - \frac{1}{2} L_p \right) \dots\dots\dots (2-11)$$

Keterangan:

$\Delta_{fe}$  = perpindahan elastis

$\phi_y$  = kurvatur pada kondisi leleh

$L$  = tinggi dinding geser

$\theta_p$  = rotasi inelastis akibat sendi plastis pada dasar dinding geser

$\varphi_u$  = kurvatur ultimit

$\Delta_{fp}$  = perpindahan plastis pada sisi atas dinding geser

$L_p$  = panjang sendi plastis

Panjang sendi plastis merupakan fungsi dari panjang geser, lebar penampang, dan parameter penetrasi leleh. Ada banyak pendekatan empiris untuk menghitung panjang sendi plastis dari daktilitas dinding geser, salah satunya menurut Park dan Paulay (1975) adalah:

$$L_p = 0,5 H_w \dots\dots\dots (2-12)$$

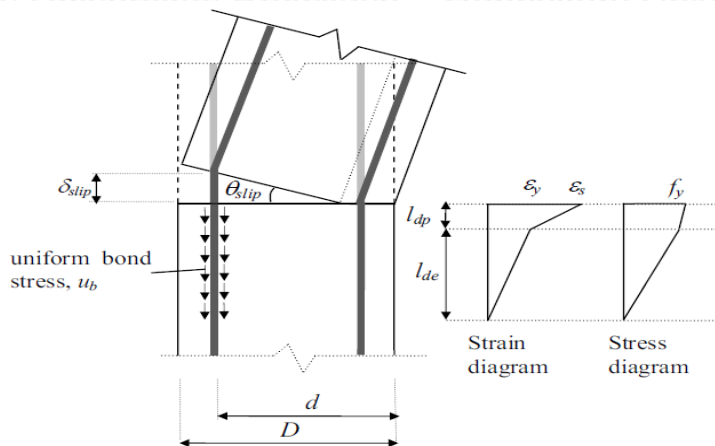
dengan:

$H_w$  = tinggi efektif dari dinding geser

Perhitungan panjang sendi plastis menurut Park dan Paulay ini merupakan perhitungan paling sederhana, di mana panjang geser dan parameter penetrasi leleh dapat diabaikan. Persamaan tersebut dapat digunakan selama lebar retak pada hubungan antara dinding geser dengan fondasi tidak lebar.

**2.3.2 Perpindahan Penetrasi Leleh ( $\Delta_y$ )**

Penetrasi leleh atau perpindahan gelincir adalah perpindahan yang ditandai dengan adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung dinding geser, di mana keadaan leleh telah dicapai dan muncul celah yang terbuka pada hubungan kolom dengan fondasi akibat penetrasi tegangan dan regangan plastis pada tulangan di fondasi. Rotasi pada struktur yang kaku tersebut dapat menaikkan total *drift* secara signifikan dan harus dipisahkan dari perpindahan lentur yang didapatkan dari distribusi kurvatur di sepanjang tinggi dinding geser.



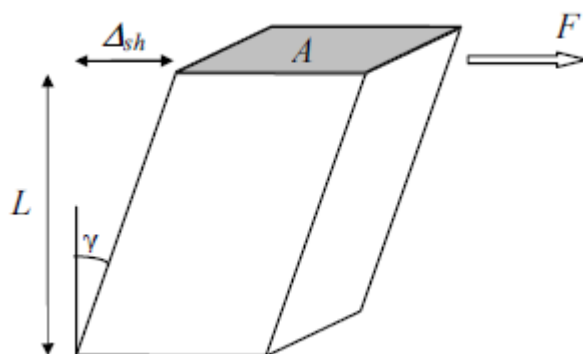
Gambar 2.6 Mekanisme Perpindahan Gelincir  
 Sumber: Wibowo, 2012



### 2.3.3 Perpindahan Geser ( $\Delta_{sh}$ )

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung perpindahan geser. Salah satunya adalah pendekatan yang dilakukan oleh Park dan Paulay.

Menurut Park dan Paulay (1975), total perpindahan geser terdiri atas daerah *uncracked* (elastis) dan daerah *cracked* (*truss*). Daerah *uncracked* (elastis) dapat ditentukan dengan prinsip elastisitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perpindahan Geser Elastis  
Sumber: Wibowo, 2012.

Besarnya perpindahan geser pada daerah elastis tersebut adalah:

$$\Delta_{sh} = \frac{FL}{AG} = \frac{2 FL (1 + \nu)}{AE_c} \dots\dots\dots (2-13)$$

Keterangan:

- F = gaya lateral
- L = panjang dinding geser
- A = luas penampang dinding geser
- G = modulus geser

Perpindahan geser bagian retak dapat didekati dengan menggunakan analogi rangka dan mengasumsikan sengkang vertikal dan ditopang diagonal 45° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Model perpindahan geser bagian retak dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta_{verack} = \Delta_s + \Delta_R = \Delta_s + \sqrt{2} \Delta_c \dots\dots\dots (2-14)$$

Keterangan:

- $\Delta_s$  = pemanjangan sengkang
  - $\Delta_c$  = pemendekan dari *compression strut*
- dengan,

$$\Delta_s = \frac{f_s}{E_s} d \quad \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\Delta_c = \frac{f_{cd}}{E_c} \sqrt{2} d \quad \dots\dots\dots (2-16)$$

$$f_{cd} = 2 \frac{V_s}{b_w d} \quad \dots\dots\dots (2-17)$$

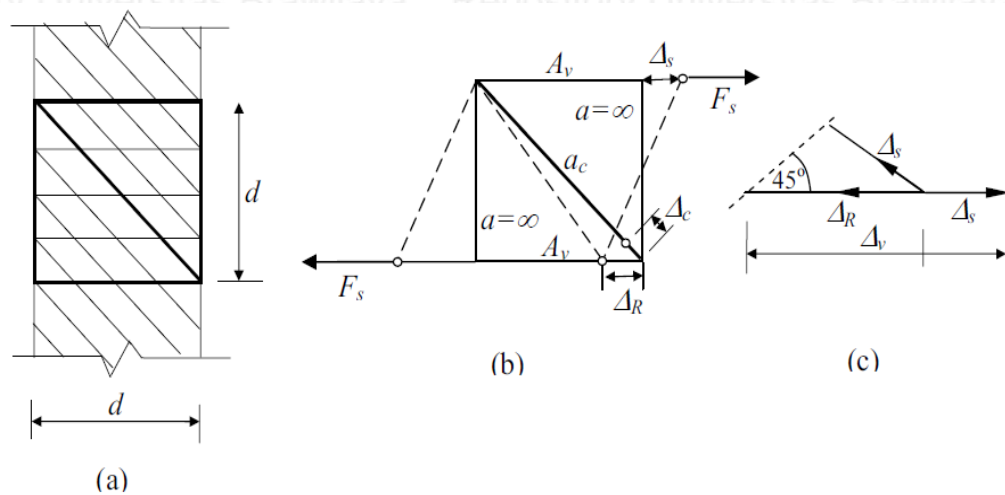
Keterangan:

$E_s$  = modulus young baja

$f_s$  = tegangan geser sengkang

$f_{cd}$  = tegangan tekan diagonal beton

Menurut Wibowo (2012), untuk dinding geser dengan daktilitas yang terbatas, kontribusi perpindahan geser pada total perpindahan yang terjadi relatif sangat kecil sehingga penggunaan model deformasi geser yang rumit tidak dibenarkan.



Gambar 2.8 Deformasi Geser dari Beton Bertulang Menggunakan Model Rangka  
Sumber: Wibowo, 2012

## 2.4 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba (*brittle*), tetapi masih mampu berdeformasi cukup besar saat mencapai beban maksimum sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan. Daktilitas juga dapat didefinisikan sebagai rasio antara perpindahan ultimit dengan perpindahan saat leleh pertama kali. Daktilitas merupakan salah satu material struktural utama yang diperlukan untuk bangunan tahan gempa agar dapat mengontrol kerusakan yang terjadi. Suatu struktur dikatakan daktail apabila struktur tersebut masih mampu tetap berdiri tanpa mengalami keruntuhan pada saat dan setelah menerima beban gempa.



Faktor daktilitas gedung adalah rasio antara simpangan maksimum pada ambang keruntuhan dengan simpangan pertama yang terjadi pelelehan pertama.

$$1 \leq \mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} \leq \mu_m \dots\dots\dots (2-18)$$

$\mu$  = Tegangan Maksimum

$\delta_m$  = Simpangan Maksimal

$\delta_y$  = Simpangan Leleh

Berdasarkan SNI-03-1726-2002 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung, daktilitas terbagi menjadi:

1. Daktilitas Penuh

Suatu tingkat daktilitas gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan yang paling besar, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas 5,3.

2. Daktilitas Parsial

Suatu tingkat daktilitas gedung, di mana strukturnya mampu mengalami simpangan pasca-elastik pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan, yaitu dengan mencapai nilai faktor daktilitas  $1,0 \leq x \leq 5,29$ .

Daktilitas menurut Paulay dan Priestly (1992), dapat terbagi menjadi sebagai berikut:

1. Daktilitas Aksial

Kemampuan dari material untuk mendukung tekanan plastis tanpa tegangan reduksi yang signifikan. Secara umum persamaan daktilitas aksial adalah:

$$\mu_\epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \dots\dots\dots (2-19)$$

Keterangan:

$\epsilon$  = regangan maksimum yang terjadi

$\epsilon_y$  = regangan leleh baja

$\mu_\epsilon$  = daktilitas aksial

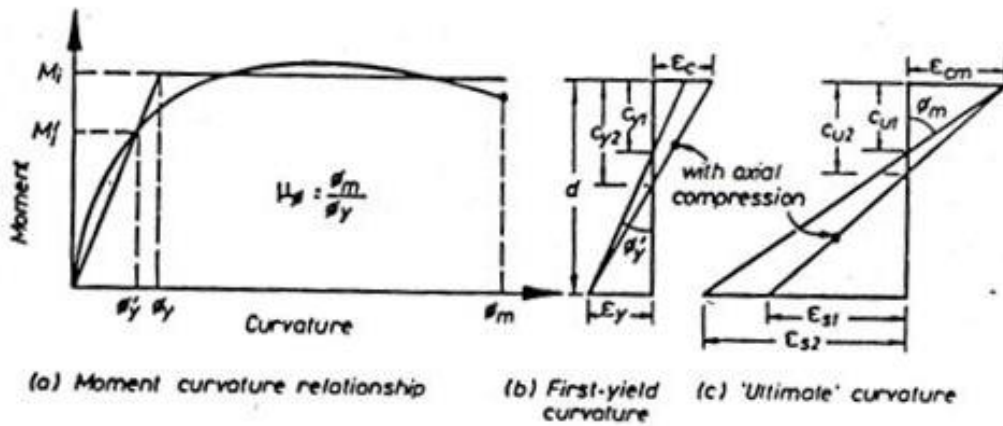
Gaya aksial yang diberikan tidak boleh melampaui kapasitas tekanan maksimum yang dapat ditahan ( $\epsilon_m$ ). Nilai daktilitas aksial biasanya lebih dari 20 dan daktilitas terlihat nyata pada struktur kolom yang hanya dikenakan gaya aksial tidak elastis, selanjutnya lebih dikembangkan untuk kolom dengan berbagai ukuran panjang.

2. Daktilitas kurvatur

Elemen yang daktail adalah elemen yang mampu mempertahankan sebagian besar momen kapasitas pada saat mencapai  $\mu_\phi$  yang direncanakan. Daktilitas elemen beton bertulang dinyatakan dengan daktilitas kurvatur:

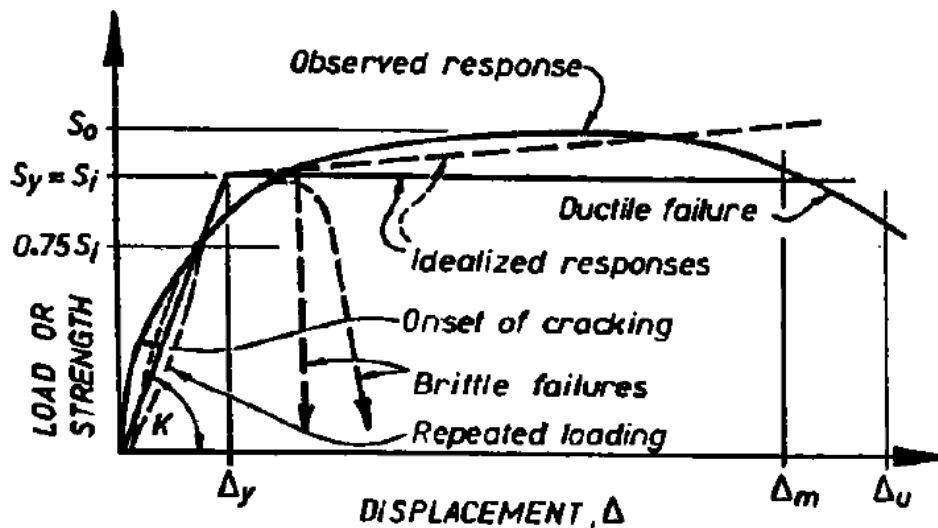
$$\mu_\phi = \frac{\phi_u}{\phi_y} \dots\dots\dots (2-20)$$

Nilai  $\phi_y$  akan diperoleh pada saat kondisi regangan tulangan tarik pertama kali mencapai regangan leleh baja yang dipakai, maka kondisi yang demikian disebut kurvatur leleh pertama ( $\phi_y$ ).



Gambar 2.9 Daktilitas Kurvatur  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

3. Daktilitas Perpindahan



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Beban dengan Perpindahan  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

Parameter lain yang sering digunakan untuk mengevaluasi daktilitas suatu struktur akibat menerima beban gempa atau kapasitas struktur untuk meningkatkan



daktilitas adalah dengan perpindahan (*displacement*), yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \dots\dots\dots (2-21)$$

Keterangan:

$\Delta_u$  = perpindahan ultimit

$\Delta_y$  = perpindahan leleh

$\mu_{\Delta}$  = Besarnya daktilitas perpindahan

Menurut Paulay dan Priestley (1992), perilaku perpindahan beban dan interpretasi dari perpindahan leleh dan ultimit dapat didekati dengan penggunaan model bilinear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Berdasarkan grafik tersebut, perpindahan leleh ditentukan dari persimpangan respons elastis linear ideal dengan garis horizontal pada kekuatan leleh dan perpindahan ultimit didasarkan pada penurunan kekuatan sebesar 20% pada kurva perpindahan beban.

**2.5 Kekakuan**

Kekakuan dapat diartikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpindahan dinding geser. Rumus umum kekakuan adalah:

$$k = \frac{P}{x} \dots\dots\dots (2-22)$$

dengan:

$P$  = beban yang terjadi

$x$  = deformasi searah beban

$k$  = kekakuan struktur

Kekakuan aksial dipengaruhi oleh nilai modulus elastisitas bahan serta luas penampang dinding geser terhadap panjang efektif dinding geser tersebut. Penurunan kekakuan aksial secara teori dapat dirumuskan sebagai berikut:

Rumus Tegangan ( $f$ )

$$f = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2-23)$$

dengan:

$P$  = beban yang terjadi

$A$  = luas penampang

$f$  = tegangan

Rumus Regangan ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots (2-24)$$

dengan:

$\epsilon$  = regangan

$\delta$  = perpendekan dinding geser

$L$  = panjang efektif dinding geser

Hubungan Tegangan dan Regangan (Hukum Hooke)

$$f = E.\epsilon \dots\dots\dots (2-25)$$

dengan:

$f$  = tegangan

$E$  = modulus elastisitas

$\epsilon$  = regangan

maka,

$$f = E \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots (2-26)$$

$$\frac{P}{A} = E \frac{\delta}{L} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\frac{P}{\delta} = \frac{E.A}{L} \dots\dots\dots (2-28)$$

$P/\delta$  merupakan parameter kekakuan aksial. Jadi rumus kekakuan adalah:

$$k = \frac{E.A}{L} \dots\dots\dots (2-29)$$

Keterangan:

$k$  = nilai kekakuan aksial

$E$  = modulus elastisitas

$A$  = luas penampang

$L$  = panjang efektif

## 2.6 Pola Keruntuhan Dinding Geser

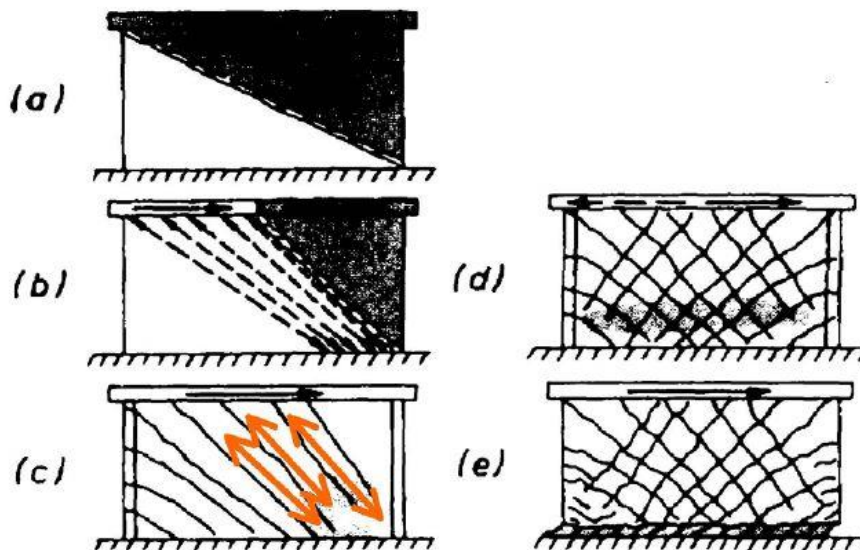
Kegagalan dinding geser umumnya digambarkan dengan adanya putusnya (*rupture*) fisik dari elemen dinding geser. Karena adanya perbedaan sifat dari material baja tulangan dan beton, maka sejumlah mode kegagalan dapat terjadi tergantung pada parameter seperti jenis penampang melintang, perincian penguatan, dan jumlah, sifat baja tulangan, kekuatan tekan beton, dan kondisi batas. Beberapa kerusakan yang terjadi



akibat gempa pada umumnya berupa *cracking*, yang terjadi pada dasar dinding dan juga pada bagian *coupling beam*, khususnya untuk sistem dinding berangkai.

Menurut Pantazopoulou dan Imran (1992), perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Flexural behavior (perilaku lentur)*, di mana respons yang terjadi pada dinding akibat gaya luar dibentuk oleh mekanis kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Keruntuhan jenis ini pada umumnya bersifat daktil.
2. *Flexural shear behavior (perilaku lentur geser)*, di mana kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
3. *Shear behavior (perilaku geser)*, di mana dinding runtuh akibat geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku batas ini bisa dibagi lagi menjadi *diagonal tension shear failure* (yang dapat bersifat daktil, karena keruntuhan terjadi terlebih dahulu pada baja tulangan) dan *diagonal compression shear failure* (yang umumnya bersifat *brittle/rapuh*)
4. *Sliding shear behavior (perilaku geser gelincir)*, di mana di bawah pembebanan siklik bolak-balik, *sliding shear* bisa terjadi akibat adanya *flexural cracks* yang terbuka lebar di dasar dinding. Keruntuhan jenis ini sifatnya getas dan menghasilkan perilaku disipasi yang jelek.



Gambar 2.11 Pola Keruntuhan Dinding Geser

Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

Menurut Paulay dan Priestley (1992), kegagalan yang sering terjadi pada *squat shear walls* adalah berupa kegagalan geser. Kegagalan geser tersebut dapat dibedakan menjadi

tiga model kegagalan yang biasanya terjadi pada dinding geser yang tergolong *squat walls*, yaitu:

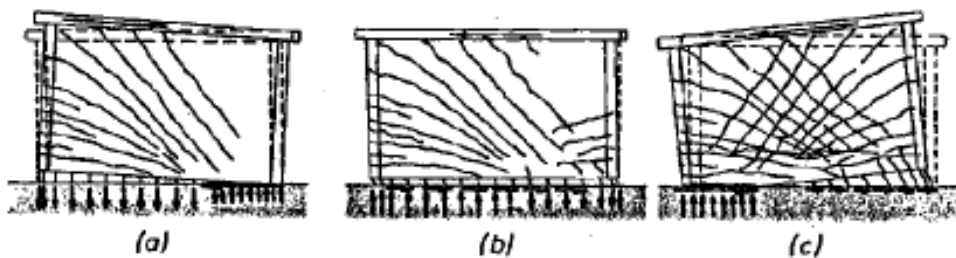
1. Kegagalan tarik diagonal (*diagonal tension failure*)

Kegagalan ini terjadi ketika tulangan geser horizontal tidak mencukupi. Kegagalan ini ditandai dengan adanya retak sudut ke sudut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11(a). Kegagalan tarik diagonal merupakan kondisi yang paling kritis, tetapi kemungkinannya kecil untuk terjadi. Retak sudut yang kemungkinan besar terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.11(b) di mana retak terbentuk pada sudut yang lebih curam terhadap horizontal.

2. Kegagalan tekan diagonal (*diagonal compression failure*)

Ketika rata-rata tegangan geser pada dinding geser cukup tinggi dan tulangan geser horizontal yang dibutuhkan telah mencukupi, maka beton dapat mengalami kegagalan tekan diagonal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11(c). Ketika pembebanan siklik diberikan pada dinding geser, maka retak diagonal geser dapat terjadi pada kedua sisi dan kegagalan tekan diagonal dapat terjadi pada gaya geser yang jauh lebih rendah. Apabila pembebanan siklik terus diberikan, maka retak akan dengan cepat merambat ke sepanjang dinding geser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11(d). Kegagalan tekan diagonal ini harus dihindari atau tidak boleh terjadi saat mendesain dinding geser yang daktile karena kegagalan ini menyebabkan dinding kehilangan kekuatannya.

3. *Phenomenon of sliding shear*



Gambar 2.12 Perkembangan Mekanisme *Sliding Shear*  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

Pembebanan siklik yang terus diberikan pada dinding geser dapat menyebabkan tulangan lentur menjadi leleh dan perpindahan geser dapat terjadi pada dasar dinding atau menerus di sepanjang retak lentur dan saling terhubung membentuk pola seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11(e). Perkembangan mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.





## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar di Bawah Pembebanan Siklik” ini termasuk dalam penelitian eksperimental lanjutan yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan pada bulan Agustus 2016 sampai November 2016, sedangkan pengujian semi siklik akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang pada bulan Maret sampai April 2017.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

##### 1. Alat

##### a. Alat Pemotong Beton Bertulang

Digunakan untuk memotong benda uji dinding geser beton bertulang agar sesuai dengan dimensi yang direncanakan.

##### b. *Digital Hammer Test*

Merupakan alat pengukur kuat tekan beton yang terjadi pada saat beton sudah dalam keadaan matang lebih dari 28 hari.

##### c. *Loading Frame*

Merupakan *frame* konstruksi baja WF dengan kapasitas beban 7 ton yang digunakan untuk menopang benda uji.

##### d. *Hydraulic Jack*

Digunakan untuk memberikan beban aksial dan lateral ke benda uji dinding geser beton bertulang. *Hydraulic jack* yang dibutuhkan sebanyak 3 unit.

##### e. *Load Cell*

Digunakan untuk membaca beban dari *hydraulic jack* sehingga hasil pembebanan dapat terbaca sesuai dengan tahap pembebanan yang direncanakan.

f. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*

Digunakan untuk mengukur *displacement* yang terjadi pada spesimen dinding geser. LVDT yang digunakan sejumlah 5 buah.

g. *Dial Gauge*

Digunakan sejumlah 4 (empat) buah untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi pada spesimen dinding geser.

h. Alat Tulis dan Mistar

Digunakan untuk membuat kotak-kotak dengan ukuran 5 cm x 5 cm di permukaan dinding geser beton bertulang yang berguna untuk menandai retak yang terjadi sehingga dapat terlihat pola retaknya.

i. Kamera

Digunakan untuk mendokumentasikan gambar-gambar kegiatan penelitian yang diperlukan.

j. Alat Pendukung Lain

Digunakan untuk membantu pelaksanaan penelitian, seperti *mini crane* dan tali.

2. Bahan

a. SW-50-1,5

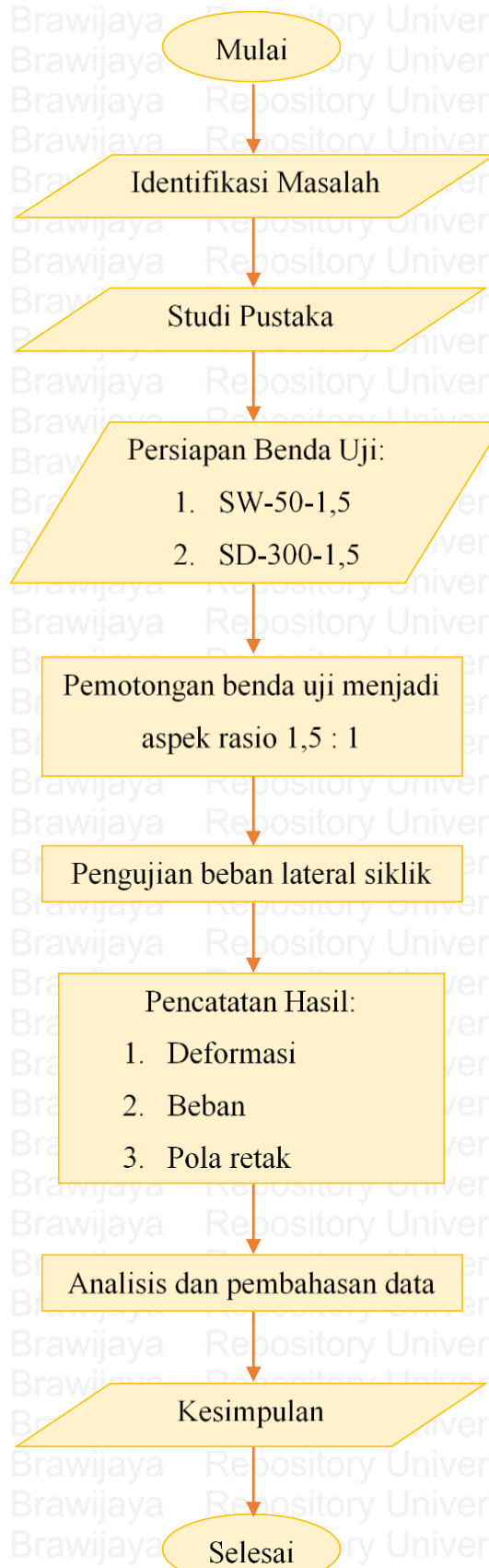
Merupakan benda uji dinding geser dengan jarak tulangan vertikal 50 mm dan jarak tulangan horizontal 150 mm.

b. SD-300-1,5

Merupakan benda uji dinding geser dengan variasi tulangan horizontal yang dibuat ganda dengan jarak penulangan 300 mm.



### 3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Rancangan Penelitian

#### 3.4.1 Campuran Beton

Beton direncanakan mempunyai kuat tekan beton silinder rata-rata  $f'c$  sebesar 20 MPa yang akan diuji menggunakan *Hammer Test*.

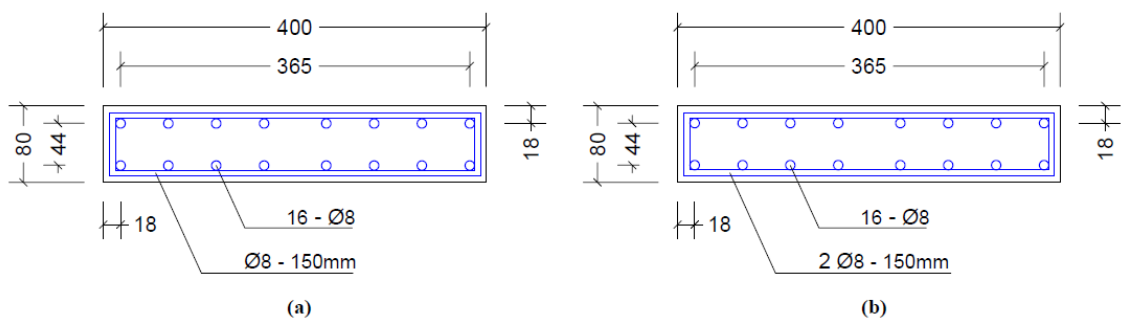
#### 3.4.2 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji dalam penelitian ini adalah 2 (dua) buah yang terdiri dari:

1. Dinding geser dengan dimensi 80 mm x 400 mm, tinggi 600 mm. Memakai tulangan vertikal 16 – Ø8 dengan variasi tulangan horizontal Ø8 – 150 mm.
2. Dinding geser dengan dimensi 80 mm x 400 mm, tinggi 600 mm. Memakai tulangan vertikal 16 – Ø8 dengan variasi tulangan horizontal 2 Ø8 – 300 mm.

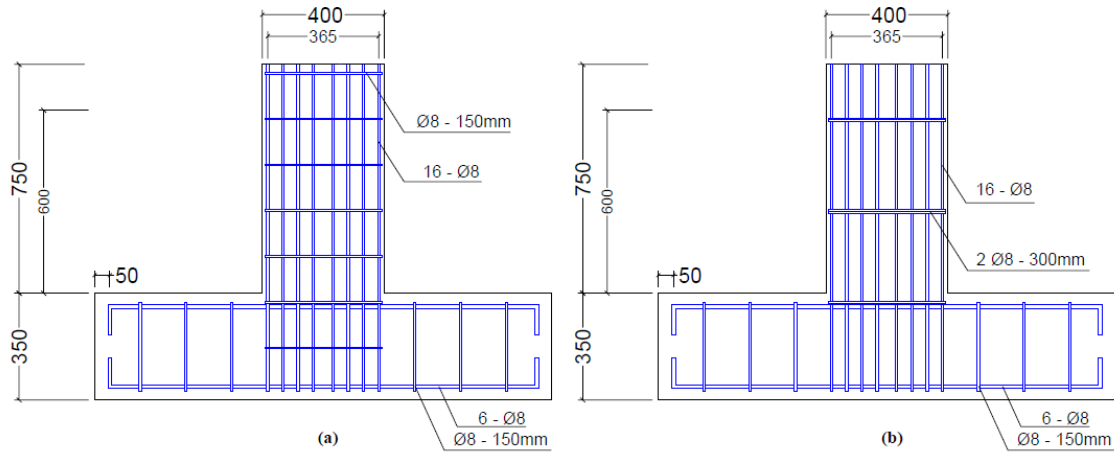
Tabel 3.1. Spesifikasi Benda Uji Dinding Geser

Kode Dinding Geser	Dimensi (mm)	Tinggi (mm)	Aspek Rasio Badan	$\rho_v$ (%)	$\rho_h$ (%)	Tulangan Sengkan	Tulangan Longitudinal
SW-50-							
1,5	400 x 800	60	1,5	2,44	0,813	Ø8-150	16-Ø8
SD-300-							
1,5	400 x 800	60	1,5	2,44	0,813	2 Ø8-300	16-Ø8



Gambar 3.2 Tampak Atas (a) Benda Uji SW-50-1,5; (b) Benda Uji SD-300-1,5





Gambar 3.3 Potongan Memanjang Dinding Geser (a) Benda Uji SW-50-1,5; (b) Benda Uji SD-300-1,5

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan berupa penyediaan alat untuk pemotongan benda uji agar sesuai dengan rasio yang dibutuhkan yaitu 1,5. Persiapan dilanjutkan dengan *setting up frame* baja dan alat pengujian siklik.

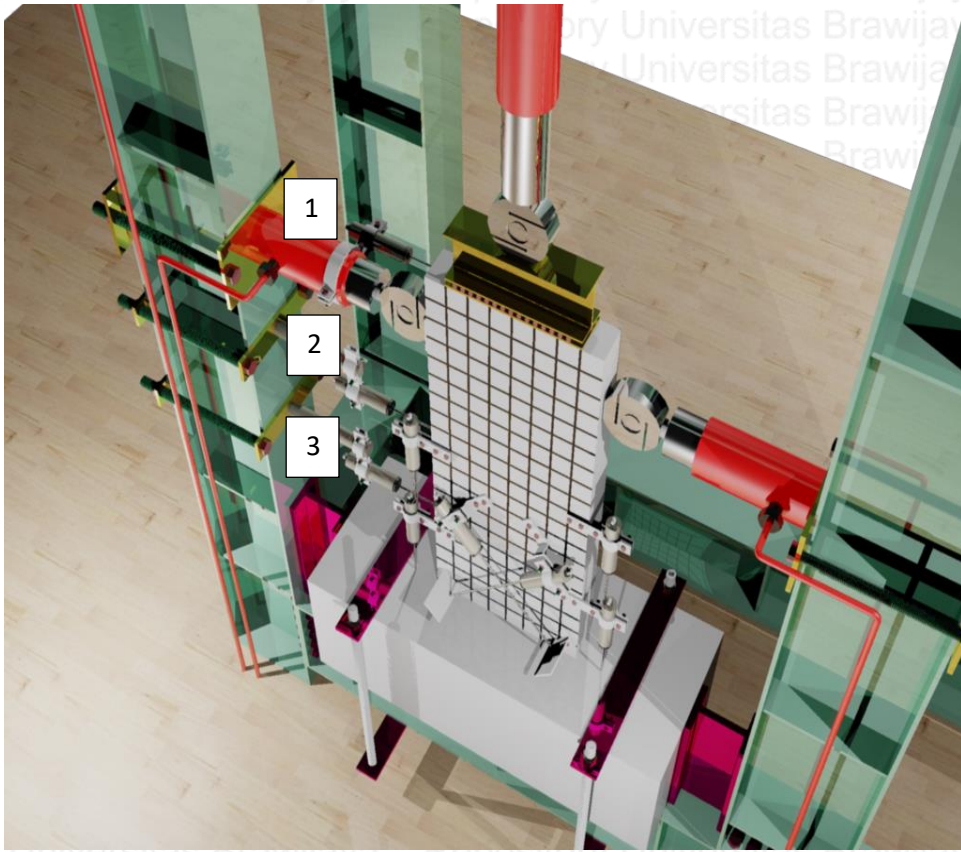
#### 3.5.2 Setting Up

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji dinding geser berdiri tegak pada 2 (dua) buah *loading frame* (rangka baja).

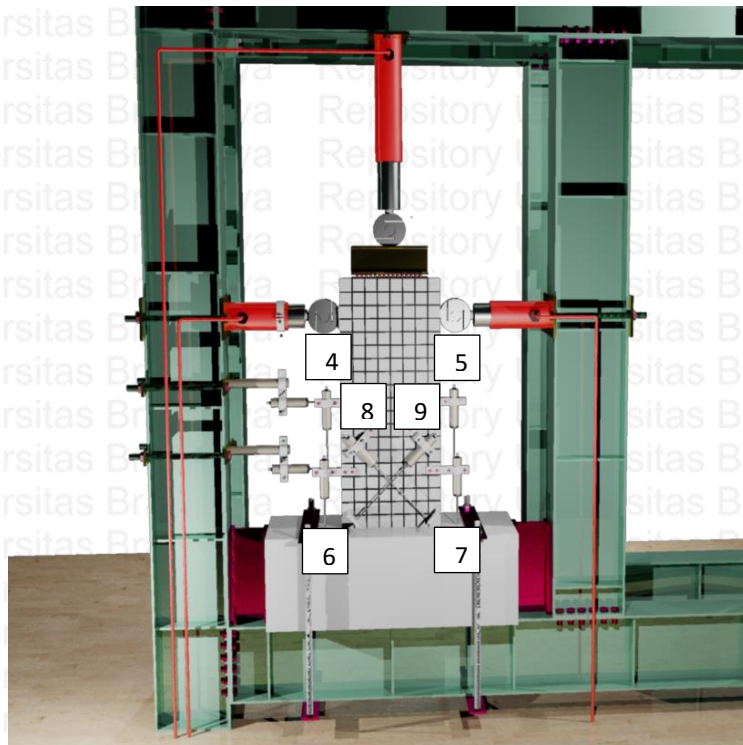
Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian ini adalah *load cell*, *hydraulic jack*, LVDT dan *dial gauge*. *Load cell* yang digunakan adalah sebanyak 3 (tiga) buah, dimana dua buah diletakkan pada bagian kanan dan kiri kepala dinding geser yang berfungsi sebagai pembaca beban lateral atau beban siklik, sedangkan satu buah diletakkan di atas kepala dinding geser yang berfungsi sebagai pembaca beban aksial.

*Displacement* beton diperoleh dari 5 buah LVDT dan 4 buah *dial gauge*, yang digunakan untuk menghitung:

- Perpindahan lateral total (LVDT 1,2,3)
- Perpindahan lentur (LVDT 2, 3, 4 dan 7)
- Perpindahan geser (LVDT 8 dan 9)



(a)



(b)

Gambar 3.4 Skema Pengujian Semi Siklik (a) Tampak Atas; (b) Tampak Depan  
Sumber: Data pengujian



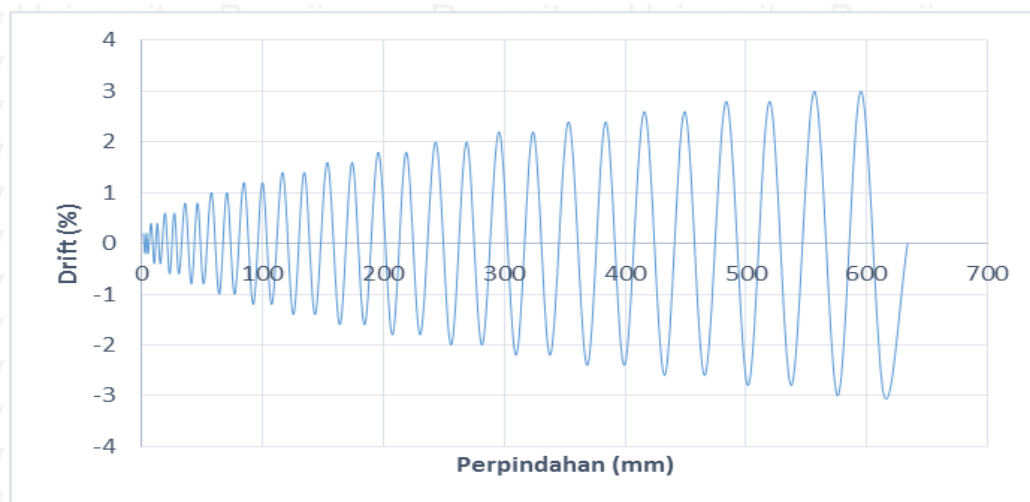
### 3.5.3 Beban Rencana

Beban aksial yang digunakan adalah 5% dari beban aksial tekan sentris ( $Pn_0$ ). Beban aksial sentris yang akan diberikan sama dengan beban aksial penelitian sebelumnya sebesar 3000 kg. Sedangkan beban lateral maksimum yang digunakan didapat dari nilai  $Mu/h$ , dimana  $h$  merupakan tinggi dinding geser sebesar 60 cm.

### 3.5.4 Pelaksanaan Pengujian Siklik

Pengujian spesimen dapat dilakukan setelah benda uji dinding geser sudah berumur di atas 28 hari. Hal ini terkait dengan kesiapan alat pengujian yang akan digunakan. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dinding geser diberi beban kecil untuk mengontrol bahwa *dial gauge* dan *load cell* yang akan digunakan berfungsi seperti yang direncanakan.

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial sebesar 5% dari beban aksial ultimit yang bernilai tetap selama pengujian dilakukan dan beban lateral yang dikenakan sesuai dengan siklus lateral *drift* tanpa melebihi beban lateral maksimum yang diijinkan, yaitu  $Mu/h$ .



Gambar 3.5 Siklus Pembebanan Lateral Berdasarkan *Drift*

Sumber: Data Pengujian

Pembacaan beban dan perpindahan dilakukan secara bertahap, mulai pembebanan nol sampai terjadi kegagalan dinding geser dengan asumsi keadaan ultimit dicapai ketika terjadi penurunan beban 20% dari beban lateral maksimum. Sedangkan besarnya tahap pembacaan beban pada tiap-tiap pembebanan (*loading step*) disesuaikan dengan akurasi dan jumlah data yang diinginkan, di mana dalam hal ini digunakan 4 titik untuk membentuk bunga siklik pada masing-masing siklusnya.

Selama pengujian, seluruh data dicatat dan direkam untuk dilakukan analisa.

Termasuk di dalamnya adalah fenomena yang terjadi selama pengujian seperti retak awal, leleh tulangan longitudinal, perpanjangan retak, *spalling*, dan beban untuk setiap perpindahan.

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*), adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian lanjutan ini variabel bebasnya adalah aspek rasio tinggi dan lebar dinding geser serta jarak antara tulangan horizontal.
2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian lanjutan ini variabel terikatnya adalah momen kapasitas, pola retak, daktilitas, dan kekakuan.

### 3.7 Data Pengamatan

Data yang diamati pada penelitian ini adalah data beban *displacement* pada saat pengujian siklik benda uji dinding geser serta pengamatan pada pola perambatan retak, baik mengenai retak awal, lokasi, ukuran dan juga *spalling* yang terjadi.

#### a. Data Kuat Tekan Beton

Data ini diperoleh dari *Hammer Test* pada benda uji setelah pengujian siklik dilakukan.

#### b. Data *Lateral Load Displacement*

Pada saat pengujian benda uji dinding geser berlangsung, dilakukan pengamatan dan pembacaan beban lateral serta perpindahan yang terjadi pada benda uji. Data beban didapat dari *load cell*, sedangkan data perpindahan didapat dari LVDT.

#### c. Data Pengamatan Retak

Data ini diperoleh dengan mencatat beban retak awal, lokasi, dan ukuran retak yang terjadi pada benda uji. Data pola retak yang terjadi pada benda uji digambarkan dengan cara membagi permukaan dinding geser menjadi grid dengan ukuran kotak 50 mm x 50 mm.





### 3.8 Analisis Hasil

Dalam penelitian ini akan menganalisis hasil sebagai berikut:

a. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton diperoleh dengan pembacaan angka pada saat melakukan

*Hammer Test*.

b. Beban Lateral dan Perpindahan

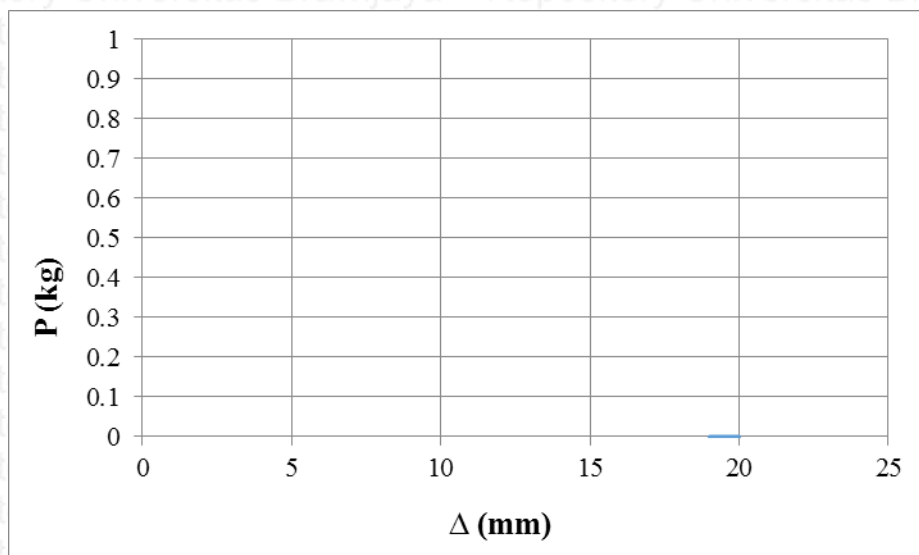
Pencatatan beban lateral dan perpindahan yang terjadi pada benda uji dinding geser

saat pengujian diperlukan untuk membuat grafik beban – perpindahan.

Tabel 3.2. *Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi*

Drift %	$\Delta_{tot}$ mm	Beban kg	$\Delta_2$ mm	$\Delta_3$ mm	$\Delta_4$ mm	$\Delta_5$ mm	$\Delta_6$ mm	$\Delta_7$ mm	$\Delta_8$ mm	$\Delta_9$ mm
0.00										
0.25										
0.00										
-0.25										
0.00										
0.25										
0.00										
-0.25										
0.00										
0.50										
0.00										
-0.50										
0.00										
0.50										
0.00										
-0.50										
0.00										
0.75										
0.00										
-0.75										
0.00										
0.75										
0.00										
-0.75										
0.00										
1.00										
0.00										
-1.00										
0.00										
1.00										
0.00										
-1.00										
0.00										
-										
-										
-										





Gambar 3.6 Hubungan Beban ( $P$ ) dengan Deformasi atau Perpindahan ( $\Delta$ )

Sumber: Data Pengujian

Tabel 3.3. Form Data Hasil Pengamatan Pola Retak

Drift %	$\Delta_{tot}$ mm	Beban kg	Retak yang Terjadi mm
0.25			
-0.25			
0.25			
-0.25			
0.50			
-0.50			
0.50			
-0.50			
0.75			
-0.75			
0.75			
-0.75			
1.00			
-1.00			
1.00			
-1.00			
-			
-			
-			

### 3.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian pengaruh aspek rasio terhadap daktilitas dan kekakuan akibat pembebanan siklik pada dinding geser beton bertulang dengan variasi jarak tulangan horizontal adalah:

1. Dinding geser dengan aspek rasio 1,5 akan memiliki daktilitas yang lebih kecil dan kekakuan yang sama atau lebih besar dibandingkan dengan dinding geser dengan aspek rasio 2.
2. Semakin rapat jarak tulangan horizontal akan menyebabkan nilai daktilitas dan kekakuan pada dinding geser dengan aspek rasio yang sama akan menjadi semakin besar.





## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Dinding Geser

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa dinding kantilever dengan fondasi beton bertulang. Bahan penyusun benda uji merupakan beton dan tulangan baja dengan jarak tulangan vertikal yang sama dan jarak tulangan horizontal yang bervariasi. Untuk mengetahui karakteristik dari bahan penyusun benda uji maka dilakukan analisis dari dua pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya, yaitu:

1. Pengujian kekuatan beton
2. Pengujian tarik baja tulangan

#### 4.1.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian dinding geser ini dilakukan dengan menggunakan *hammer test*, yaitu *digital hammer test*. *Hammer test* merupakan pengujian pada permukaan beton untuk mengetahui kekuatan pada saat beton sudah mengering tanpa harus merusak beton tersebut. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Scmidt Rebound Hammer*.

Prinsip kerja alat ini yaitu dengan memberikan pantulan massa di ujung alat yang mengenai permukaan beton yang rata dengan ketebalan minimum yaitu 15 cm. Kemudian nilai kuat tekan beton didapat dari nilai langsung pada saat pembacaan. Visualisasi pengujian kuat tekan beton dengan *hammer test* yang dilakukan pada beton selama percobaan dapat dilihat dalam Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 *Hammer Test*

Pengujian diawali dengan memberikan titik-titik pada permukaan beton dengan jarak minimal antar titik adalah 2,5 cm kemudian alat ditempel secara tegak horizontal (atau bisa juga secara vertikal dengan pengalihan faktor koreksi) kemudian alat akan menembak lalu hasilnya didapat dengan membaca pembaca di alat.

Hasil pengujian kuat tekan beton dengan *digital hammer test* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini. Nilai kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang didapat inilah yang kemudian akan digunakan dalam setiap perhitungan analisis dinding geser.

Tabel 4.1. Hasil *Hammer Test*

Lokasi Penembakan	SW-50-1,5	SD-300-1,5
	MPa	MPa
Samping Pondasi	29	20.5
Atas Pondasi	25	23
Kuat Tekan Beton ( $f_c$ )	27	21.75

#### 4.1.2 Pengujian Tarik Baja Tulangan

Pengujian tarik baja tulangan penyusun dinding geser telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya. Pada penelitian kali ini, penulis tidak melakukan pengujian tarik baja tulangan dikarenakan tulangan yang digunakan sama dengan tulangan pada penelitian sebelumnya dan telah diuji pada penelitian sebelumnya.

Hasil pengujian tarik baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini. Dari tabel tersebut dapat dilihat tegangan leleh ( $f_y$ ) baja tulangan dinding geser yang didapat dari pengujian tersebut adalah sebesar 378,86 MPa, sedangkan tegangan ultimit ( $f_u$ ) yang didapat adalah sebesar 469,897 MPa. Nilai tegangan leleh dan tegangan ultimit yang didapat inilah yang kemudian akan digunakan dalam setiap perhitungan analisis dinding geser.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Tarik Baja Tulangan

No Tulangan	Diameter (mm)	Diameter Aktual (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	
1	Ø8	7.88	48.744	16406	336.57	473.05	
2	Ø8	7.88	48.744	19660	403.33	461.17	
3	Ø8	7.88	48.744	19335	396.66	475.47	
					<b><math>f_y</math></b>	<b>378.86</b>	<b>469.897</b>

## 4.2 Kapasitas Teoritis Dinding Geser

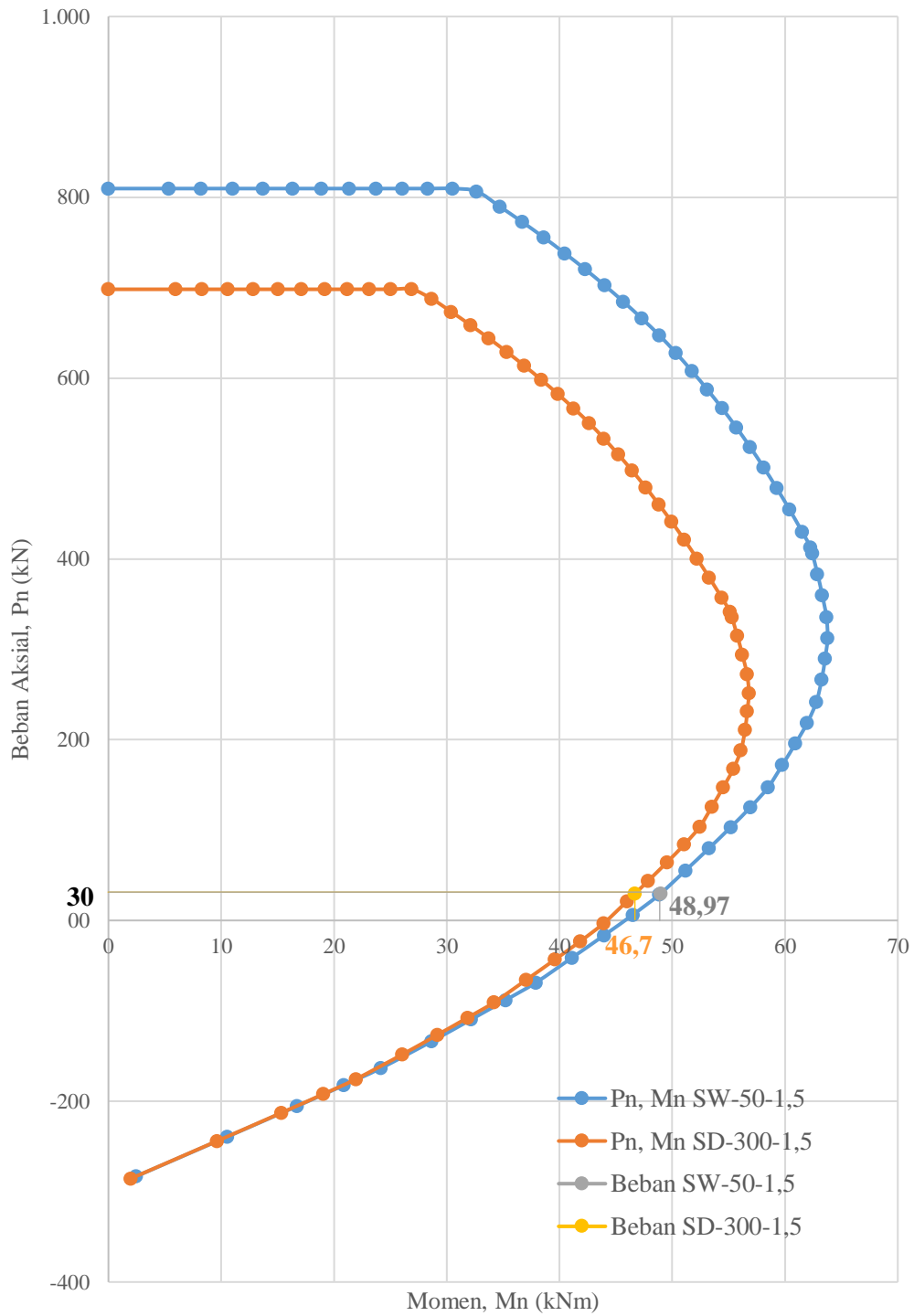


Perhitungan kapasitas dinding geser secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai geser atau lateral maksimum ( $P_{hmax}$ ) dan momen nominal ( $M_n$ ) yang bisa ditahan dengan pembebanan beban aksial sebesar 5% dari beban aksial sentris ( $P_{no}$ ). Data yang digunakan dalam perhitungan dinding geser secara teoritis ini menggunakan data hasil pengujian kuat tekan beton dan pengujian tulangan yang merupakan nilai  $f_c'$  dan  $f_y$  aktual dari benda uji dinding geser.

Perhitungan teoritis dinding geser dalam penelitian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan diagram interaksi dan momen kurvatur. Pada analisis teoritis menggunakan diagram interaksi, dinding geser diasumsikan sebagai sebuah kolom dengan tumpuan jepit bebas yang menerima beban aksial, momen, dan beban horizontal, sedangkan pada analisis dinding geser menggunakan momen kurvatur didapatkan dari sebuah program momen dengan data-data terlampir pada lampiran.

#### 4.2.1 Diagram Interaksi

Analisis teoritis dinding geser menggunakan diagram interaksi ini sama dengan analisis teoritis pada kolom dengan asumsi tumpuan jepit bebas. Perhitungan teoritis dinding geser dengan diagram interaksi terlampir pada lampiran dan hubungan momen dengan beban aksial kedua benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari diagram interaksi tersebut, beban lateral yang terjadi pada saat benda uji menerima beban aksial yang sama besar dapat diketahui juga. Beban lateral tersebut didapat dari momen pada beban aksial yang sama per tinggi dari dinding geser. Hasil perhitungan momen dan beban lateral teoritis untuk beban aksial yang sama dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4.2 Diagram Interaksi SW-50-1,5 dan SD-300-1,5

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Teoritis Dinding Geser dengan Diagram Interaksi

Dinding Geser	$f_c'$ (MPa)	P (kg)	$M_n$ (kgm)	$P_h$ (kg)
SD-300-1,5	21.75	3000	4671.51	7785.85
SW-50-1,5	27.00	3000	4897.08	8161.79

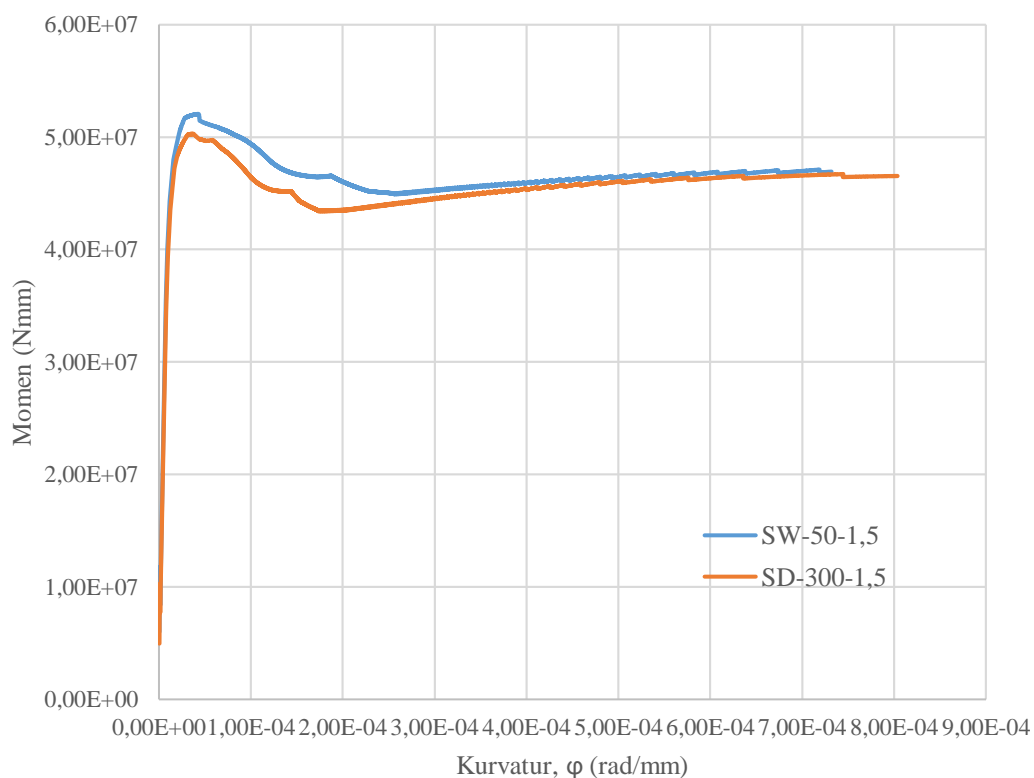


Berdasarkan Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa dengan beban aksial yang sama benda uji SW-50-1,5 mempunyai kapasitas momen yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5. Hal tersebut dikarenakan nilai kuat tekan beton benda uji SW-50-1,5 lebih besar dibandingkan nilai kuat tekan beton benda uji SD-300-1,5. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan beton sangat mempengaruhi hasil analisis dengan diagram interaksi.

Selain kuat tekan beton ( $f_c'$ ), faktor lain yang mempengaruhi perhitungan kapasitas dinding geser dengan diagram interaksi adalah jarak tulangan vertikal. Namun, hal tersebut tidak terlalu berpengaruh pada perhitungan ini karena kedua benda uji mempunyai jarak tulangan vertikal yang sama. Berbeda dengan jarak tulangan vertikal, pengaruh jarak tulangan horizontal terhadap kapasitas beban aksial dan momen dinding geser adalah sangat kecil, sehingga dapat diabaikan.

#### 4.2.2 Momen-Kurvatur

Analisis hubungan momen dengan kurvatur pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah program momen. Data-data yang diperlukan untuk menjalankan program momen telah terlampir dalam lampiran dan hubungan momen dengan kurvatur dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Momen-Kurvatur Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5

Selain menggambarkan hubungan momen dengan kurvatur dari dinding geser, perhitungan dengan program momen juga bisa menunjukkan momen dan kurvatur yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.4. Apabila momen dan kurvatur dapat diketahui, maka besar perpindahan dan beban lateral yang terjadi bisa diketahui juga. Perhitungan besarnya perpindahan dan beban lateral yang terjadi pada SW-50-1,5 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini dan perhitungan secara lebih lengkap telah terlampir pada lampiran.

Nilai momen dan kurvatur dinding geser SW-50-1,5 yang didapat dari diagram momen-kurvatur:

$$M_{cr} = 1,18 \times 10^7 \text{ Nmm} = 1,179 \text{ tm}$$

$$M_y = 3,54 \times 10^7 \text{ Nmm} = 3,538 \text{ tm}$$

$$M_u = 5,21 \times 10^7 \text{ Nmm} = 5,205 \text{ tm}$$

$$M_f = 4,49 \times 10^7 \text{ Nmm} = 4,491 \text{ tm}$$

$$\varphi_{cr} = 8,86 \times 10^{-7} \text{ rad/mm}$$

$$\varphi_y = 7,47 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

$$\varphi_u = 4,24 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\varphi_f = 2,56 \times 10^{-4} \text{ rad/mm}$$

Beban lateral yang terjadi pada dinding geser dengan tinggi ( $L$ ) sebesar 600 mm:

$$P_{cr} = \frac{M_{cr}}{L} = \frac{1,179}{600 \times 10^{-3}} = 1,965 \text{ t} = 1964,82 \text{ kg}$$

$$P_y = \frac{M_y}{L} = \frac{3,538}{600 \times 10^{-3}} = 5,896 \text{ t} = 5896,38 \text{ kg}$$

$$P_u = \frac{M_u}{L} = \frac{5,205}{600 \times 10^{-3}} = 8,675 \text{ t} = 8675,38 \text{ kg}$$

$$P_f = \frac{M_f}{L} = \frac{4,491}{600 \times 10^{-3}} = 7,485 \text{ t} = 7484,98 \text{ kg}$$

Panjang sendi plastis menurut Park dan Paulay (1975):

$$L_p = 0,5 H_w = 0,5 \times 400 = 200 \text{ mm}$$

Rotasi yang terjadi:

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_{cr} = \frac{1}{2} \times 600 \times 8,86 \times 10^{-7} = 2,66 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta_y = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_y = \frac{1}{2} \times 600 \times 7,47 \times 10^{-6} = 2,24 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_u = \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p$$



$$\theta_u = 2,24 \times 10^{-3} + (4,24 \times 10^{-5} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_u = 9,23 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_f = \theta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p$$

$$\theta_f = 2,24 \times 10^{-3} + (2,56 \times 10^{-4} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_f = 5,19 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

Perpindahan yang terjadi:

$$\Delta_{cr} = \frac{2}{3} \times L \times \theta_{cr} = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,66 \times 10^{-4} = 0,106 \text{ mm}$$

$$\Delta_y = \frac{2}{3} \times L \times \theta_y = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,24 \times 10^{-3} = 0,897 \text{ mm}$$

$$\Delta_u = \Delta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_u = 0,897 + (4,24 \times 10^{-5} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

$$\Delta_u = 4,392 \text{ mm}$$

$$\Delta_f = \Delta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_f = 0,897 + (2,56 \times 10^{-4} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

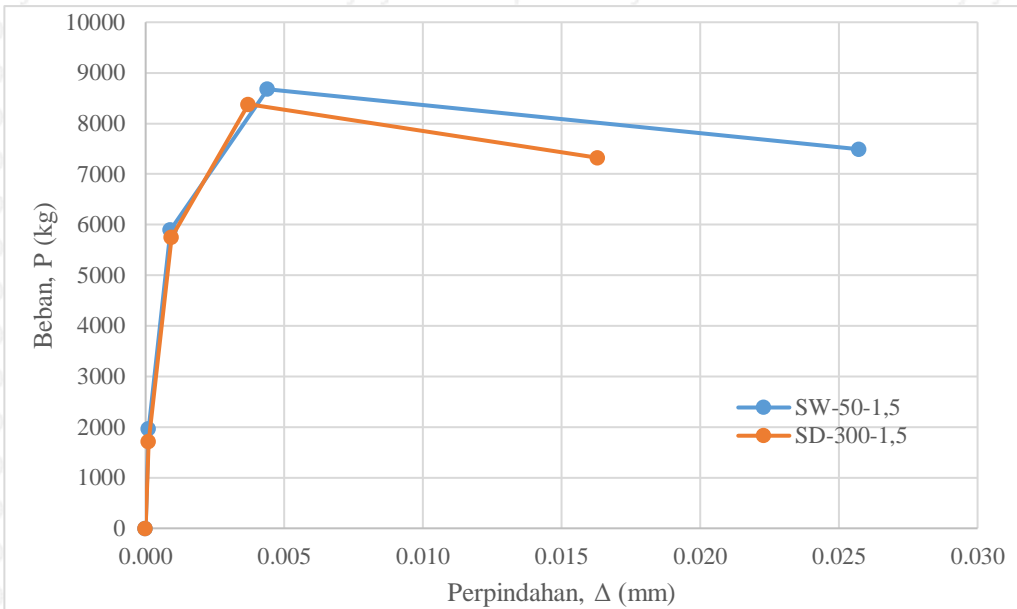
$$\Delta_f = 25,735 \text{ mm}$$

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Momen-Kurvatur

Kondisi	Kurvatur	Momen	Kurvatur	Momen
	$\varphi$ rad/mm	M tm	$\varphi$ rad/mm	M tm
	<b>SW-50-1,5</b>		<b>SD-300-1,5</b>	
Awal	0.000	0.000	0.000	0.000
Crack	8.865.E-07	1.179	9.195E-07	1.026
Yield	7.473.E-06	3.538	7.741E-06	3.450
Ultimate	4.243.E-05	5.205	3.560E-05	5.028
Failure	2.559.E-04	4.491	1.616E-04	4.392

Tabel 4.5. Perpindahan dan Beban Lateral yang Terjadi Berdasarkan Hubungan Momen dengan Kurvatur

Kondisi	Perpindahan	Beban	Perpindahan	Beban
	$\Delta$ mm	$P_h$ kg	$\Delta$ mm	$P_h$ kg
	<b>SW-50-1,5</b>		<b>SD-300-1,5</b>	
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	0.106	1964.82	0.110	1709.65
Yield	0.897	5896.38	0.929	5750.68
Ultimate	4.392	8675.38	3.715	8379.73
Failure	25.735	7484.98	16.311	7319.88



Gambar 4.4 Hubungan Beban Lateral dengan Perpindahan Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 Hasil Analisis Momen Kurvatur

Berdasarkan hasil analisis momen-kurvatur dengan program momen, benda uji SW-50-1,5 mempunyai kapasitas momen yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5. Hal tersebut menyebabkan beban lateral yang dapat diterima oleh benda uji SW-50-1,5 juga lebih besar dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5. Kapasitas momen benda uji SW-50-1,5 tersebut lebih besar dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5 dikarenakan benda uji SW-50-1,5 mempunyai nilai kuat tekan beton yang lebih besar dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5.

Selain memiliki kapasitas momen dan beban lateral yang lebih besar, benda uji SW-50-1,5 juga terlihat dapat menahan deformasi yang lebih besar dari benda uji SD-300-1,5. Hal tersebut dikarenakan benda uji SW-50-1,5 mempunyai jarak tulangan horizontal yang lebih rapat dibandingkan dengan benda uji SD-300-1,5 sehingga volume beton yang dikekang menjadi lebih sedikit dan kekangan menjadi lebih efektif serta kemungkinan beton untuk pecah semakin kecil.

Namun terlihat pada Gambar 4.3 bahwa kurvatur benda uji SD-300-1,5 lebih besar dari benda uji SW-50-1,5. Hal tersebut dikarenakan tulangan horizontal benda uji SD-300-1,5 dirangkap sehingga diameter tulangan horizontal benda uji SD-300-1,5 menjadi lebih besar dari benda uji SW-50-1,5. Diameter yang lebih besar tersebut menyebabkan gaya geser yang dapat ditahan benda uji SD-300-1,5 menjadi lebih besar dibandingkan benda uji SW-50-1,5 meskipun jarak tulangan gesernya lebih lebar.



### 4.3 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik

Pengujian benda uji dengan pembebanan aksial dan lateral siklik dilakukan saat beton telah mencapai umur lebih dari 28 hari. Data hasil pengujian yang didapatkan berupa besar beban lateral yang dibutuhkan untuk mencapai nilai perpindahan total yang sudah ditentukan. Kontrol perpindahan pada pengujian ini dibagi menjadi dua siklus kenaikan *drift*, yaitu kenaikan *drift* sebesar 0,25% pada saat *drift* 0% sampai 1% dan kenaikan *drift* sebesar 0,5% pada saat *drift* 1% sampai kapasitas maksimum *load cell*.

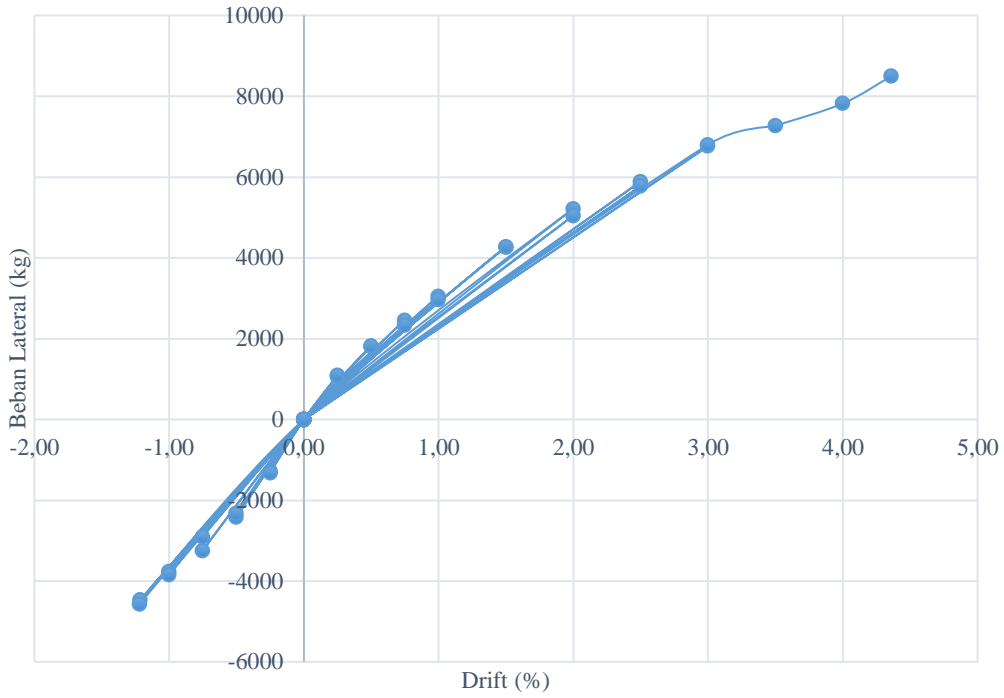
Pengujian pada setiap siklus dilakukan sekali pengulangan sehingga untuk perpindahan yang sama akan didapatkan dua nilai beban lateral. Analisis hubungan beban dan perpindahan untuk kurva negatif maupun positif dilakukan dengan merata-rata hasil setiap pembebanan lateral pada siklus yang sama. Karena kapasitas *load cell* yang terbatas sebesar 5 ton maka untuk pembebanan di atas 5 ton pembebanan siklik akan dilakukan pada satu arah.

#### 4.3.1 Benda Uji SW-50-1,5

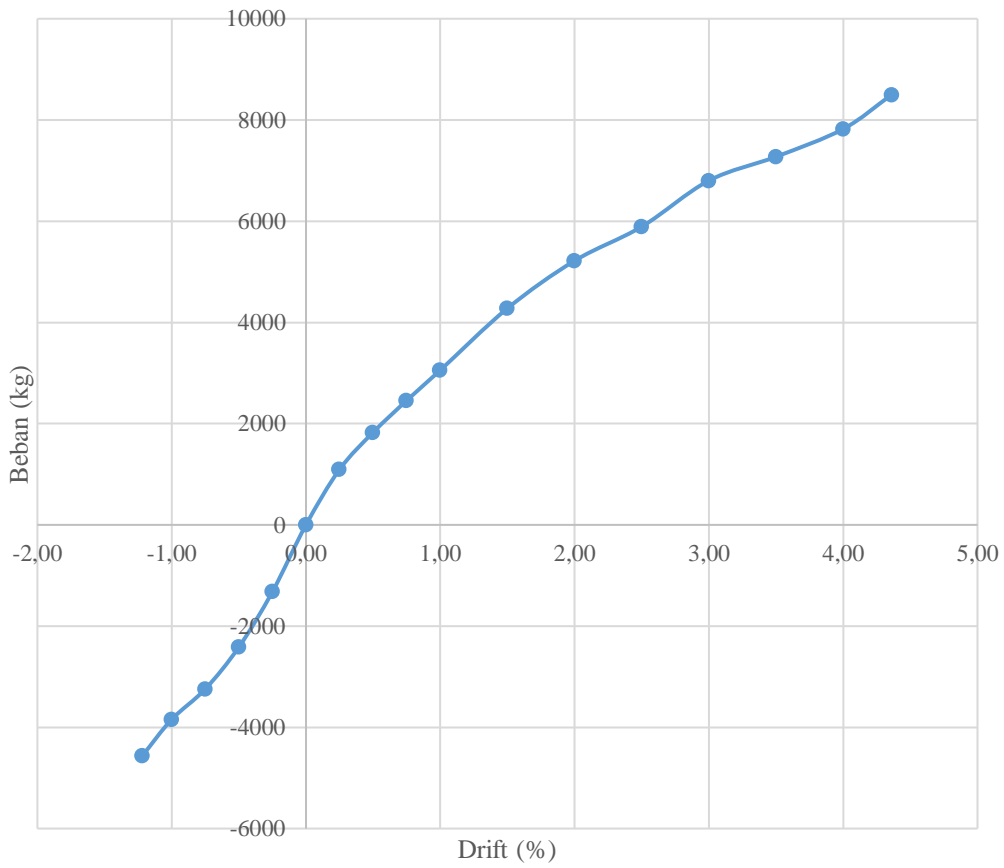
Benda uji SW-50-1,5 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,44% tanpa adanya variasi jarak tulangan horizontal. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 4,36% di mana merupakan kapasitas maksimum alat. Pada *drift* 4,36% ini, benda uji belum mengalami penurunan beban. Hasil pengujian pembebanan siklik ini dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4.6. Beban Lateral Maksimum Benda Uji SW-50-1,5 pada Setiap *Drift*

Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
-1.22	-4565	-7.32
-1.00	-3844	-6.00
-0.75	-3244	-4.50
-0.50	-2415	-3.00
-0.25	-1321	-1.50
0.00	0	0.00
0.25	1096	1.50
0.50	1828	3.00
0.75	2458	4.50
1.00	3056	6.00
1.50	4278	9.00
2.00	5218	12.00
2.50	5892	15.00
3.00	6802	18.00
3.50	7274	21.00
4.00	7822	24.00
4.36	8500	26.17



Gambar 4.5 Grafik Histeresis Drift-Beban Lateral Benda Uji SW-50-1,5



Gambar 4.6 Grafik Envelope Drift-Beban Lateral Benda Uji SW-50-1,5

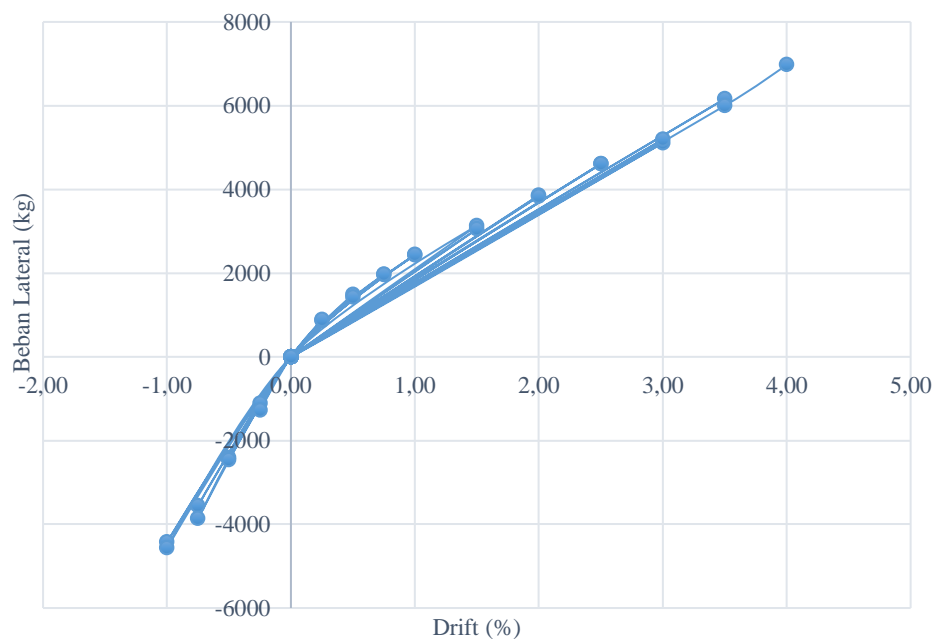


### 4.3.2 Benda Uji SD-300-1,5

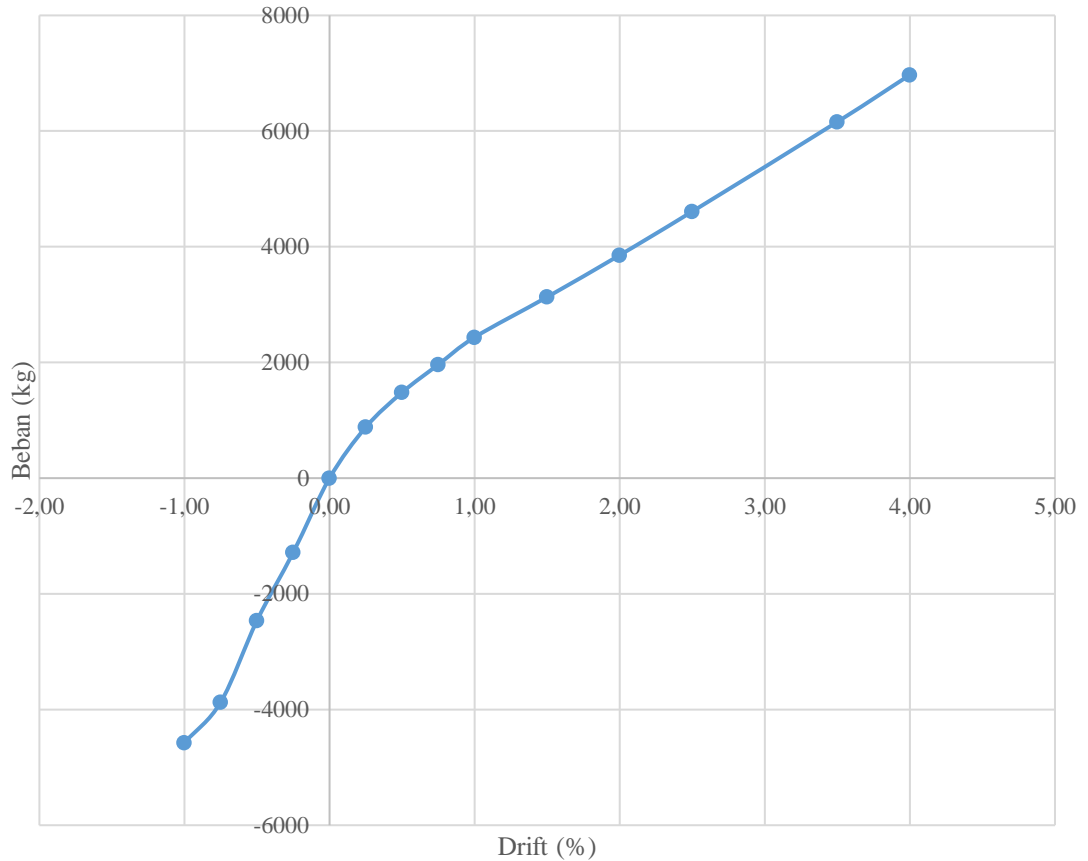
Benda uji SD-300-1,5 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,44% dengan adanya variasi jarak tulangan horizontal selebar 300 mm. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 4% di mana merupakan kapasitas maksimum alat. Pada *drift* 4% ini, benda uji belum mengalami penurunan beban. Hasil pengujian pembebanan siklik benda uji SD-300-1,5 ini dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4.7 Beban Lateral Maksimum Benda Uji SD-300-1,5 pada Setiap *Drift*

Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
-1.00	-4572	-6.00
-0.75	-3872	-4.50
-0.50	-2462	-3.00
-0.25	-1283	-1.50
0.00	0	0.00
0.25	882	1.50
0.50	1482	3.00
0.75	1964	4.50
1.00	2436	6.00
1.50	3132	9.00
2.00	3856	12.00
2.50	4610	15.00
3.50	6160	21.00
4.00	6972	24.00



Gambar 4.7 Grafik Histeresis *Drift*-Beban Lateral Benda Uji SD-300-1,5



Gambar 4.8 Grafik *Envelope Drift-Beban Lateral* Benda Uji SD-300-1,5

### 4.3.3 Kekuatan Lateral Dinding Geser

Beban lateral maksimum merupakan hal penting untuk mengetahui kapasitas daktilitas serta kekakuan dari benda uji. Beban lateral maksimum digunakan untuk menentukan beban pada saat kondisi leleh maupun untuk menentukan daktilitas di saat leleh maupun daktilitas saat beban maksimum serta untuk menentukan kekakuan struktur. Oleh sebab itu, perlu adanya kontrol terhadap nilai beban lateral maksimum pada saat pengujian. Perbandingan antara nilai beban lateral maksimum hasil eksperimen dengan beban lateral teoritis hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.8. Perbandingan Nilai Beban Lateral Maksimum Hasil Eksperimen dengan Hasil Analisis Diagram Interaksi

Dinding Geser	$P_{h\text{maks}}$ (kg)		Selisih %
	Eksperimen	Teoritis	
SW-50-1,5	8500.00	8161.79	4.144
SD-300-1,5	6972.00	7785.85	11.673



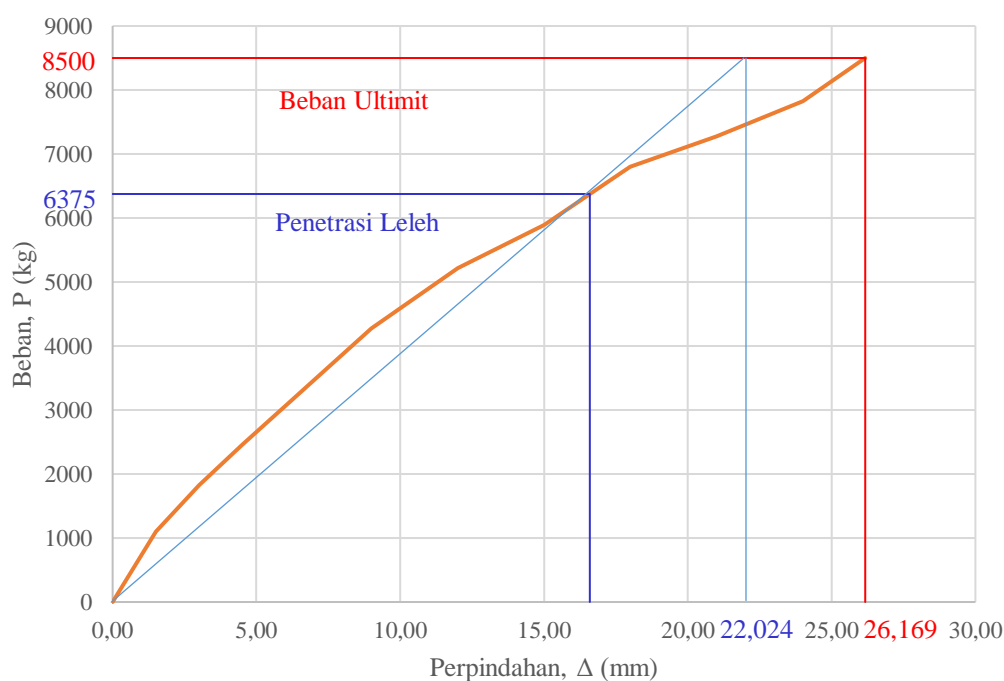
Tabel 4.9. Perbandingan Nilai Beban Lateral Maksimum Hasil Eksperimen dengan Hasil Analisis Momen-Kurvatur

Dinding Geser	$P_{h\text{maks}}$ (kg)		Selisih %
	Eksperimen	Teoritis	
SW-50-1,5	8500.00	8675.38	2.022
SD-300-1,5	6972.00	8379.73	20.191

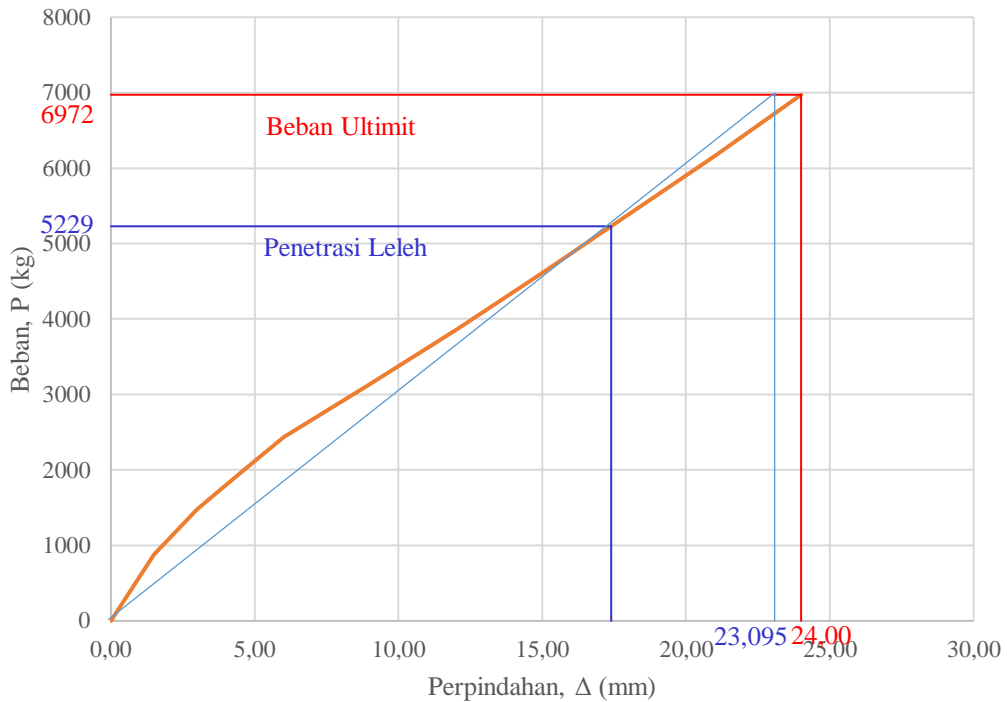
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa ada perbedaan selisih yang tidak terlalu jauh antara beban lateral teoritis dengan beban hasil eksperimen. Perbedaan ini bisa dikarenakan oleh adanya perpindahan yang cukup besar pada kolom baja di samping kanan spesimen uji, pelelehan baja pengikat fondasi dengan frame serta dikarenakan beban aksial yang tidak selalu stabil sehingga ada kemungkinan bahwa spesimen uji tidak selalu dalam kondisi akurat ketika pengujian. Hasil pengujian inilah yang kemudian akan digunakan pada penghitungan daktilitas serta kekakuan spesimen benda uji berikutnya.

#### 4.3.4 Analisis Perpindahan Saat Leleh

Analisis perpindahan saat leleh dilakukan dengan cara membaca perpindahan saat leleh pada *equivalent elasto-plastic*, yaitu pada saat 75% beban lateral maksimum. Analisis ini sama dengan sistem pengurangan pada kekakuan *secant*. Analisis perpindahan leleh tiap benda uji dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.9 Analisis Perpindahan Saat Leleh Benda Uji SW-50-1,5



Gambar 4.10 Analisis Perpindahan Saat Leleh Benda Uji SD-300-1,5

Berdasarkan Gambar 4.9, benda uji SW-50-1,5 dengan nilai kuat tekan beton sebesar 27 MPa mempunyai kapasitas beban lateral leleh sebesar 6375 kg dengan perpindahan leleh sebesar 22,024 mm. Sementara itu, kapasitas beban lateral leleh benda uji SD-300-1,5 dengan nilai kuat tekan beton sebesar 21,75 MPa berdasarkan Gambar 4.10 adalah sebesar 5229 kg dengan perpindahan leleh sebesar 23,095 mm. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai kuat tekan beton, maka semakin besar kapasitas beban lateral yang dapat ditahan dan semakin kecil perpindahan yang terjadi pada kondisi leleh.

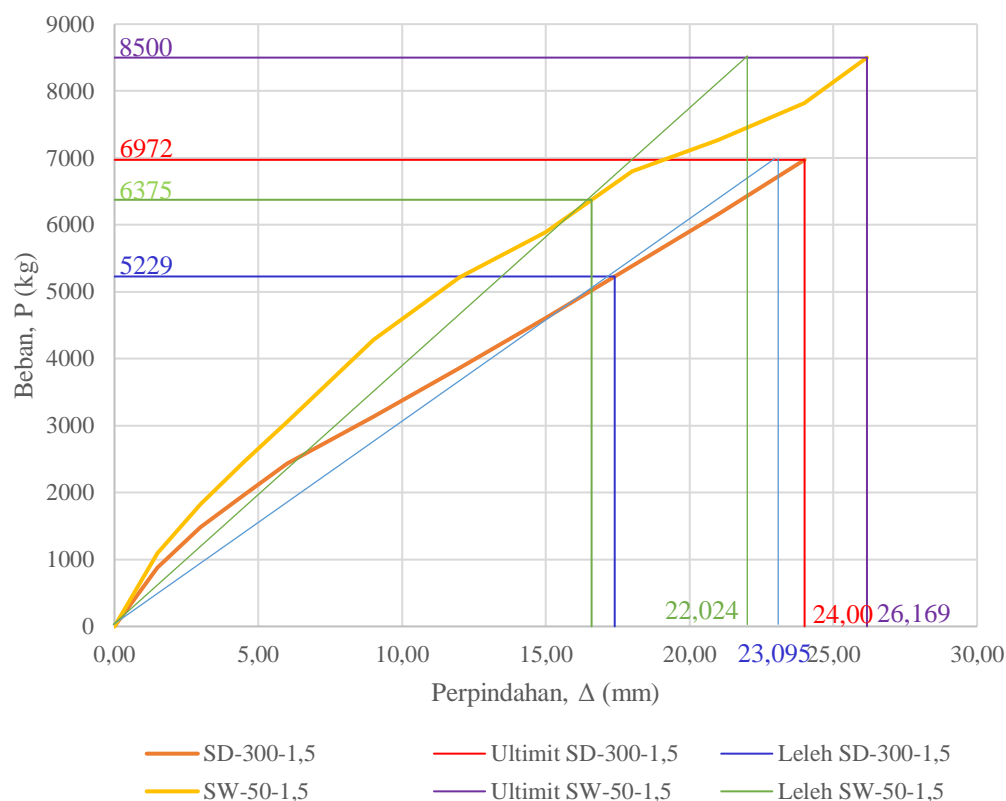
#### 4.4 Analisis Daktilitas Perpindahan

Daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk dapat bertahan dan mengalami lendutan yang besar sebelum akhirnya mengalami keruntuhan. Dalam penelitian ini nilai daktilitas yang akan dihitung adalah nilai daktilitas perpindahan. Daktilitas perpindahan merupakan hasil pembagian dari perpindahan pada kondisi ultimit dengan perpindahan pada kondisi leleh. Kondisi ultimit di sini dapat diartikan menjadi dua kondisi, yaitu kondisi saat struktur mencapai beban puncak atau kapasitas maksimum dan kondisi saat struktur mengalami penurunan beban hingga 15% dari beban maksimum.

Dikarenakan pengujian benda uji tidak mencapai kondisi penurunan beban lateral, maka perhitungan daktilitas dilakukan dengan membandingkan perpindahan ketika



beban ultimit atau alat mencapai kapasitas ultimit dengan perpindahan ketika struktur leleh. Sementara nilai daktilitas dengan membandingkan perpindahan saat simpangan maksimum dengan perpindahan saat leleh tidak dapat dihitung dalam penelitian ini. Perhitungan daktilitas secara rinci telah terlampir pada lampiran dan hasil perhitungan daktilitas perpindahan secara teoritis maupun eksperimental dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.



Gambar 4.11 Perbandingan Daktilitas Perpindahan SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 Hasil Eksperimen

Tabel 4.10. Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan Benda Uji SW-50-1,5 Teoritis dan Eksperimental

Kondisi	Teoritis		Eksperimental	
	Perpindahan $\Delta$ (mm)	Beban $P_h$ (kg)	Perpindahan $\Delta$ (mm)	Beban $P_h$ (kg)
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	0.106	1964.82	3.000	1828.00
Yield	0.897	5896.38	22.024	6375.00
Ultimate	4.392	8675.38	26.169	8500.00
Failure	25.735	7484.98	-	-
$\mu_\Delta$	4.897		1.188	

Tabel 4.11. Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan Benda Uji SD-300-1,5 Teoritis dan Eksperimental

Kondisi	Perpindahan	Beban	Perpindahan	Beban
	$\Delta$ mm	$P_h$ kg	$\Delta$ mm	$P_h$ kg
	<b>Teoritis</b>		<b>Eksperimental</b>	
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	0.110	1709.65	4.500	1964.00
Yield	1.429	5750.68	23.095	5229.00
Ultimate	3.715	8379.73	24.000	6972.00
Failure	16.311	7319.88	-	-
$\mu_\Delta$	2.601		1.039	

Tabel 4.12. Perbandingan Nilai Daktilitas Perpindahan SW-50-1,5 dengan SD-300-1,5 Hasil Eksperimen

Kondisi	Perpindahan	Beban	Perpindahan	Beban
	$\Delta$ mm	$P_h$ kg	$\Delta$ mm	$P_h$ kg
	<b>SW-50-1,5</b>		<b>SD-300-1,5</b>	
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	3.000	1828.00	4.500	1964.00
Yield	22.024	6375.00	23.095	5229.00
Ultimate	26.169	8500.00	24.000	6972.00
Failure	-	-	-	-
$\mu_\Delta$	1.188		1.039	

Berdasarkan hasil perbandingan perhitungan nilai daktilitas secara teoritis dan eksperimental terlihat bahwa perhitungan teoritis dengan analisis momen-kurvatur mempunyai nilai daktilitas perpindahan lebih besar dibandingkan dengan nilai daktilitas perpindahan hasil eksperimen. Sementara pada Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa nilai daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) benda uji SW-50-1,5 adalah sebesar 1,188 dan nilai daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) benda uji SD-300-1,5 adalah sebesar 1,039. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa jarak tulangan horizontal mempunyai pengaruh terhadap nilai daktilitas. Pengaruh tersebut adalah semakin jauh jarak tulangan horizontal, maka nilai daktilitas akan semakin berkurang meskipun rasio tulangan horizontal yang digunakan adalah sama. Hal tersebut terjadi karena dengan melebarnya jarak tulangan horizontal maka volume beton yang harus ditahan oleh tulangan geser semakin besar sehingga gaya geser yang harus ditahan menjadi semakin besar pula dan itu menyebabkan ketahanan dinding geser untuk bertahan sebelum akhirnya runtuh menjadi berkurang.

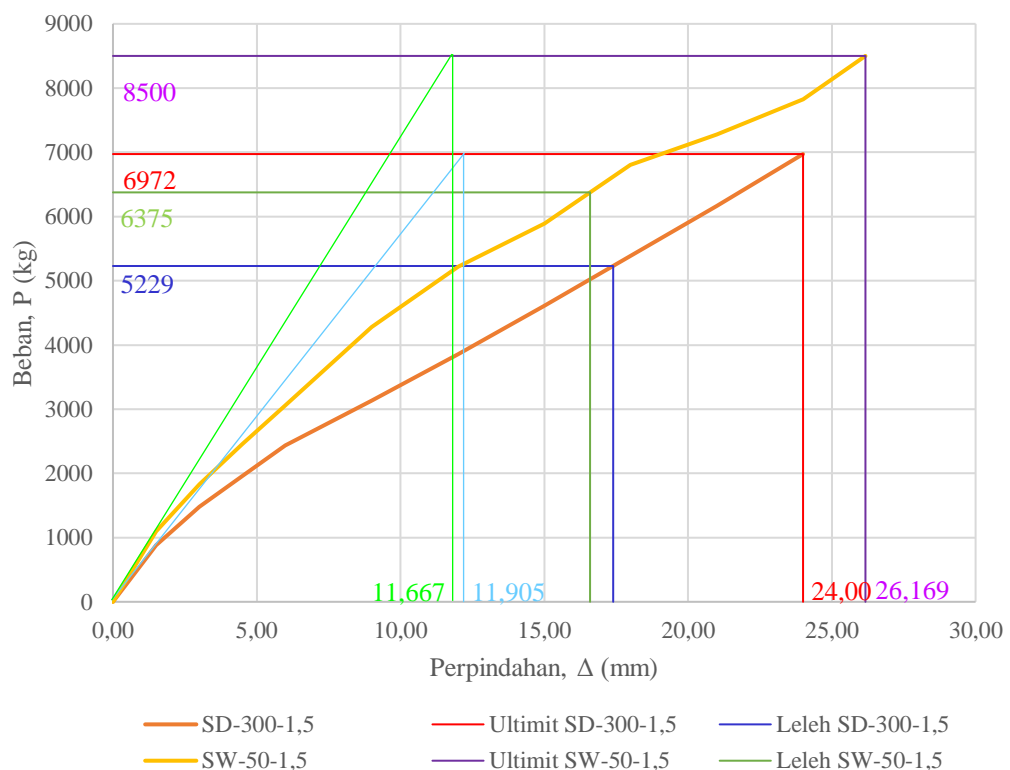


## 4.5 Analisis Kekakuan

Kekakuan merupakan kemampuan suatu benda untuk tetap bertahan pada wujud asli atau awalnya. Pada penelitian kali ini kekakuan yang akan dibahas adalah kekakuan dengan metode *tangential stiffness* dan *secant stiffness*. Hal tersebut dikarenakan pengerjaannya yang lebih mudah dan cepat, namun tetap akurat dibandingkan dengan metode lainnya.

### 4.5.1 Kekakuan Tangensial (*Tangential Stiffness*)

Kekakuan tangensial merupakan suatu pendekatan terhadap kekakuan struktur dengan membandingkan tinggi (beban) terhadap datar (perpindahan) dari suatu grafik. Metode *tangential stiffness* menggunakan rerata kekakuan yang homogen lalu kemudian ditarik garis hingga menyentuh garis puncak. Perhitungan kekakuan tangensial benda uji pada penelitian ini telah terlampir pada lampiran dan hasilnya bisa dilihat pada tabel di bawah ini.



Gambar 4.12 Analisis *Tangential Stiffness* SW-50-1,5 dan SD-300-1,5

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan *Tangential Stiffness*

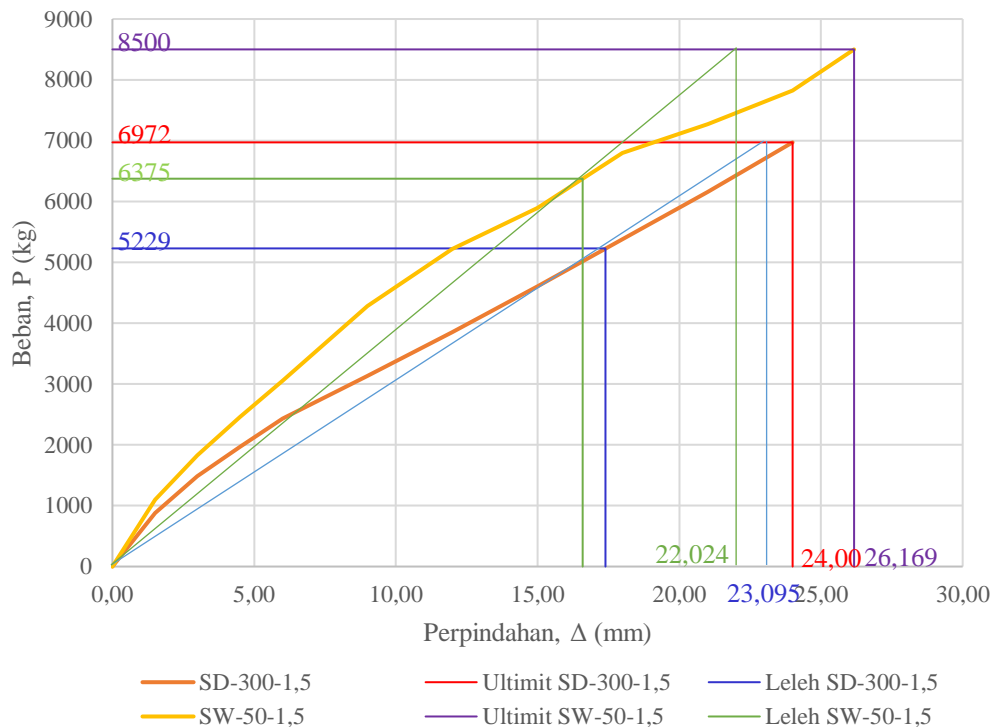
Dinding Geser	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm
SW-50-1,5	11.667	8500.00	728.57
SD-300-1,5	11.905	6972.00	585.65

Tabel 4.14. Perbandingan Hasil Perhitungan *Tangential Stiffness* Teoritis dan Eksperimental

Dinding Geser	Perpindahan	Beban	Kekakuan	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm
	<b>Teoritis</b>			<b>Eksperimental</b>		
SW-50-1,5	0.595	8500.00	14280.00	11.667	8500.00	728.57
SD-300-1,5	0.500	6972.00	13944.00	11.905	6972.00	585.65

#### 4.5.2 Kekakuan *Secant* (*Secant Stiffness*)

Metode *secant stiffness* merupakan metode yang digunakan untuk mendekati perilaku leleh yang lebih realistis dan aktual pada lapangan. Metode ini digunakan untuk meninjau kekakuan berdasarkan dari beban penetrasi lelehnya. Perhitungan kekakuan dengan metode *secant stiffness* dilakukan dengan cara membagi beban dengan perpindahan saat kondisi leleh. Perhitungan *secant stiffness* secara rinci telah terlampir pada lampiran dan hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Gambar 4.13 Analisis *Secant Stiffness* SW-50-1,5 dan SD-300-1,5Tabel 4.15. Hasil Perhitungan *Secant Stiffness*

Dinding Geser	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm
SW-50-1,5	22.024	8500.00	385.95
SD-300-1,5	23.095	6972.00	301.88



Tabel 4.16. Perbandingan Hasil Perhitungan *Secant Stiffness* Teoritis dan Eksperimental

Dinding Geser	Teoritis			Eksperimental		
	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban $P_u$ kg	Kekakuan $k$ kg/mm	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban $P_u$ kg	Kekakuan $k$ kg/mm
SW-50-1,5	1.429	8500.00	5950.00	22.024	8500.00	385.95
SD-300-1,5	1.429	6972.00	4880.40	23.095	6972.00	301.88

Dari data di atas dapat kita lihat bahwa terdapat konsistensi nilai kekakuan, yaitu benda uji SW-50-1,5 mempunyai nilai kekakuan tangensial dan kekakuan *secant* yang lebih besar dari benda uji SD-300-1,5. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kemampuan struktur menahan beban dengan drift yang lebih singkat maka kekakuan akan meningkat dan sebaliknya semakin kecil suatu struktur menahan beban dengan drift yang singkat ataupun lama maka kekakuannya akan menurun.

#### 4.6 Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Daktilitas dan Kekakuan

Seperti analisis daktilitas dan kekakuan pada penelitian ini, hasil analisis pada penelitian sebelumnya juga menunjukkan benda uji SW-50 mempunyai nilai daktilitas serta nilai kekakuan yang lebih besar dari benda uji SD-300. Hasil perhitungan nilai daktilitas dan kekakuan yang telah dilakukan tersebut kemudian dibandingkan untuk melihat pengaruh aspek rasio tinggi dan lebar dinding geser terhadap nilai daktilitas dan kekakuan. Perbandingan tersebut dapat kita lihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4.17. Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji Rasio 1,5 dengan Rasio 2

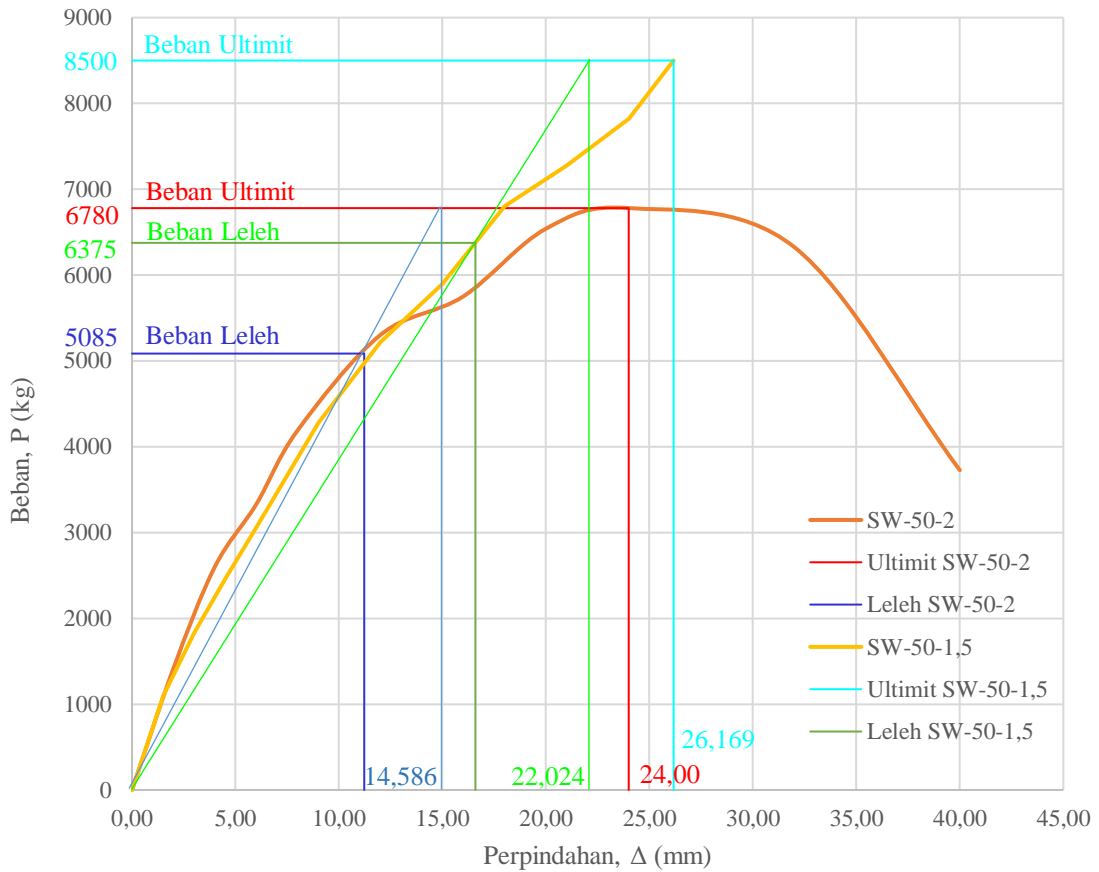
Dinding Geser	$\mu_{\Delta}$	
	Rasio 1,5	Rasio 2
SW-50	1.19	1.65
SD-300	1.04	1.08

Tabel 4.18. Perbandingan Nilai Kekakuan SW-50 Rasio 1,5 dengan Rasio 2

Metode	Rasio 1,5			Rasio 2		
	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban $P_u$ kg	Kekakuan $k$ kg/mm	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban $P_u$ kg	Kekakuan $k$ kg/mm
Tangential	11.667	8500.00	728.57	9.983	6780.00	679.15
Secant	22.024	8500.00	385.95	14.586	6780.00	464.83

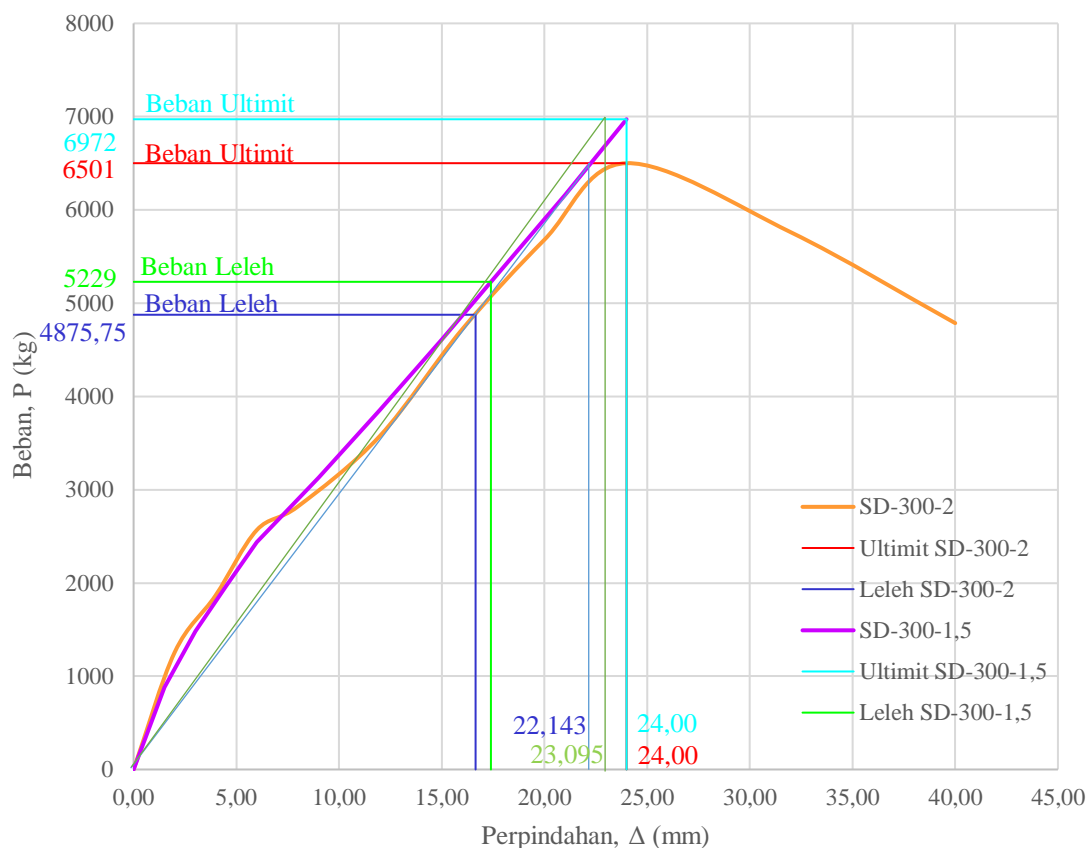
Tabel 4.19. Perbandingan Nilai Kekakuan SD-300 Rasio 1,5 dengan Rasio 2

Metode	Perpindahan	Beban	Kekakuan	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm
	<b>Rasio 1,5</b>			<b>Rasio 2</b>		
<i>Tangential</i>	11.905	6972.00	585.65	10.357	6501.00	627.68
<i>Secant</i>	23.095	6972.00	301.88	22.143	6501.00	293.59



Gambar 4.14 Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji SW-50-1,5 dengan SW-50-2





Gambar 4.15 Perbandingan Nilai Daktilitas Benda Uji SD-300-1,5 dengan SD-300-2

Berdasarkan hasil perbandingan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa dinding geser pendek (*squat shearwall*) mempunyai nilai daktilitas perpindahan yang lebih kecil dan nilai kekakuan yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan dinding geser tinggi (*tall shearwall*). Hasil perbandingan tersebut sesuai dengan asumsi awal yang menyebutkan bahwa dinding geser dengan aspek rasio 1,5 akan memiliki nilai daktilitas yang lebih kecil dan nilai kekakuan yang cenderung sama atau lebih besar dari dinding geser dengan dengan aspek rasio 2,0.

Daktilitas adalah kemampuan struktur untuk bertahan pada kondisi inelastis. Dinding geser pendek mempunyai nilai daktilitas yang lebih kecil daripada dinding geser tinggi dikarenakan dinding geser pendek lebih dominan terhadap kegagalan geser sehingga meskipun beban lateral yang dapat ditahan lebih besar, tetapi kemampuan struktur untuk bertahan pada kondisi pasca elastis lebih rendah. Artinya ketika dinding geser pendek telah mencapai kondisi leleh, maka tidak lama kemudian tanpa penambahan beban yang cukup drastis dinding geser akan berada pada puncak kapasitas bebannya dan kemudian akan mengalami penurunan pembebanan.

Sebaliknya, nilai kekakuan dinding geser pendek cenderung lebih besar dari dinding geser tinggi dikarenakan beban lateral yang dapat ditahan dinding geser pendek cenderung lebih besar dari dinding geser tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa beban yang dibutuhkan dinding geser pendek untuk mencapai kondisi leleh lebih besar dibandingkan dengan dinding geser tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dinding geser pendek lebih dapat bertahan pada saat tahap elastis dan lemah pada tahap plastis (inelastis).





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil pengamatan dari penelitian untuk dinding geser pendek ini adalah berupa analisis data secara teoritis dan eksperimental serta pembahasan data. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengaruh aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding terhadap daktilitas dan kekakuan dengan pembebanan siklik adalah sebagai berikut:

1. Dinding geser pendek (*squat shear wall*) dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 1,5 dalam beban aksial yang sama dengan dinding geser tinggi (*tall shear wall*) dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 2,0 mempunyai nilai daktilitas perpindahan yang lebih rendah dibandingkan dengan dinding geser tinggi, meskipun kapasitas beban lateral dan momen kapasitas dinding geser pendek lebih besar dibandingkan dinding geser tinggi. Sebaliknya, kekakuan dinding geser pendek dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 1,5 cenderung lebih besar dari dinding geser tinggi dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding sebesar 2,0.
2. Dinding geser pendek (*squat shear wall*) dengan aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ), rasio tulangan vertikal, dan rasio tulangan horizontal yang sama dengan variasi jarak tulangan horizontal menghasilkan nilai daktilitas dinding geser dengan jarak tulangan horizontal yang rapat (150 mm) lebih besar dibandingkan dengan dinding geser dengan jarak tulangan horizontal yang lebar (300 mm). Sementara nilai kekakuan dinding geser pendek dengan jarak tulangan horizontal rapat lebih besar dibandingkan dengan nilai kekakuan dinding geser pendek dengan jarak tulangan horizontal yang jarang.

### 5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan dari penelitian terhadap pengaruh aspek rasio tinggi ( $h_w$ ) dan lebar ( $l_w$ ) dinding geser terhadap daktilitas dan kekakuan pada uji pembebanan siklik terdapat beberapa saran yang direkomendasikan untuk penelitian serupa berikutnya, yaitu:

1. Perlunya pengontrolan dan pengawasan terhadap alat-alat pengujian sehingga selama praktikum berlangsung 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 disesuaikan dengan kondisi *frame* baja dan alat pengujian.
3. Perlunya peninjauan secara khusus pada *frame* baja karena umur alat yang sudah lama sehingga bisa terjadi pelelehan pada beberapa bagian baja yang bisa menyebabkan perpindahan yang tak terduga pada beberapa sisi *frame*.
4. Perlunya peninjauan pada alat-alat yang akan digunakan, terutama pada alat pembebanan atau *hidraulic jack* apakah memadai pembebanan yang dibutuhkan hingga pengujian berakhir.
5. Perlunya ketelitian ketika melaksanakan pembuatan benda uji sehingga mutu yang ditargetkan bisa dicapai dan tidak terlampaui jauh dari desain awal.
6. Perlunya stabilisasi pembebanan aksial pada spesimen benda uji sehingga keakuratan data dapat dipertahankan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Allo, J. (2017). Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Statik). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *SNI 1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Derecho, A.T. & Kianoush, M.R. (2001). Seismic Design of Reinforced Concrete Structures. Dalam Naeim, F. (Editors). *The Seismic Design Handbook, Second Edition*. New York: Springer Science and Business Media.
- Hidalgo, P.A., Ledezma, C.A. & Jordan, R.M. (2002). Seismic Behavior of Squat Reinforced Concrete Shear Walls. *Earthquake Spectra*. Vol. 18, No. 2: 287-308.
- Imran, I., Yuliari, E., Suhelda & Kristianto, A. (2008). Apicability Metoda Desain Kapasitas pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang. Makalah dalam *Seminar dan Pameran HAKI 2008*. Jakarta, 19-21 Agustus 2008.
- Karolina, R. (2008). Analisa dan Kajian Eksperimental Hubungan Momen-Kurvatur pada Balok Beton Bertulang. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Lu, X.L. & Chen, Y.T. (2005). Modeling of Coupled Shear Walls and Its Experimental Verification. *ASCE Journal of Structural Engineering*. Vol 131, No. 1: 75-84.
- Nawy, E.G. (1990). *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.
- Pantazopoulou, S.J. & Imran, I. (1992). Slab-Wall Connections under Lateral Forces. *ACI Structural Journal*. Vol. 89, No. 5: 515-527.
- Park, R. & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons
- Paulay, T. & Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons
- Randha, Y.K. (2017). Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Ganda Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Statik). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Sembiring, A.E. (2017). Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Statik). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.



- Sembiring, A.E., Wibowo, A., Susanti, L. (2017). Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*. Vol. 1, No. 1: 77-83.
- Shedid, M.M.T. (2006). Ductility of Reinforced Concrete Masonry Shear Walls. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Ontario: McMaster University.
- Silalahi, A.T. (2017). Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekangan Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Silalahi, J. (2017). Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekangan Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Simanjuntak, J.B. (2017). Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static). *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Vaughan, T.P. (2010). Evaluation of Masonry Wall Performance Under Cyclic Loading. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Washington: Washington State University.
- Wibowo, A. (2012). Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Buildings. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Hawthorn: Swinburne University of Technology.
- Wibowo, Ari. (2013). *Seismic Performance of Lightly Reinforced Structural Walls for Design Purposes*. ICE Magazine of Concrete Research. Australia: ICE Publishing.
- Wibowo, A., Wilson, J.L., Lam, N.T.K. & Gad, E.F. (2013). Seismic Performance of Lightly Reinforced Structural Walls for Design Purposes. *Magazine of Concrete Research*. Vol. 65, No. 13: 809-828.
- Wibowo, A., Wilson, J., L., N., Gad, E. F., Lu, Y., & Henry, R. (2014). Discussion: Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes. *Magazine Of Concrete Research*. Vol. 66, No. 20: 1073-1074.
- 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*. Vol. 16, No. 1.
- Wight, J.K. & MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design, Sixth Edition*. New Jersey: Pearson Education.





LAMPIRAN 1

DESAIN AWAL

1. Perhitungan Teoritis Benda Uji SW-50-1,5
2. Perhitungan Teoritis Benda Uji SD-300-1,5



## 1.1 Perhitungan Teoritis Benda Uji SW-50-1,5

- Dimensi Dinding

Lebar dinding :  $\ell w = 400$  mm

Tebal dinding :  $bw = 80$  mm

Tinggi dinding :  $hw = 600$  mm

Kuat tekan beton :  $f_c' = 27$  MPa

- Tulangan

Longitudinal : 16 - Ø8

Transversal : Ø8 - 150

Tegangan leleh :  $f_y = 378,86$  MPa

- Kontrol Dinding

a. Rasio Tulangan Vertikal

$$\rho_v = \frac{Ast}{bw \times \ell w}$$

$$\rho_v = \frac{16 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 7,88^2\right)}{80 \times 400}$$

$$\rho_v = 0,0244$$

$$\rho_v = 2,44 \%$$

b. Rasio Tulangan Horizontal

$$\rho_h = \frac{A_{v, horiz}}{bw \times s_2}$$

$$\rho_h = \frac{2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 7,88^2\right)}{80 \times 150}$$

$$\rho_h = 0,00813$$

$$\rho_h = 0,813 \%$$

c. Rasio Badan

Rasio badan merupakan perbandingan antara tinggi benda uji terhadap lebar benda uji, maka:

$$a = \frac{hw}{\ell w} = \frac{600}{400} = 1,5$$

d. Rasio Pembebanan

$$n = \frac{P}{A_g f_c'}$$





$$n = \frac{30000}{(80 \times 400) \times 27}$$

$$n = 0,035$$

$$n = 3,5 \%$$

e. Perencanaan dengan Diagram Interaksi

- Data dinding geser:

$$\text{Kuat tekan beton} : f_c' = 27,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang dinding geser} : b = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang dinding geser} : h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi dinding geser} : l = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal bruto selimut beton} : d_s = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan} : n = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan} : D = 7,88 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja} : E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan} : \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Luas tulangan total} : A_{st} = 780 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio tulangan} : \rho = 2,44 \%$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan} : \phi = 0,65$$

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

$$\text{Lapisan ke-1} : d_1 = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-2} : d_2 = 67,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-3} : d_3 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-4} : d_4 = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-5} : d_5 = 232,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-6} : d_6 = 282,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-7} : d_7 = 332,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-8} : d_8 = 382,5 \text{ mm}$$

- Perhitungan diagram interaksi:

– Kondisi beban aksial sentris

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

$$P_o = 0,85 \times 27,00 ((80 \times 400) - 780) + 378,86 \times 780$$

$$P_o = 1012114 \text{ N} = 1012,11 \text{ kN}$$



– Kuat beban aksial maksimum

$$P_{n, \max} = 0,80 P_o$$

$$P_{n, \max} = 0,80 \times 1012,11$$

$$P_{n, \max} = 809,691 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n, \max} = 0,65 \times 809,691$$

$$\phi P_{n, \max} = 526,299 \text{ kN}$$

– Kondisi *balanced*

Tinggi sumbu netral pada kondisi *balanced*:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$c_b = \frac{600}{600 + 378,86} (400 - 17,5)$$

$$c_b = 234,5 \text{ mm}$$

Tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen pada kondisi *balanced*:

$$a_b = \beta_1 c_b$$

$$a_b = 0,85 \times 234,5$$

$$a_b = 199,3 \text{ mm}$$

Regangan leleh baja tulangan:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{378,86}{200000} = 0,00189$$

Regangan pada masing-masing baja tulangan:

$$\varepsilon_{s1}' = \frac{c - d_i'}{c} 0,003$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{d_i - c}{c} 0,003$$

$$\text{Lapisan ke-1} : \varepsilon_{s1}' = 0,00278$$

$$\text{Lapisan ke-2} : \varepsilon_{s2}' = 0,00214$$

$$\text{Lapisan ke-3} : \varepsilon_{s3}' = 0,00150$$

$$\text{Lapisan ke-4} : \varepsilon_{s4}' = 0,00086$$

$$\text{Lapisan ke-5} : \varepsilon_{s5}' = 0,00003$$

$$\text{Lapisan ke-6} : \varepsilon_{s6} = 0,00061$$

$$\text{Lapisan ke-7} : \varepsilon_{s7} = 0,00125$$

$$\text{Lapisan ke-8} : \varepsilon_{s8} = 0,00189$$





Jika  $\varepsilon_s > \varepsilon_y$  atau  $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$ , maka tulangan tarik atau tekan sudah leleh dan nilai

$f_s = f_y$ . Apabila tulangan belum leleh, maka nilai  $f_s = \varepsilon_{si} E_s$  atau  $f_s' = \varepsilon_{si}' E_s$ .

Tegangan pada masing-masing baja tulangan:

$$\text{Lapisan ke-1} : f_{s1}' = 378,856 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-2} : f_{s2}' = 378,856 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-3} : f_{s3}' = 299,306 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-4} : f_{s4}' = 171,351 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-5} : f_{s5}' = 5,009 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-6} : f_{s6} = 122,946 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-7} : f_{s7} = 250,901 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-8} : f_{s8} = 378,856 \text{ MPa}$$

Beban aksial nominal pada kondisi *balanced*:

$$P_{nb} = C_c + C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + C_{s4} + C_{s5} - T_{s6} - T_{s7} - T_{s8}$$

$$P_{nb} = 0,85 f_c' a_b b + A_{s1}' f_{s1}' + A_{s2}' f_{s2}' + A_{s3}' f_{s3}' + A_{s4}' f_{s4}' + A_{s5}' f_{s5}' - A_{s6} f_{s6} - A_{s7} f_{s7} - A_{s8} f_{s8}$$

$$P_{nb} = 412778 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 412,778 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 268,306 \text{ kN}$$

Momen nominal terhadap pusat penampang pada kondisi *balanced*:

$$M_{nb} = P_{nb} e_i$$

$$M_{nb} = 0,85 f_c' a_b b \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{s1}' f_{s1}' \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s2}' f_{s2}' \left( \frac{h}{2} - d_2 \right) + A_{s3}' f_{s3}' \left( \frac{h}{2} - d_3 \right) + A_{s4}' f_{s4}' \left( \frac{h}{2} - d_4 \right) + A_{s5}' f_{s5}' \left( \frac{h}{2} - d_5 \right) - A_{s6} f_{s6} \left( d_6 - \frac{h}{2} \right) - A_{s7} f_{s7} \left( d_7 - \frac{h}{2} \right) - A_{s8} f_{s8} \left( d_8 - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_{nb} = 62271 \text{ kNm}$$

$$M_{nb} = 62,271 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nb} = 40,476 \text{ kNm}$$

– Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)

Keruntuhan tekan terjadi jika:

$$P_n > P_{nb}$$

$$c > c_b$$

$$e < e_b$$

c	M <sub>s1</sub>	M <sub>s2</sub>	M <sub>s3</sub>	M <sub>s4</sub>	M <sub>s5</sub>	M <sub>s6</sub>	M <sub>s7</sub>	M <sub>s8</sub>	M <sub>s</sub>	a	C <sub>c</sub>	M <sub>c</sub>	P <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>	Φ	Φ.P <sub>n</sub>	Φ.M <sub>n</sub>	Ph
mm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	mm	kN	kNmm	kN	kNm		kN	kNm	kN
480	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-980.7	-1986.6	-2382.8	-2169.5	8370.1	408.0	749.1	-2996.4	981.0	5.4	0.65	637.7	3.5	9.0
472	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-965.1	-1938.4	-2291.8	-2025.2	8669.2	401.2	736.6	-442.0	966.0	8.2	0.65	627.9	5.3	13.7
464	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-948.9	-1888.6	-2197.6	-1876.0	8978.6	394.4	724.1	2027.5	950.9	11.0	0.65	618.1	7.2	18.3
456	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-932.2	-1837.0	-2100.1	-1721.5	9298.8	387.6	711.6	4412.1	935.7	13.7	0.65	608.2	8.9	22.9
448	6743.9	4896.2	3048.6	1190.9	-914.9	-1783.6	-1999.1	-1561.5	9620.4	380.8	699.1	6711.8	920.1	16.3	0.65	598.0	10.6	27.2
440	6743.9	4896.2	3048.6	1177.9	-897.0	-1728.2	-1894.5	-1395.7	9951.2	374.0	686.7	8926.6	904.3	18.9	0.65	587.8	12.3	31.5
432	6743.9	4896.2	3048.6	1164.5	-878.3	-1670.8	-1786.0	-1223.8	10294.3	367.2	674.2	11056.5	888.3	21.4	0.65	577.4	13.9	35.6
424	6743.9	4896.2	3048.6	1150.6	-859.0	-1611.3	-1673.4	-1045.4	10650.3	360.4	661.7	13101.5	872.3	23.8	0.65	567.0	15.4	39.6
416	6743.9	4896.2	3048.6	1136.2	-839.0	-1549.4	-1556.4	-860.1	11020.0	353.6	649.2	15061.7	856.1	26.1	0.65	556.5	17.0	43.5
408	6743.9	4896.2	3048.6	1121.1	-818.1	-1485.1	-1434.9	-667.5	11404.2	346.8	636.7	16936.9	839.7	28.3	0.65	545.8	18.4	47.2
400	6743.9	4896.2	3048.6	1105.5	-796.5	-1418.3	-1308.5	-467.3	11803.7	340.0	624.2	18727.2	823.2	30.5	0.65	535.1	19.8	50.9
392	6743.9	4896.2	3048.6	1089.3	-773.9	-1348.7	-1177.0	-258.8	12219.6	333.2	611.8	20432.6	806.6	32.7	0.65	524.3	21.2	54.4
384	6743.9	4896.2	3048.6	1072.3	-750.4	-1276.2	-1040.0	-41.7	12652.8	326.4	599.3	22053.2	789.8	34.7	0.65	513.3	22.6	57.8
376	6743.9	4896.2	3048.6	1054.7	-725.9	-1200.6	-897.1	184.6	13104.4	319.6	586.8	23588.8	772.7	36.7	0.65	502.3	23.9	61.2
368	6743.9	4896.2	3048.6	1036.3	-700.3	-1121.7	-748.0	420.8	13575.7	312.8	574.3	25039.5	755.5	38.6	0.65	491.1	25.1	64.4
360	6743.9	4896.2	3048.6	1017.0	-673.6	-1039.4	-592.3	667.5	14067.9	306.0	561.8	26405.4	738.1	40.5	0.65	479.8	26.3	67.5
352	6743.9	4896.2	3048.6	996.9	-645.7	-953.3	-429.6	925.4	14582.5	299.2	549.3	27686.3	720.5	42.3	0.65	468.3	27.5	70.4
344	6743.9	4896.2	3048.6	975.9	-616.5	-863.2	-259.2	1195.3	15121.0	292.4	536.8	28882.3	702.6	44.0	0.65	456.7	28.6	73.3
336	6743.9	4896.2	3048.6	953.8	-585.9	-768.8	-80.8	1478.1	15685.2	285.6	524.4	29993.5	684.4	45.7	0.65	444.9	29.7	76.1
328	6743.9	4896.2	3048.6	930.7	-553.8	-669.8	106.4	1774.6	16276.9	278.8	511.9	31019.7	666.0	47.3	0.65	432.9	30.7	78.8
320	6743.9	4896.2	3048.6	906.4	-520.1	-565.8	302.9	2086.0	16898.2	272.0	499.4	31961.1	647.3	48.9	0.65	420.7	31.8	81.4
312	6743.9	4896.2	3009.8	880.9	-484.6	-456.5	509.5	2413.4	17512.5	265.2	486.9	32817.5	627.8	50.3	0.65	408.1	32.7	83.9
304	6743.9	4896.2	2962.0	854.0	-447.3	-341.5	727.0	2757.9	18152.2	258.4	474.4	33589.1	607.8	51.7	0.65	395.1	33.6	86.2
296	6743.9	4896.2	2911.5	825.7	-408.0	-220.2	956.2	3121.1	18826.4	251.6	461.9	34275.8	587.4	53.1	0.65	381.8	34.5	88.5
288	6743.9	4896.2	2858.3	795.8	-366.5	-92.2	1198.1	3504.5	19538.1	244.8	449.5	34877.5	566.6	54.4	0.65	368.3	35.4	90.7
280	6743.9	4896.2	2802.0	764.2	-322.7	43.1	1453.9	3909.8	20290.5	238.0	437.0	35394.4	545.4	55.7	0.65	354.5	36.2	92.8
272	6743.9	4896.2	2742.4	730.7	-276.2	186.4	1724.7	4338.9	21087.1	231.2	424.5	35826.4	523.6	56.9	0.65	340.3	37.0	94.9
264	6743.9	4896.2	2679.2	695.2	-226.9	338.3	2012.0	4794.0	21932.0	224.4	412.0	36173.5	501.2	58.1	0.65	325.8	37.8	96.8
256	6743.9	4896.2	2612.1	657.5	-174.6	499.8	2317.2	5277.6	22829.7	217.6	399.5	36435.6	478.2	59.3	0.65	310.8	38.5	98.8
248	6743.9	4896.2	2540.6	617.4	-118.9	671.7	2642.1	5792.4	23785.3	210.8	387.0	36612.9	454.6	60.4	0.65	295.5	39.3	100.7
240	6743.9	4896.2	2464.3	574.6	-59.4	855.0	2988.6	6341.5	24804.6	204.0	374.5	36705.3	430.2	61.5	0.65	279.6	40.0	102.5





– Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Keruntuhan tarik terjadi jika:

$$P_n < P_{nb}$$

$$c < c_b$$

$$e > e_b$$

c	M <sub>s1</sub>	M <sub>s2</sub>	M <sub>s3</sub>	M <sub>s4</sub>	M <sub>s5</sub>	M <sub>s6</sub>	M <sub>s7</sub>	M <sub>s8</sub>	M <sub>s</sub>	a	C <sub>c</sub>	M <sub>c</sub>	P <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>	Φ	Φ.P <sub>n</sub>	Φ.M <sub>n</sub>	Ph
mm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	mm	kN	kNmm	kN	kNm		kN	kNm	kN
232	6743.9	4896.2	2382.8	528.8	4.1	1050.9	3359.1	6743.9	25709.7	197.2	362.1	36712.8	405.9	62.4	0.65	263.9	40.6	104.0
224	6743.9	4896.2	2295.5	479.7	72.2	1260.9	3756.0	6743.9	26248.3	190.4	349.6	36635.4	383.3	62.9	0.65	249.1	40.9	104.8
216	6743.9	4896.2	2201.7	427.1	145.3	1486.4	4182.3	6743.9	26826.7	183.6	337.1	36473.1	359.8	63.3	0.65	233.9	41.1	105.5
208	6743.9	4896.2	2100.7	370.3	224.0	1729.3	4641.4	6743.9	27449.7	176.8	324.6	36225.9	335.5	63.7	0.65	218.1	41.4	106.1
200	6743.9	4896.2	1991.6	309.1	309.1	1991.6	4896.2	6743.9	27881.6	170.0	312.1	35893.8	312.1	63.8	0.65	202.9	41.5	106.3
192	6743.9	4896.2	1873.4	242.7	401.2	2275.8	4896.2	6743.9	28073.3	163.2	299.6	35476.8	289.9	63.6	0.65	188.4	41.3	105.9
184	6743.9	4896.2	1744.9	170.6	501.3	2584.6	4896.2	6743.9	28281.7	156.4	287.2	34974.9	266.8	63.3	0.65	173.4	41.1	105.4
176	6743.9	4780.3	1604.8	91.9	610.6	2921.6	4896.2	6743.9	28393.1	149.6	274.7	34388.1	241.9	62.8	0.65	157.2	40.8	104.6
168	6743.9	4638.7	1451.3	5.7	730.2	3048.6	4896.2	6743.9	28258.5	142.8	262.2	33716.5	218.6	62.0	0.65	142.1	40.3	103.3
160	6743.9	4482.9	1282.5	-89.2	861.8	3048.6	4896.2	6743.9	27970.7	136.0	249.7	32959.9	195.9	60.9	0.65	127.3	39.6	101.6
152	6743.9	4310.7	1095.9	-194.0	1007.3	3048.6	4896.2	6743.9	27652.5	129.2	237.2	32118.4	172.2	59.8	0.65	111.9	38.9	99.6
144	6743.9	4119.4	888.5	-310.4	1168.9	3048.6	4896.2	6743.9	27299.1	122.4	224.7	31192.0	147.2	58.5	0.65	95.7	38.0	97.5
136	6743.9	3905.6	656.8	-440.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26755.4	115.6	212.2	30180.8	125.3	56.9	0.65	81.4	37.0	94.9
128	6743.9	3665.1	396.1	-586.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26107.8	108.8	199.8	29084.6	103.3	55.2	0.65	67.1	35.9	92.0
120	6743.9	3392.5	100.6	-752.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	25373.7	102.0	187.3	27903.5	80.1	53.3	0.65	52.0	34.6	88.8
112	6743.9	3080.9	-237.1	-942.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	24534.9	95.2	174.8	26637.6	55.3	51.2	0.65	35.9	33.3	85.3
104	6743.9	2721.4	-626.7	-1161.3	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	23567.0	88.4	162.3	25286.7	28.7	48.9	0.65	18.6	31.8	81.4
96	6743.9	2302.0	-1081.3	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	22653.3	81.6	149.8	23851.0	6.3	46.5	0.65	4.1	30.2	77.5
88	6743.9	1806.4	-1618.5	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	21620.5	74.8	137.3	22330.3	-16.5	44.0	0.65	-10.7	28.6	73.3
80	6743.9	1211.6	-2263.2	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	20381.0	68.0	124.8	20724.8	-41.3	41.1	0.65	-26.8	26.7	68.5
72	6743.9	484.6	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	18868.6	61.2	112.4	19034.3	-68.7	37.9	0.65	-44.7	24.6	63.2
64	6743.9	-424.1	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	17959.9	54.4	99.9	17259.0	-88.1	35.2	0.65	-57.3	22.9	58.7
56	6743.9	-1592.4	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	16791.6	47.6	87.4	15398.8	-109.4	32.2	0.65	-71.1	20.9	53.7
48	6743.9	-3150.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	15233.8	40.8	74.9	13453.6	-133.6	28.7	0.65	-86.9	18.6	47.8
40	6007.7	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	12751.6	34.0	62.4	11423.6	-163.3	24.2	0.65	-106.2	15.7	40.3
32	4839.5	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	11583.4	27.2	49.9	9308.7	-182.2	20.9	0.65	-118.4	13.6	34.8
24	2892.6	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	9636.5	20.4	37.5	7108.8	-205.4	16.7	0.65	-133.5	10.9	27.9
16	-1001.3	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	5742.6	13.6	25.0	4824.1	-239.2	10.6	0.65	-155.5	6.9	17.6
8	-6743.9	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	0.0	6.8	12.5	2454.5	-283.1	2.5	0.65	-184.0	1.6	4.1



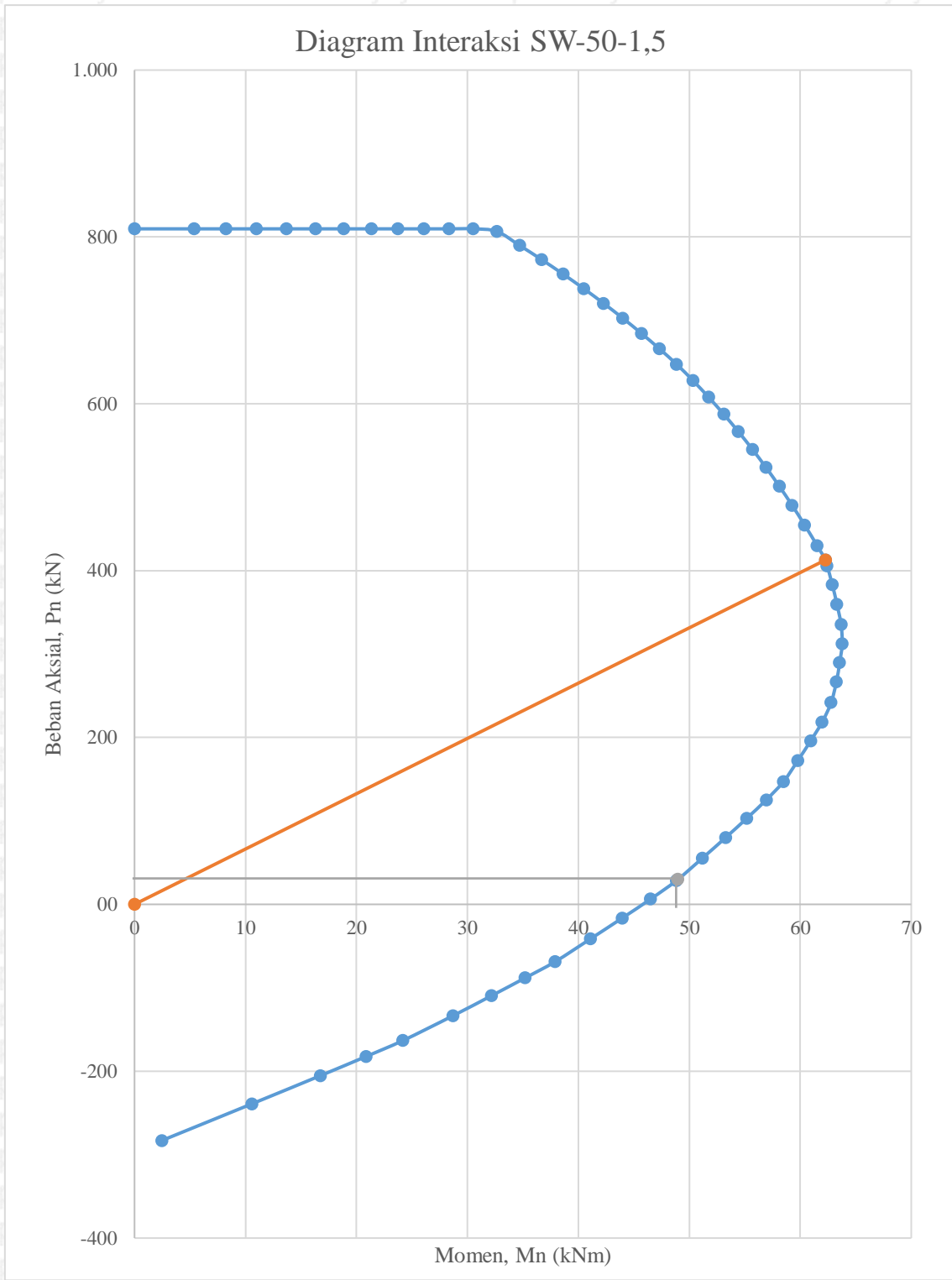
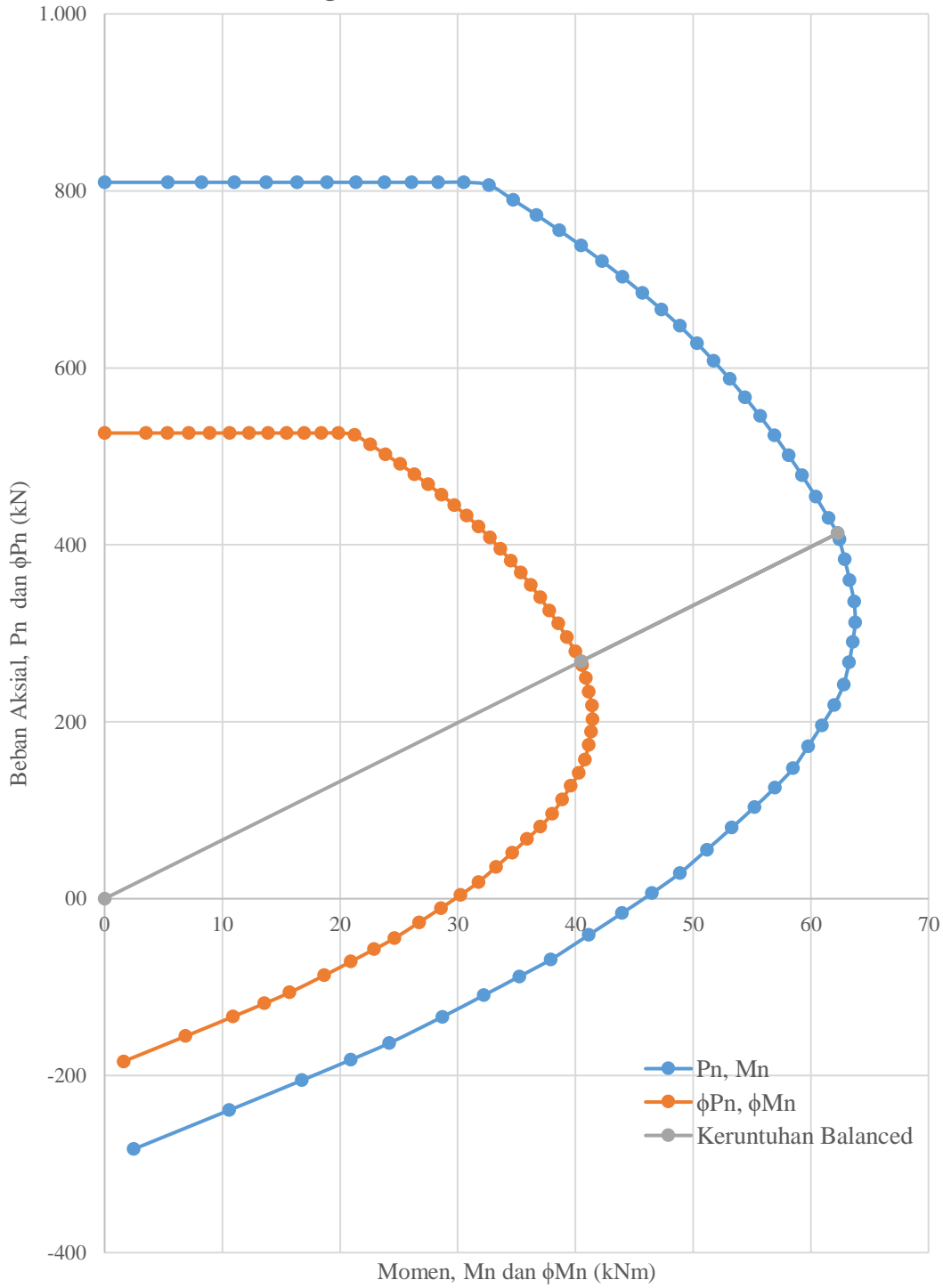




Diagram Interaksi SW-50-1,5







#### f. Momen-Kurvatur

Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

$$\text{Kuat tekan beton} : f_c' = 27,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja tulangan longitudinal} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja tulangan transversal} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan ultimit baja tulangan} : f_{su} = 469,897 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang dinding geser} : B = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang dinding geser} : H = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter baja tulangan longitudinal} : D = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah lapisan baja tulangan} : 8$$

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

$$\text{Lapisan ke-1} : d_1 = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-2} : d_2 = 67,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-3} : d_3 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-4} : d_4 = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-5} : d_5 = 232,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-6} : d_6 = 282,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-7} : d_7 = 332,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-8} : d_8 = 382,5 \text{ mm}$$

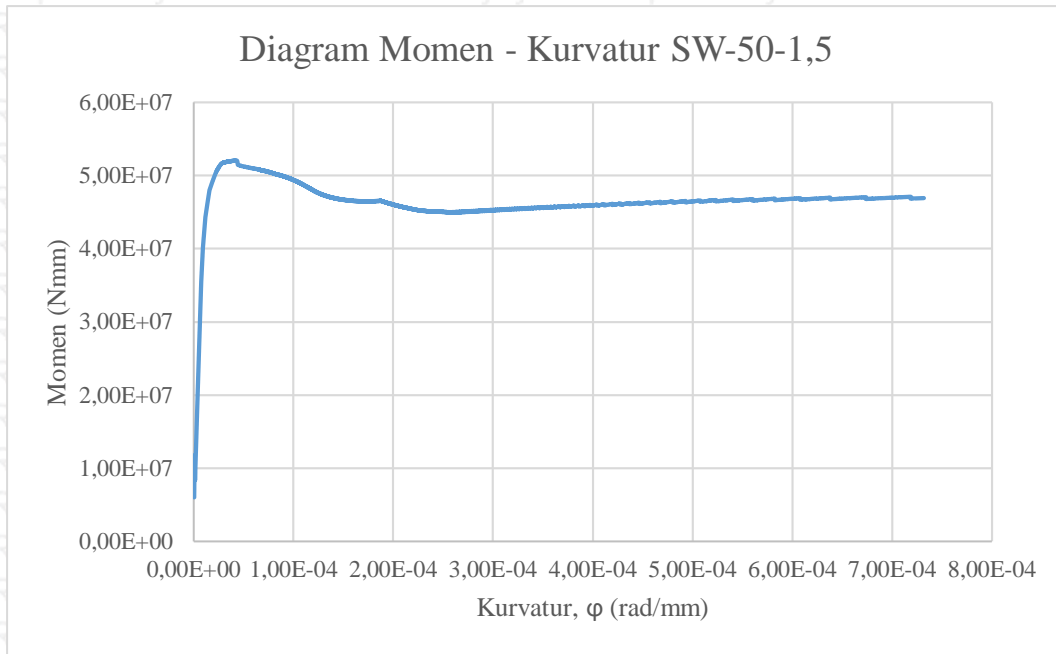
$$\text{Diameter baja tulangan transversal} : D = 8,00 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak baja tulangan transversal} : s = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Besaran beban aksial} : P = 30000 \text{ N}$$

$$\text{Posisi beban aksial terhadap serat atas} : 200 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan hubungan momen-kurvatur menggunakan program momen:



Dari diagram momen-kurvatur di atas didapat:

$$M_{cr} = 1,18 \times 10^7 \text{ Nmm} = 1,179 \text{ tm}$$

$$M_y = 3,54 \times 10^7 \text{ Nmm} = 3,538 \text{ tm}$$

$$M_u = 5,21 \times 10^7 \text{ Nmm} = 5,205 \text{ tm}$$

$$M_f = 4,49 \times 10^7 \text{ Nmm} = 4,491 \text{ tm}$$

$$\phi_{cr} = 8,86 \times 10^{-7} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_y = 7,47 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_u = 4,24 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_f = 2,56 \times 10^{-4} \text{ rad/mm}$$

Beban lateral yang terjadi pada dinding geser dengan tinggi ( $L$ ) sebesar 600 mm:

$$P_{cr} = \frac{M_{cr}}{L} = \frac{1,179}{600 \times 10^{-3}} = 1,965 \text{ t} = 1964,82 \text{ kg}$$

$$P_y = \frac{M_y}{L} = \frac{3,538}{600 \times 10^{-3}} = 5,896 \text{ t} = 5896,38 \text{ kg}$$

$$P_u = \frac{M_u}{L} = \frac{5,205}{600 \times 10^{-3}} = 8,675 \text{ t} = 8675,38 \text{ kg}$$

$$P_f = \frac{M_f}{L} = \frac{4,491}{600 \times 10^{-3}} = 7,485 \text{ t} = 7484,98 \text{ kg}$$

Panjang sendi plastis menurut Park dan Paulay (1975):

$$L_p = 0,5 H_w$$

$$L_p = 0,5 \times 400$$

$$L_p = 200 \text{ mm}$$





Rotasi yang terjadi:

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_{cr} = \frac{1}{2} \times 600 \times 8,86 \times 10^{-7} = 2,66 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta_y = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_y = \frac{1}{2} \times 600 \times 7,47 \times 10^{-6} = 2,24 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_u = \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p$$

$$\theta_u = 2,24 \times 10^{-3} + (4,24 \times 10^{-5} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_u = 9,23 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_f = \theta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p$$

$$\theta_f = 2,24 \times 10^{-3} + (2,56 \times 10^{-4} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_f = 5,19 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

Perpindahan yang terjadi:

$$\Delta_{cr} = \frac{2}{3} \times L \times \theta_{cr} = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,66 \times 10^{-4} = 0,106 \text{ mm}$$

$$\Delta_y = \frac{2}{3} \times L \times \theta_y = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,24 \times 10^{-3} = 0,897 \text{ mm}$$

$$\Delta_u = \Delta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_u = 0,897 + (4,24 \times 10^{-5} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

$$\Delta_u = 4,392 \text{ mm}$$

$$\Delta_f = \Delta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_f = 0,897 + (2,56 \times 10^{-4} - 7,47 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

$$\Delta_f = 25,735 \text{ mm}$$

Nilai daktilitas kurvatur:

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} = 5,68$$

Nilai daktilitas perpindahan:

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 4,897$$



## 1.2 Perhitungan Teoritis Benda Uji SD-300-1,5

- Dimensi Dinding

Lebar dinding :  $\ell w = 400$  mm

Tebal dinding :  $bw = 80$  mm

Tinggi dinding :  $hw = 600$  mm

Kuat tekan beton :  $f_c' = 21,75$  MPa

- Tulangan

Longitudinal : 16 - Ø8

Transversal : 2 Ø8 - 300

Tegangan leleh :  $f_y = 378,86$  MPa

- Kontrol Dinding

a. Rasio Tulangan Vertikal

$$\rho_v = \frac{Ast}{bw \times \ell w}$$

$$\rho_v = \frac{16 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 7,88^2\right)}{80 \times 400}$$

$$\rho_v = 0,0244$$

$$\rho_v = 2,44 \%$$

b. Rasio Tulangan Horizontal

$$\rho_h = \frac{A_{v, horiz}}{bw \times s_2}$$

$$\rho_h = \frac{2 \times 2 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 7,88^2\right)}{80 \times 300}$$

$$\rho_h = 0,00813$$

$$\rho_h = 0,813 \%$$

c. Rasio Badan

$$a = \frac{hw}{\ell w} = \frac{600}{400} = 1,5$$

d. Rasio Pembebanan

$$n = \frac{P}{A_g f_c'}$$

$$n = \frac{30000}{(80 \times 400) \times 21,75}$$





$$n = 0,043$$

$$n = 4,3 \%$$

e. Perencanaan dengan Diagram Interaksi

• Data dinding geser:

$$\text{Kuat tekan beton} : f_c' = 21,75 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang dinding geser} : b = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang dinding geser} : h = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi dinding geser} : l = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal bruto selimut beton} : d_s = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan} : n = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan} : D = 7,88 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja} : E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan} : \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Luas tulangan total} : A_{st} = 780 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio tulangan} : \rho = 2,44 \%$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan} : \phi = 0,65$$

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

$$\text{Lapisan ke-1} : d_1 = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-2} : d_2 = 67,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-3} : d_3 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-4} : d_4 = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-5} : d_5 = 232,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-6} : d_6 = 282,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-7} : d_7 = 332,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-8} : d_8 = 382,5 \text{ mm}$$

• Perhitungan diagram interaksi:

– Kondisi beban aksial sentris

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

$$P_o = 0,85 \times 21,75 ((80 \times 400) - 780) + 378,86$$

$$P_o = 872796,08 \text{ N} = 872,796 \text{ kN}$$

– Kuat beban aksial maksimum

$$P_{n, \max} = 0,80 P_o$$



$$P_{n, \max} = 0,80 \times 872,796$$

$$P_{n, \max} = 698,237 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n, \max} = 0,65 \times 698,237$$

$$\phi P_{n, \max} = 453,854 \text{ kN}$$

– Kondisi *balanced*

Tinggi sumbu netral pada kondisi *balanced*:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$c_b = \frac{600}{600 + 378,86} (400 - 17,5)$$

$$c_b = 234,5 \text{ mm}$$

Tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen pada kondisi *balanced*:

$$a_b = \beta_1 c_b$$

$$a_b = 0,85 \times 234,5$$

$$a_b = 199,3 \text{ mm}$$

Regangan leleh baja tulangan:

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{378,86}{200000} = 0,00189$$

Regangan pada masing-masing baja tulangan:

$$\varepsilon_{si}' = \frac{c - d_i'}{c} 0,003$$

$$\varepsilon_{si} = \frac{d_i - c}{c} 0,003$$

$$\text{Lapisan ke-1} : \varepsilon_{s1}' = 0,00278$$

$$\text{Lapisan ke-2} : \varepsilon_{s2}' = 0,00214$$

$$\text{Lapisan ke-3} : \varepsilon_{s3}' = 0,00150$$

$$\text{Lapisan ke-4} : \varepsilon_{s4}' = 0,00086$$

$$\text{Lapisan ke-5} : \varepsilon_{s5}' = 0,00003$$

$$\text{Lapisan ke-6} : \varepsilon_{s6} = 0,00061$$

$$\text{Lapisan ke-7} : \varepsilon_{s7} = 0,00125$$

$$\text{Lapisan ke-8} : \varepsilon_{s8} = 0,00189$$

Jika  $\varepsilon_s > \varepsilon_y$  atau  $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$ , maka tulangan tarik atau tekan sudah leleh dan nilai  $f_s = f_y$ . Apabila

tulangan belum leleh, maka nilai  $f_s = \varepsilon_{si} E_s$  atau  $f_s' = \varepsilon_{si}' E_s$ .





Tegangan pada masing-masing baja tulangan:

$$\text{Lapisan ke-1} \quad : \quad f_{s1}' = 378,856 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-2} \quad : \quad f_{s2}' = 378,856 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-3} \quad : \quad f_{s3}' = 299,306 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-4} \quad : \quad f_{s4}' = 171,351 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-5} \quad : \quad f_{s5}' = 5,009 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-6} \quad : \quad f_{s6} = 122,946 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-7} \quad : \quad f_{s7} = 250,901 \text{ MPa}$$

$$\text{Lapisan ke-8} \quad : \quad f_{s8} = 378,856 \text{ MPa}$$

Beban aksial nominal pada kondisi *balanced*:

$$P_{nb} = C_c + C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + C_{s4} + C_{s5} - T_{s6} - T_{s7} - T_{s8}$$

$$P_{nb} = 0,85 f_c' a_b b + A_{s1}' f_{s1}' + A_{s2}' f_{s2}' + A_{s3}' f_{s3} + A_{s4}' f_{s4}' + A_{s5}' f_{s5}' - A_{s6} f_{s6} - A_{s7} f_{s7} - A_{s8} f_{s8}$$

$$P_{nb} = 341632 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 341,632 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 222,061 \text{ kN}$$

Momen nominal terhadap pusat penampang pada kondisi *balanced*:

$$M_{nb} = P_{nb} e_i$$

$$M_{nb} = 0,85 f_c' a_b b \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{s1}' f_{s1}' \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s2}' f_{s2}' \left( \frac{h}{2} - d_2 \right) + A_{s3}' f_{s3} \left( \frac{h}{2} - d_3 \right) + A_{s4}' f_{s4}' \left( \frac{h}{2} - d_4 \right) + A_{s5}' f_{s5}' \left( \frac{h}{2} - d_5 \right) - A_{s6} f_{s6} \left( d_6 - \frac{h}{2} \right) - A_{s7} f_{s7} \left( d_7 - \frac{h}{2} \right) - A_{s8} f_{s8} \left( d_8 - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_{nb} = 55131 \text{ kNmm}$$

$$M_{nb} = 55,131 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nb} = 35,835 \text{ kNm}$$

– Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)

Keruntuhan tekan terjadi jika:

$$P_n > P_{nb}$$

$$c > c_b$$

$$e < e_b$$

c	M <sub>s1</sub>	M <sub>s2</sub>	M <sub>s3</sub>	M <sub>s4</sub>	M <sub>s5</sub>	M <sub>s6</sub>	M <sub>s7</sub>	M <sub>s8</sub>	M <sub>s</sub>	a	C <sub>c</sub>	M <sub>c</sub>	P <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>	Φ	Φ.P <sub>n</sub>	Φ.M <sub>n</sub>	Ph
mm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	mm	kN	kNmm	kN	kNm		kN	kNm	kN
480	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-980.7	-1986.6	-2382.8	-2169.5	8370.1	408.0	603.4	-2413.7	835.4	6.0	0.65	543.0	3.9	9.9
472	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-965.1	-1938.4	-2291.8	-2025.2	8669.2	401.2	593.4	-356.0	822.8	8.3	0.65	534.8	5.4	13.9
464	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-948.9	-1888.6	-2197.6	-1876.0	8978.6	394.4	583.3	1633.3	810.1	10.6	0.65	526.6	6.9	17.7
456	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-932.2	-1837.0	-2100.1	-1721.5	9298.8	387.6	573.3	3554.2	797.3	12.9	0.65	518.2	8.4	21.4
448	6743.9	4896.2	3048.6	1190.9	-914.9	-1783.6	-1999.1	-1561.5	9620.4	380.8	563.2	5406.8	784.1	15.0	0.65	509.7	9.8	25.0
440	6743.9	4896.2	3048.6	1177.9	-897.0	-1728.2	-1894.5	-1395.7	9951.2	374.0	553.1	7190.9	770.7	17.1	0.65	501.0	11.1	28.6
432	6743.9	4896.2	3048.6	1164.5	-878.3	-1670.8	-1786.0	-1223.8	10294.3	367.2	543.1	8906.7	757.2	19.2	0.65	492.2	12.5	32.0
424	6743.9	4896.2	3048.6	1150.6	-859.0	-1611.3	-1673.4	-1045.4	10650.3	360.4	533.0	10554.0	743.6	21.2	0.65	483.3	13.8	35.3
416	6743.9	4896.2	3048.6	1136.2	-839.0	-1549.4	-1556.4	-860.1	11020.0	353.6	523.0	12133.0	729.8	23.2	0.65	474.4	15.0	38.6
408	6743.9	4896.2	3048.6	1121.1	-818.1	-1485.1	-1434.9	-667.5	11404.2	346.8	512.9	13643.6	715.9	25.0	0.65	465.4	16.3	41.7
400	6743.9	4896.2	3048.6	1105.5	-796.5	-1418.3	-1308.5	-467.3	11803.7	340.0	502.9	15085.8	701.9	26.9	0.65	456.2	17.5	44.8
392	6743.9	4896.2	3048.6	1089.3	-773.9	-1348.7	-1177.0	-258.8	12219.6	333.2	492.8	16459.6	687.6	28.7	0.65	447.0	18.6	47.8
384	6743.9	4896.2	3048.6	1072.3	-750.4	-1276.2	-1040.0	-41.7	12652.8	326.4	482.7	17765.0	673.2	30.4	0.65	437.6	19.8	50.7
376	6743.9	4896.2	3048.6	1054.7	-725.9	-1200.6	-897.1	184.6	13104.4	319.6	472.7	19002.1	658.6	32.1	0.65	428.1	20.9	53.5
368	6743.9	4896.2	3048.6	1036.3	-700.3	-1121.7	-748.0	420.8	13575.7	312.8	462.6	20170.7	643.9	33.7	0.65	418.5	21.9	56.2
360	6743.9	4896.2	3048.6	1017.0	-673.6	-1039.4	-592.3	667.5	14067.9	306.0	452.6	21271.0	628.9	35.3	0.65	408.8	23.0	58.9
352	6743.9	4896.2	3048.6	996.9	-645.7	-953.3	-429.6	925.4	14582.5	299.2	442.5	22302.8	613.6	36.9	0.65	398.9	24.0	61.5
344	6743.9	4896.2	3048.6	975.9	-616.5	-863.2	-259.2	1195.3	15121.0	292.4	432.5	23266.3	598.2	38.4	0.65	388.8	25.0	64.0
336	6743.9	4896.2	3048.6	953.8	-585.9	-768.8	-80.8	1478.1	15685.2	285.6	422.4	24161.4	582.5	39.8	0.65	378.6	25.9	66.4
328	6743.9	4896.2	3048.6	930.7	-553.8	-669.8	106.4	1774.6	16276.9	278.8	412.3	24988.1	566.5	41.3	0.65	368.2	26.8	68.8
320	6743.9	4896.2	3048.6	906.4	-520.1	-565.8	302.9	2086.0	16898.2	272.0	402.3	25746.4	550.2	42.6	0.65	357.6	27.7	71.1
312	6743.9	4896.2	3009.8	880.9	-484.6	-456.5	509.5	2413.4	17512.5	265.2	392.2	26436.4	533.1	43.9	0.65	346.5	28.6	73.2
304	6743.9	4896.2	2962.0	854.0	-447.3	-341.5	727.0	2757.9	18152.2	258.4	382.2	27057.9	515.6	45.2	0.65	335.1	29.4	75.4
296	6743.9	4896.2	2911.5	825.7	-408.0	-220.2	956.2	3121.1	18826.4	251.6	372.1	27611.0	497.6	46.4	0.65	323.5	30.2	77.4
288	6743.9	4896.2	2858.3	795.8	-366.5	-92.2	1198.1	3504.5	19538.1	244.8	362.1	28095.8	479.2	47.6	0.65	311.5	31.0	79.4
280	6743.9	4896.2	2802.0	764.2	-322.7	43.1	1453.9	3909.8	20290.5	238.0	352.0	28512.2	460.4	48.8	0.65	299.3	31.7	81.3
272	6743.9	4896.2	2742.4	730.7	-276.2	186.4	1724.7	4338.9	21087.1	231.2	341.9	28860.1	441.0	49.9	0.65	286.7	32.5	83.2
264	6743.9	4896.2	2679.2	695.2	-226.9	338.3	2012.0	4794.0	21932.0	224.4	331.9	29139.7	421.1	51.1	0.65	273.7	33.2	85.1
256	6743.9	4896.2	2612.1	657.5	-174.6	499.8	2317.2	5277.6	22829.7	217.6	321.8	29350.9	400.5	52.2	0.65	260.3	33.9	87.0
248	6743.9	4896.2	2540.6	617.4	-118.9	671.7	2642.1	5792.4	23785.3	210.8	311.8	29493.7	379.3	53.3	0.65	246.5	34.6	88.8
240	6743.9	4896.2	2464.3	574.6	-59.4	855.0	2988.6	6341.5	24804.6	204.0	301.7	29568.2	357.3	54.4	0.65	232.3	35.3	90.6





– Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Keruntuhan tarik terjadi jika:

$$P_n < P_{nb}$$

$$c < c_b$$

$$e > e_b$$

c	M <sub>s1</sub>	M <sub>s2</sub>	M <sub>s3</sub>	M <sub>s4</sub>	M <sub>s5</sub>	M <sub>s6</sub>	M <sub>s7</sub>	M <sub>s8</sub>	M <sub>s</sub>	a	C <sub>c</sub>	M <sub>c</sub>	P <sub>n</sub>	M <sub>n</sub>	Φ	Φ.P <sub>n</sub>	Φ.M <sub>n</sub>	Ph
mm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	kNmm	mm	kN	kNmm	kN	kNm		kN	kNm	kN
232	6743.9	4896.2	2382.8	528.8	4.1	1050.9	3359.1	6743.9	25709.7	197.2	291.7	29574.2	335.5	55.3	0.65	218.1	35.9	92.1
224	6743.9	4896.2	2295.5	479.7	72.2	1260.9	3756.0	6743.9	26248.3	190.4	281.6	29511.8	315.3	55.8	0.65	204.9	36.2	92.9
216	6743.9	4896.2	2201.7	427.1	145.3	1486.4	4182.3	6743.9	26826.7	183.6	271.5	29381.1	294.3	56.2	0.65	191.3	36.5	93.7
208	6743.9	4896.2	2100.7	370.3	224.0	1729.3	4641.4	6743.9	27449.7	176.8	261.5	29182.0	272.4	56.6	0.65	177.1	36.8	94.4
200	6743.9	4896.2	1991.6	309.1	309.1	1991.6	4896.2	6743.9	27881.6	170.0	251.4	28914.5	251.4	56.8	0.65	163.4	36.9	94.7
192	6743.9	4896.2	1873.4	242.7	401.2	2275.8	4896.2	6743.9	28073.3	163.2	241.4	28578.5	231.6	56.7	0.65	150.6	36.8	94.4
184	6743.9	4896.2	1744.9	170.6	501.3	2584.6	4896.2	6743.9	28281.7	156.4	231.3	28174.2	211.0	56.5	0.65	137.1	36.7	94.1
176	6743.9	4780.3	1604.8	91.9	610.6	2921.6	4896.2	6743.9	28393.1	149.6	221.3	27701.6	188.5	56.1	0.65	122.5	36.5	93.5
168	6743.9	4638.7	1451.3	5.7	730.2	3048.6	4896.2	6743.9	28258.5	142.8	211.2	27160.5	167.6	55.4	0.65	108.9	36.0	92.4
160	6743.9	4482.9	1282.5	-89.2	861.8	3048.6	4896.2	6743.9	27970.7	136.0	201.1	26551.0	147.4	54.5	0.65	95.8	35.4	90.9
152	6743.9	4310.7	1095.9	-194.0	1007.3	3048.6	4896.2	6743.9	27652.5	129.2	191.1	25873.2	126.0	53.5	0.65	81.9	34.8	89.2
144	6743.9	4119.4	888.5	-310.4	1168.9	3048.6	4896.2	6743.9	27299.1	122.4	181.0	25126.9	103.5	52.4	0.65	67.3	34.1	87.4
136	6743.9	3905.6	656.8	-440.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26755.4	115.6	171.0	24312.3	84.0	51.1	0.65	54.6	33.2	85.1
128	6743.9	3665.1	396.1	-586.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26107.8	108.8	160.9	23429.3	64.5	49.5	0.65	41.9	32.2	82.6
120	6743.9	3392.5	100.6	-752.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	25373.7	102.0	150.9	22477.8	43.7	47.9	0.65	28.4	31.1	79.8
112	6743.9	3080.9	-237.1	-942.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	24534.9	95.2	140.8	21458.0	21.3	46.0	0.65	13.9	29.9	76.7
104	6743.9	2721.4	-626.7	-1161.3	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	23567.0	88.4	130.7	20369.9	-2.9	43.9	0.65	-1.9	28.6	73.2
96	6743.9	2302.0	-1081.3	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	22653.3	81.6	120.7	19213.3	-22.9	41.9	0.65	-14.9	27.2	69.8
88	6743.9	1806.4	-1618.5	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	21620.5	74.8	110.6	17988.3	-43.2	39.6	0.65	-28.1	25.7	66.0
80	6743.9	1211.6	-2263.2	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	20381.0	68.0	100.6	16695.0	-65.5	37.1	0.65	-42.6	24.1	61.8
72	6743.9	484.6	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	18868.6	61.2	90.5	15333.2	-90.6	34.2	0.65	-58.9	22.2	57.0
64	6743.9	-424.1	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	17959.9	54.4	80.5	13903.1	-107.5	31.9	0.65	-69.9	20.7	53.1
56	6743.9	-1592.4	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	16791.6	47.6	70.4	12404.6	-126.4	29.2	0.65	-82.1	19.0	48.7
48	6743.9	-3150.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	15233.8	40.8	60.3	10837.6	-148.2	26.1	0.65	-96.3	16.9	43.5
40	6007.7	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	12751.6	34.0	50.3	9202.3	-175.5	22.0	0.65	-114.1	14.3	36.6
32	4839.5	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	11583.4	27.2	40.2	7498.6	-191.9	19.1	0.65	-124.7	12.4	31.8
24	2892.6	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	9636.5	20.4	30.2	5726.6	-212.6	15.4	0.65	-138.2	10.0	25.6
16	-1001.3	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	5742.6	13.6	20.1	3886.1	-244.0	9.6	0.65	-158.6	6.3	16.0
8	-6743.9	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	0.0	6.8	10.1	1977.2	-285.6	2.0	0.65	-185.6	1.3	3.3



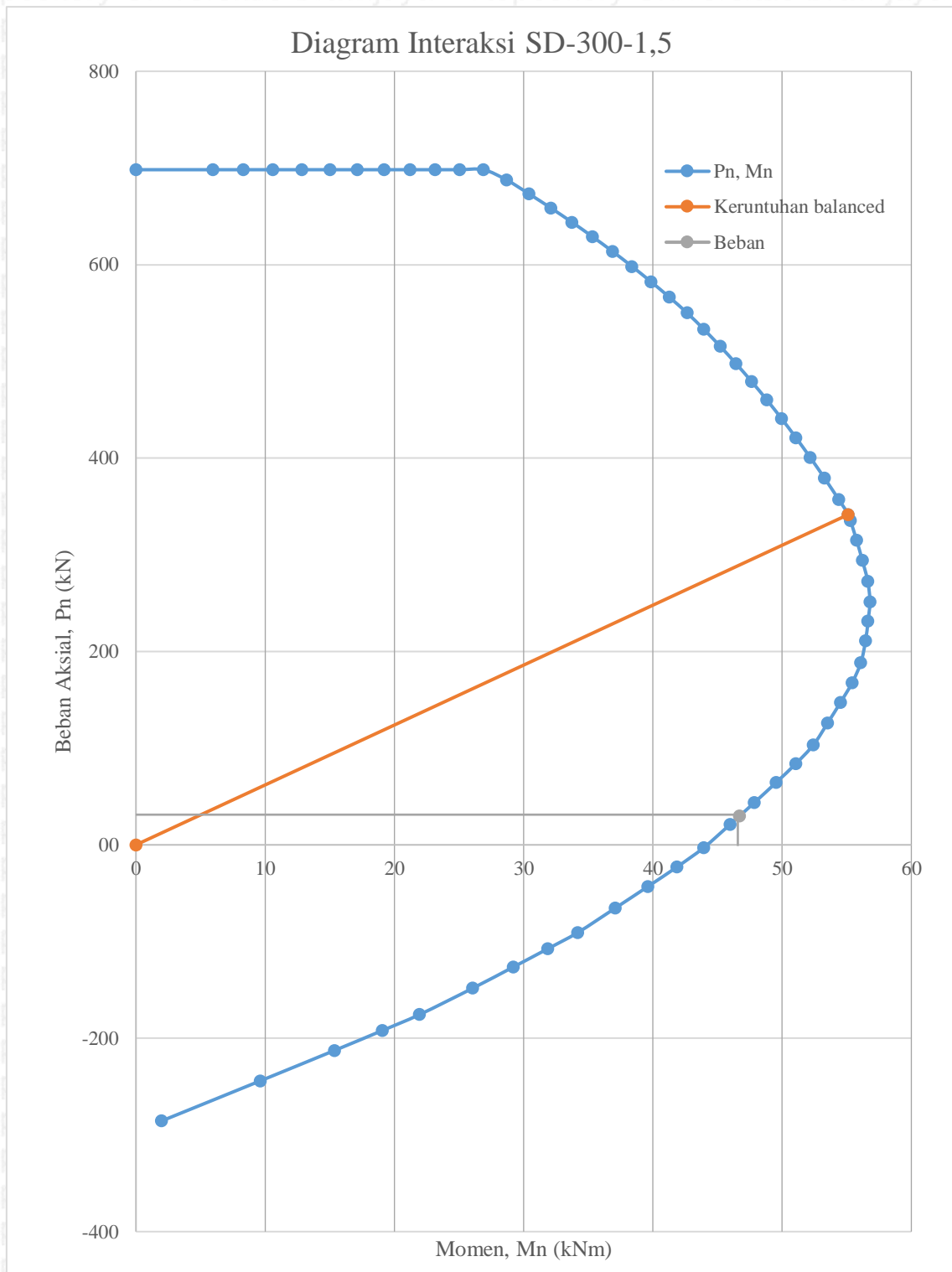
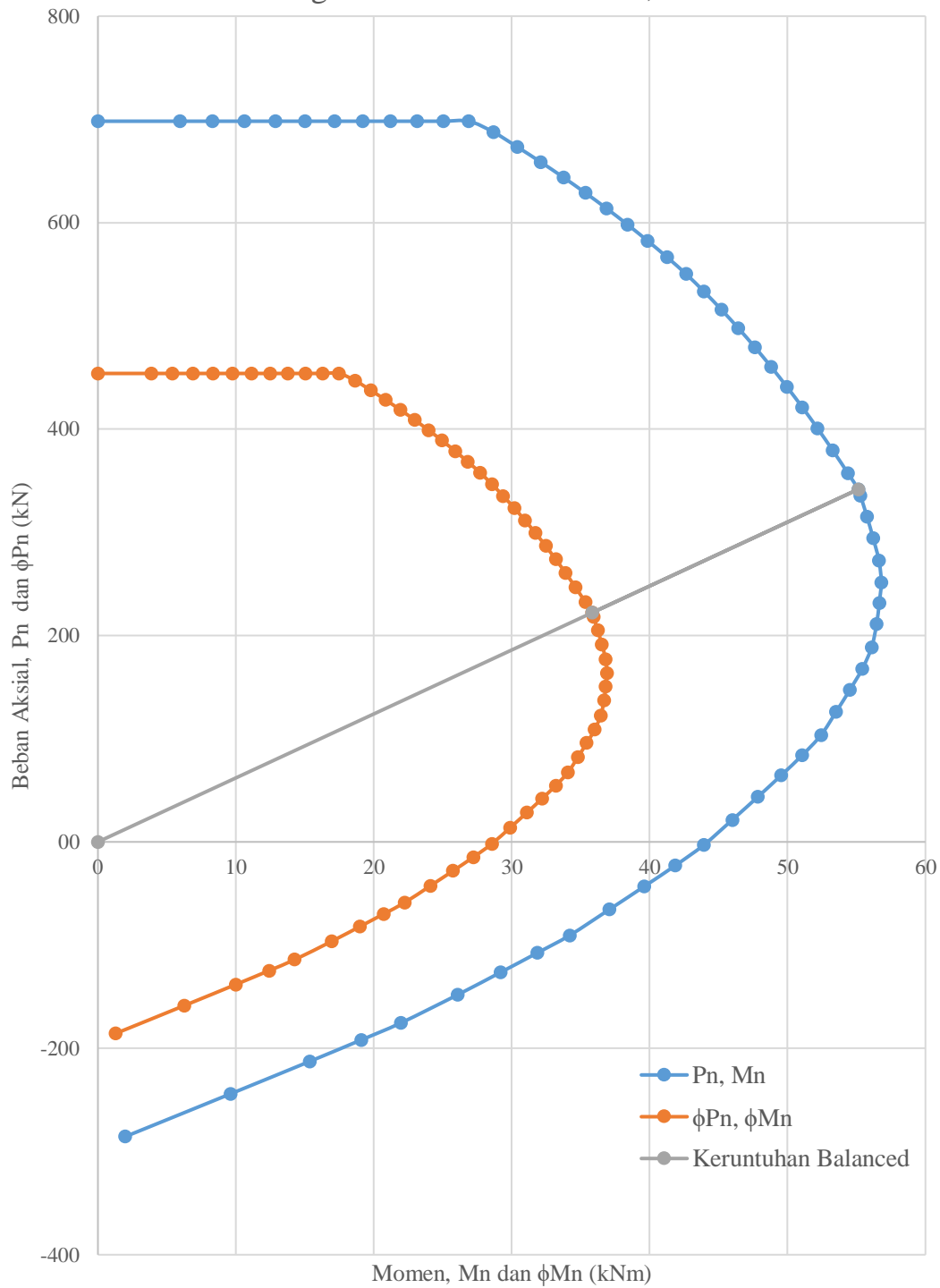


Diagram Interaksi SD-300-1,5







#### f. Momen-Kurvatur

Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

$$\text{Kuat tekan beton} : f_c' = 21,75 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja tulangan longitudinal} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja tulangan transversal} : f_y = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan ultimit baja tulangan} : f_{su} = 469,897 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang dinding geser} : B = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang dinding geser} : H = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter baja tulangan longitudinal} : D = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah lapisan baja tulangan} : 8$$

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

$$\text{Lapisan ke-1} : d_1 = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-2} : d_2 = 67,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-3} : d_3 = 117,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-4} : d_4 = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-5} : d_5 = 232,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-6} : d_6 = 282,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-7} : d_7 = 332,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-8} : d_8 = 382,5 \text{ mm}$$

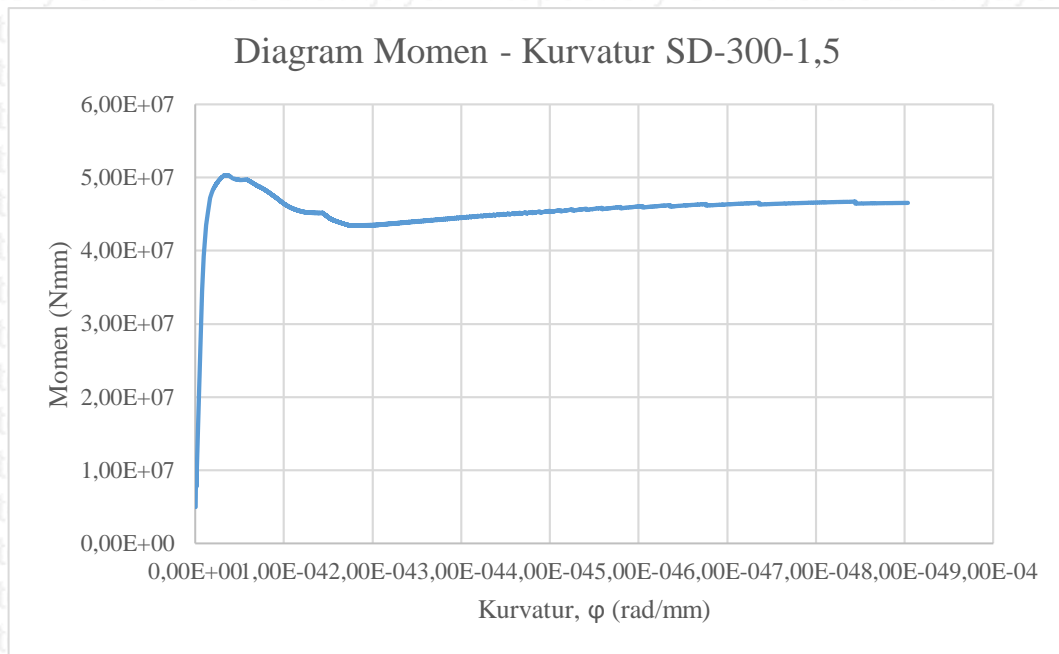
$$\text{Diameter baja tulangan transversal} : D = 11,314 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak baja tulangan transversal} : s = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Besaran beban aksial} : P = 30000 \text{ N}$$

$$\text{Posisi beban aksial terhadap serat atas} : 200 \text{ mm}$$

Hasil perhitungan hubungan momen-kurvatur menggunakan program momen:



Dari diagram momen-kurvatur di atas didapat:

$$M_{cr} = 1,03 \times 10^7 \text{ Nmm} = 1,026 \text{ tm}$$

$$M_y = 3,45 \times 10^7 \text{ Nmm} = 3,450 \text{ tm}$$

$$M_u = 5,03 \times 10^7 \text{ Nmm} = 5,028 \text{ tm}$$

$$M_f = 4,39 \times 10^7 \text{ Nmm} = 4,392 \text{ tm}$$

$$\phi_{cr} = 9,20 \times 10^{-7} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_y = 7,74 \times 10^{-6} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_u = 3,56 \times 10^{-5} \text{ rad/mm}$$

$$\phi_f = 1,62 \times 10^{-4} \text{ rad/mm}$$

Beban lateral yang terjadi pada dinding geser dengan tinggi ( $L$ ) sebesar 600 mm:

$$P_{cr} = \frac{M_{cr}}{L} = \frac{1,026}{600 \times 10^{-3}} = 1,710 \text{ t} = 1709,65 \text{ kg}$$

$$P_y = \frac{M_y}{L} = \frac{3,450}{600 \times 10^{-3}} = 5,751 \text{ t} = 5750,68 \text{ kg}$$

$$P_u = \frac{M_u}{L} = \frac{5,028}{600 \times 10^{-3}} = 8,380 \text{ t} = 8379,73 \text{ kg}$$

$$P_f = \frac{M_f}{L} = \frac{4,392}{600 \times 10^{-3}} = 7,320 \text{ t} = 7319,88 \text{ kg}$$

Panjang sendi plastis menurut Park dan Paulay (1975):

$$L_p = 0,5 H_w$$

$$L_p = 0,5 \times 400$$

$$L_p = 200 \text{ mm}$$





Rotasi yang terjadi:

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_{cr} = \frac{1}{2} \times 600 \times 9,20 \times 10^{-7} = 2,76 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\theta_y = \frac{1}{2} \times L \times \varphi_y = \frac{1}{2} \times 600 \times 7,74 \times 10^{-6} = 2,32 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_u = \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p$$

$$\theta_u = 2,32 \times 10^{-3} + (3,56 \times 10^{-5} - 7,74 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_u = 7,89 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\theta_f = \theta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p$$

$$\theta_f = 2,32 \times 10^{-3} + (1,62 \times 10^{-4} - 7,74 \times 10^{-6}) \times 200$$

$$\theta_f = 3,31 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

Perpindahan yang terjadi:

$$\Delta_{cr} = \frac{2}{3} \times L \times \theta_{cr} = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,76 \times 10^{-4} = 0,110 \text{ mm}$$

$$\Delta_y = \frac{2}{3} \times L \times \theta_y = \frac{2}{3} \times 600 \times 2,32 \times 10^{-3} = 0,929 \text{ mm}$$

$$\Delta_u = \Delta_y + (\varphi_u - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_u = 0,929 + (3,56 \times 10^{-5} - 7,74 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

$$\Delta_u = 3,715 \text{ mm}$$

$$\Delta_f = \Delta_y + (\varphi_f - \varphi_y) \times L_p \times (L - 0,5 L_p)$$

$$\Delta_f = 0,929 + (1,62 \times 10^{-4} - 7,74 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - 0,5 \times 200)$$

$$\Delta_f = 16,311 \text{ mm}$$

Nilai daktilitas kurvatur:

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} = 4,599$$

Nilai daktilitas perpindahan:

$$\mu_\Delta = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 3,999$$



**LAMPIRAN 2**

**DATA PENGUJIAN SIKLIK**

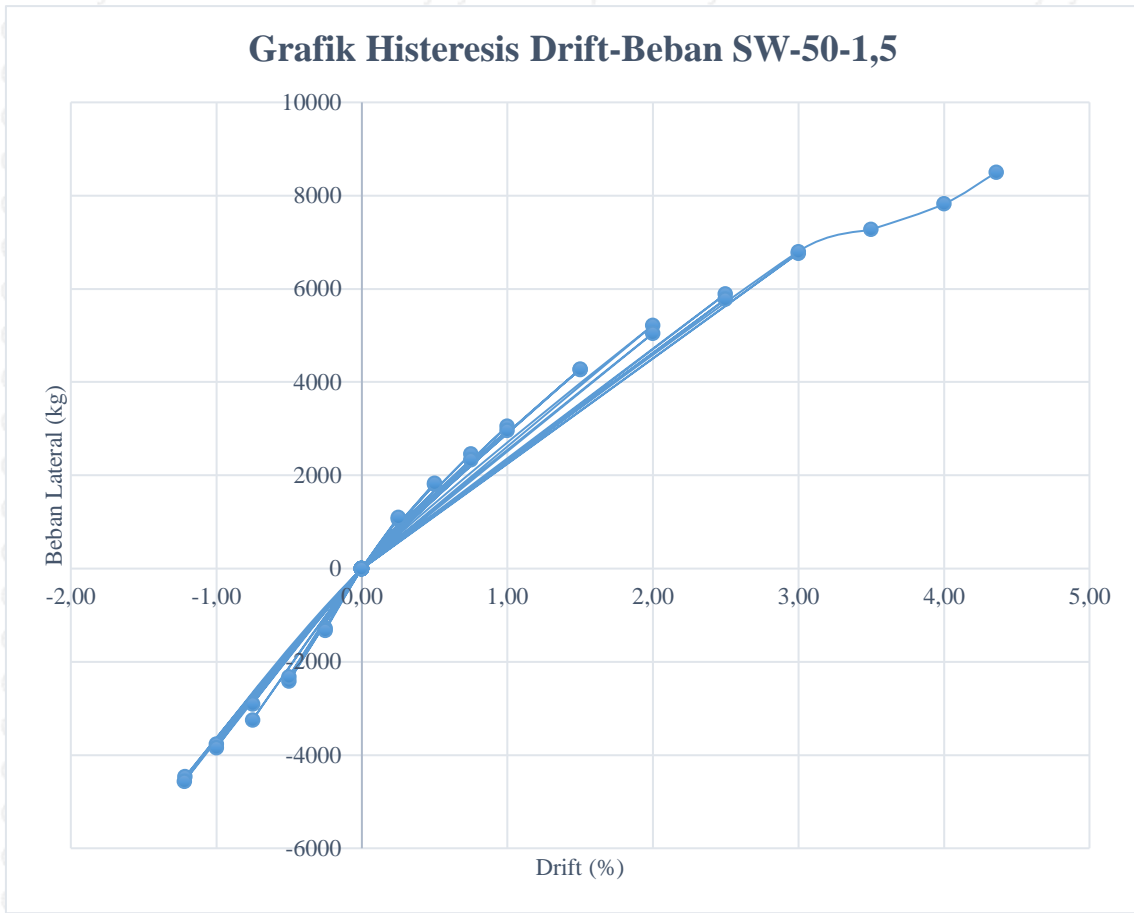
1. Benda Uji SW-50-1,5
2. Benda Uji SD-300-1,5
3. Perhitungan Daktilitas
4. Perhitungan Kekakuan



## 2.1 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SW-50-1,5

- Hasil Pengujian Siklik

No	Drift %	Simpangan mm	Beban kg	$\Delta_2$ mm	$\Delta_3$ mm	$\Delta_4$ mm	$\Delta_5$ mm	$\Delta_6$ mm
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0
2	0.25	1.50	1070	15.90	11.87	16.15	0	0
3	0.00	0.00	0	16.61	11.88	16.5	0	0
4	-0.25	-1.50	-1281	17.37	11.92	17.05	3	-1
5	0.00	0.00	0	16.75	11.90	16.6	1.5	-0.5
6	0.25	1.50	1096	15.90	11.87	16.15	0	0.5
7	0.00	0.00	0	16.66	11.88	16.5	0.5	0.5
8	-0.25	-1.50	-1321	17.35	11.93	17.05	3	-1
9	0.00	0.00	0	16.75	11.90	16.55	1.5	-0.5
10	0.50	3.00	1804	15.20	11.82	15.75	-1	1.5
11	0.00	0.00	0	16.64	11.88	16.45	0.5	1
12	-0.50	-3.00	-2415	18.15	11.98	17.8	5.5	-2.5
13	0.00	0.00	0	16.90	11.91	16.7	2	-0.5
14	0.50	3.00	1828	15.18	11.82	15.75	-1	2
15	0.00	0.00	0	16.74	11.87	16.55	1	1
16	-0.50	-3.00	-2317	18.15	11.97	17.9	6	-2.5
17	0.00	0.00	0	16.94	11.90	-11	2	-1
18	0.75	4.50	2458	14.42	11.75	-9.55	-1.5	3
19	0.00	0.00	0	16.71	11.84	-10.45	1	1
20	-0.75	-4.50	-3244	18.75	12.02	-13.1	9.5	-6
21	0.00	0.00	0	16.99	11.90	-11.1	3	-2
22	0.75	4.50	2334	14.36	11.71	-9.45	-1	2
23	0.00	0.00	0	16.82	11.82	-10.65	2	0.5
24	-0.75	-4.50	-2900	18.77	12.00	-13.25	8	-4
25	0.00	0.00	0	17.06	11.86	-10.35	4	-1
26	1.00	6.00	3056	13.65	11.63	-8.25	-2	4.5
27	0.00	0.00	0	16.96	11.70	-9.75	1.5	1.5
28	-1.00	-6.00	-3762	19.34	11.96	-10.25	8	-5.5
29	0.00	0.00	0	17.04	11.76	-7.15	3	-1
30	1.00	6.00	2964	13.65	11.53	-4.8	-3	6
31	0.00	0.00	0	16.85	11.69	-6.5	0.5	2
32	-1.00	-6.00	-3844	19.46	11.96	-10.55	9.5	-8
33	0.00	0.00	0	17.13	11.75	-7.05	3	-1.5
34	1.50	9.00	4270	12.16	11.39	-3.85	-9.5	11
35	0.00	0.00	0	16.74	11.62	-6.25	-1	2
36	-1.21	-7.28	-4465	19.97	12.00	-11.75	13	-15
37	0.00	0.00	0	17.19	11.72	-7.25	3.5	-3.5
38	1.50	9.00	4278	12.20	11.32	-3.8	-9.5	10
39	0.00	0.00	0	16.78	11.61	-6.35	-1	1.5
40	-1.22	-7.32	-4565	19.99	11.99	-11.95	15	-17
41	0.00	0.00	0	17.16	11.70	-7.35	3.5	-4.5
42	2.00	12.00	5218	10.72	11.11	-2.75	-27.5	14
43	0.00	0.00	0	16.66	11.53	-6.1	-8	1.5
44	2.00	12.00	5046	10.83	12.06	-2.6	-30.5	13.5
45	0.00	0.00	0	16.62	11.51	-6	-8.5	1
46	2.50	15.00	5892	9.38	10.87	-1.65	-38.5	14.5
47	0.00	0.00	0	16.54	11.45	-5.8	-11	1.5
48	2.50	15.00	5780	9.41	10.83	-1.65	-41.5	15
49	0.00	0.00	0	16.50	11.44	-5.7	-11.5	2
50	3.00	18.00	6766	7.80	10.60	-0.45	-59	18
51	0.00	0.00	0	16.28	11.36	-5.45	-19.5	3.5
52	3.00	18.00	6802	7.89	10.58	-0.5	-60	17.5
53	3.50	21.00	7274	-	-	-	-	-
54	4.00	24.00	7822	-	-	-	-	-
55	4.36	26.17	8500	-	-	-	-	-



• Rata - Rata Beban Lateral Pada Setiap Drift

Drift (%)	Beban (kg)	Simpangan (mm)
0	0	0.00
0.25	1083	1.50
-0.25	-1301	-1.50
0.5	1816	3.00
-0.5	-2366	-3.00
0.75	2396	4.50
-0.75	-3072	-4.50
1	3010	6.00
-1	-3803	-6.00
1.5	4274	9.00
-1.21	-4515	-7.26
2	5132	12.00
2.5	5836	15.00
3	6784	18.00
3.5	7274	21.00
4	7822	24.00
4.36	8500	26.16

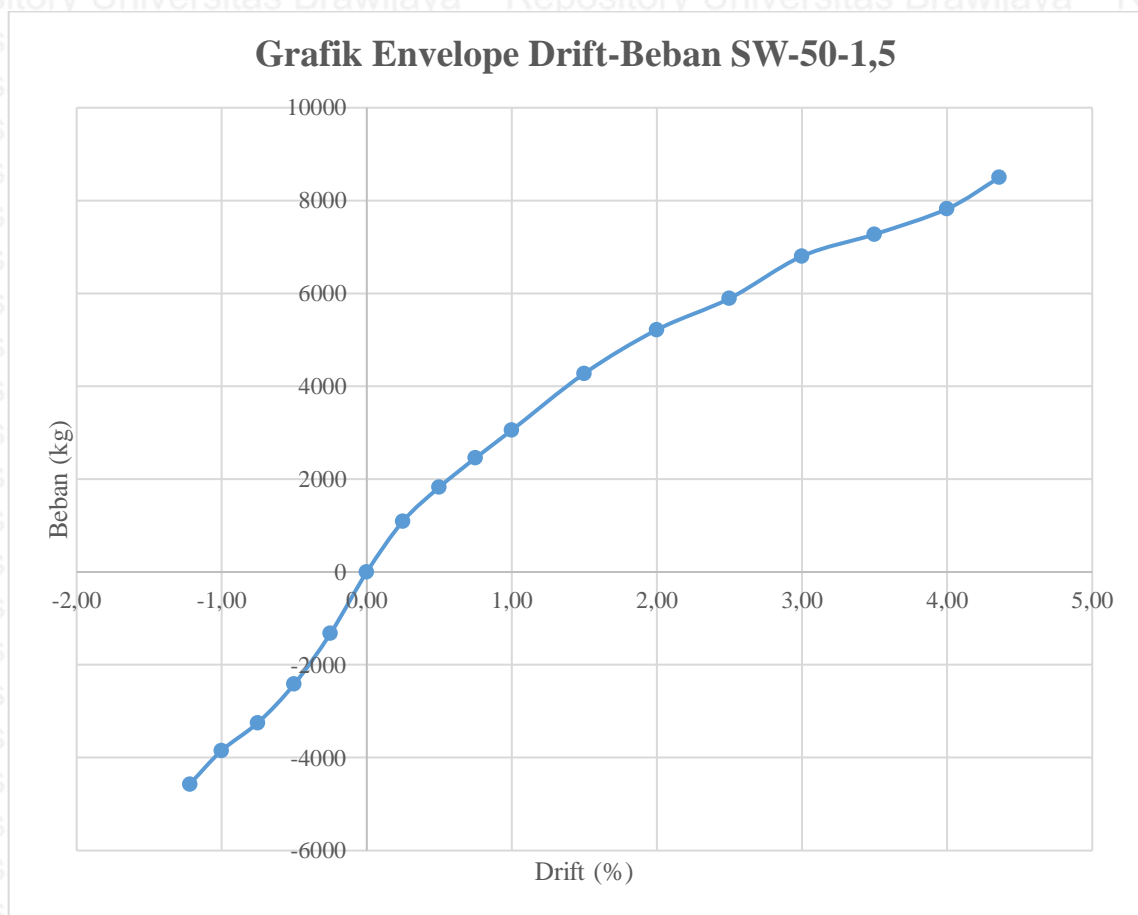


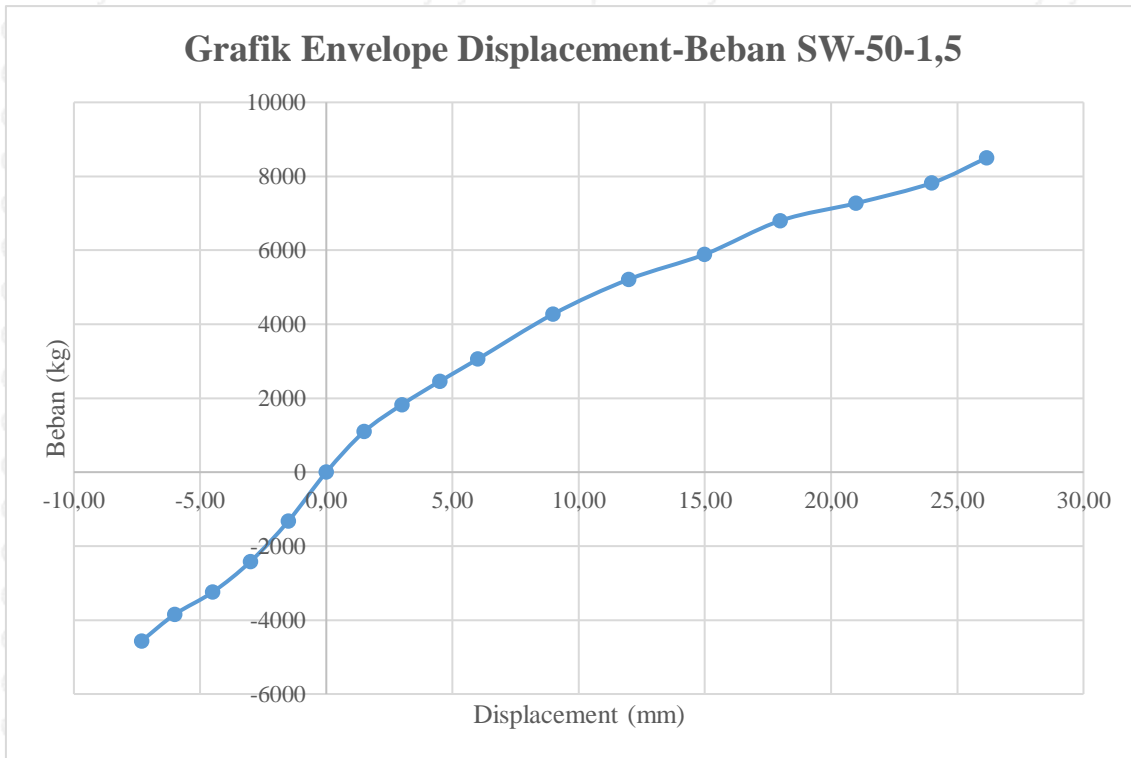


- **Grafik Envelope**

Grafik *envelope* diperoleh dari grafik histeresis dengan cara mengambil beban maksimum pada setiap *drift*.

Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
-1.22	-4565	-7.32
-1.00	-3844	-6.00
-0.75	-3244	-4.50
-0.50	-2415	-3.00
-0.25	-1321	-1.50
0.00	0	0.00
0.25	1096	1.50
0.50	1828	3.00
0.75	2458	4.50
1.00	3056	6.00
1.50	4278	9.00
2.00	5218	12.00
2.50	5892	15.00
3.00	6802	18.00
3.50	7274	21.00
4.00	7822	24.00
4.36	8500	26.17





- Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Siklik dengan Perhitungan Teoritis

Dari analisis dengan momen-kurvatur didapatkan hasil sebagai berikut:

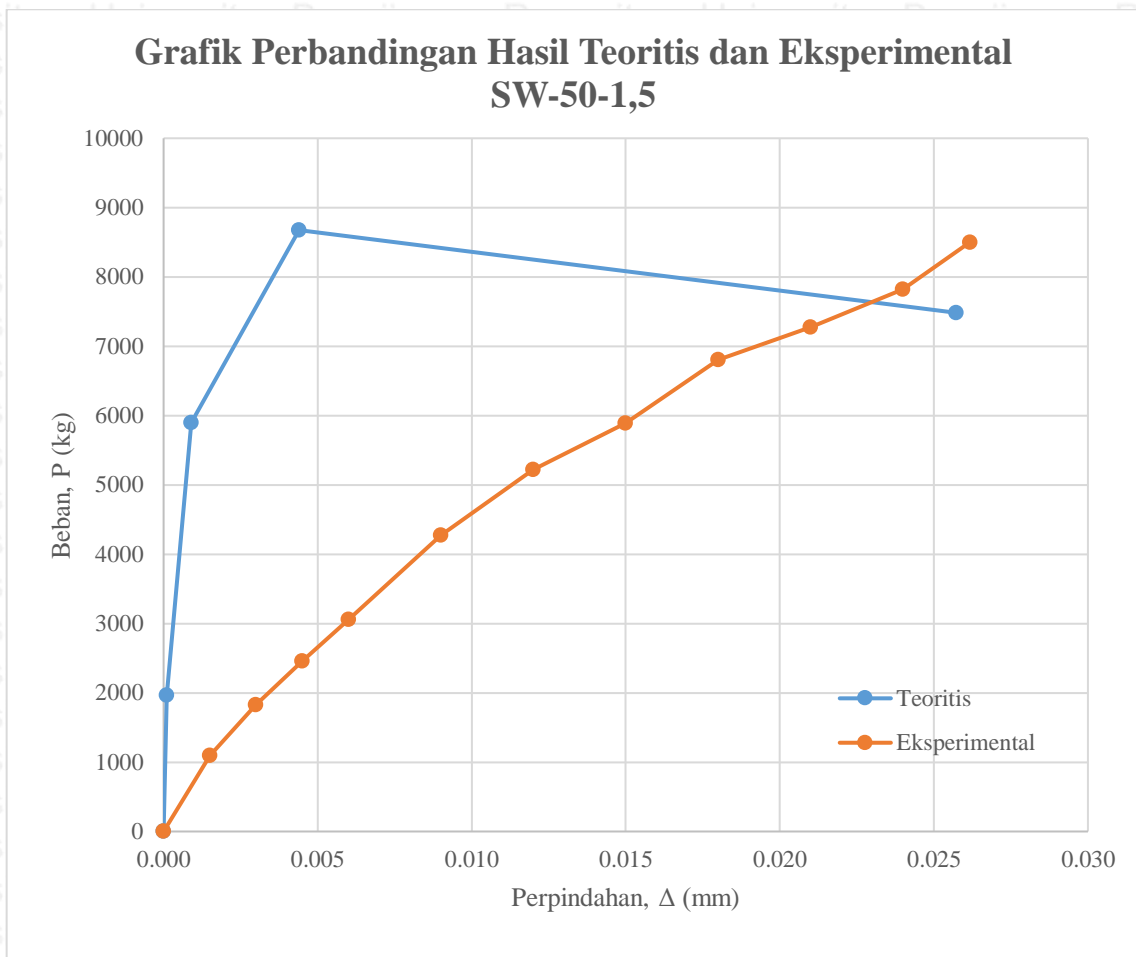
Kondisi	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban P kg
Awal	0.000	0.00
Crack	0.106	1964.82
Yield	0.897	5896.38
Ultimate	4.392	8675.38
Failure	25.735	7484.98

Dari pengolahan data pengujian siklik didapatkan hasil sebagai berikut:

Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
0.00	0	0.00
0.25	1096	1.50
0.50	1828	3.00
0.75	2458	4.50
1.00	3056	6.00
1.50	4278	9.00
2.00	5218	12.00
2.50	5892	15.00
3.00	6802	18.00
3.50	7274	21.00
4.00	7822	24.00
4.36	8500	26.17



Kedua data tersebut dapat diplotkan menjadi grafik di bawah ini:



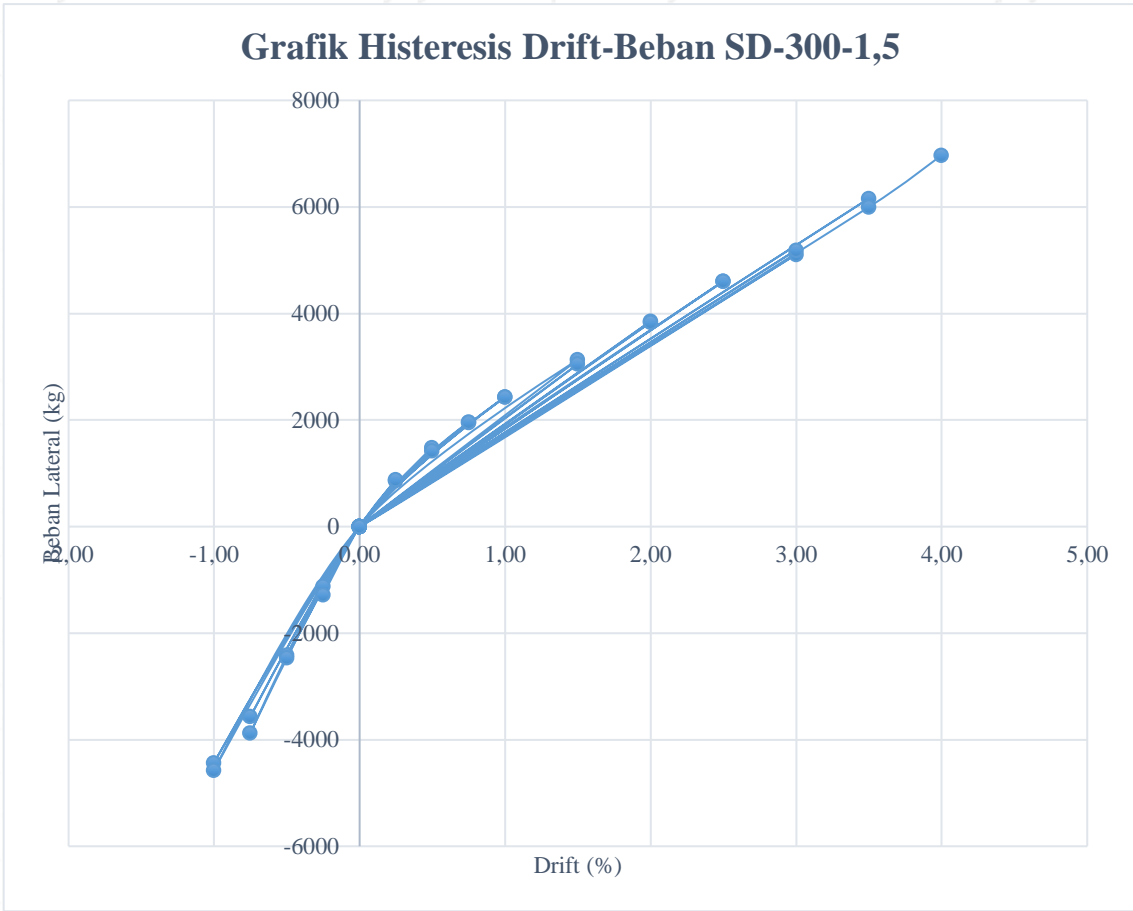
## 2.2 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SD-300-1,5

- Hasil Pengujian Siklik

No	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	$\Delta_2$ (mm)	$\Delta_3$ (mm)	$\Delta_4$ (mm)	$\Delta_5$ (mm)	$\Delta_6$ (mm)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0
2	0.25	1.50	864	-0.78	-0.01	-0.3	0	0
3	0.00	0.00	0	-0.06	-0.08	0	0	0
4	-0.25	-1.50	-1120	0.68	0.03	0.4	0	-0.5
5	0.00	0.00	0	0.07	0.09	0.1	0	-0.5
6	0.25	1.50	882	-0.74	0.06	-0.3	0	-0.5
7	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.05	0	-0.5
8	-0.25	-1.50	-1283	0.81	0.03	0.55	0	-1
9	0.00	0.00	0	0.09	0.09	0.1	0	-1
10	0.50	3.00	1482	-1.42	-0.10	-0.55	-1.5	-0.5
11	0.00	0.00	0	-0.07	-0.01	0	-1.5	-0.5
12	-0.50	-3.00	-2415	1.48	0.04	-2.45	1	-4.5
13	0.00	0.00	0	0.13	0.02	-3.5	-1	-4.5
14	0.50	3.00	1420	-1.36	-0.03	-4.55	-2.5	-3.5
15	0.00	0.00	0	-0.03	0.00	-3.95	-2.5	-3.5
16	-0.50	-3.00	-2462	1.57	0.04	-2.5	1.5	-4.5
17	0.00	0.00	0	0.13	0.02	-3.8	-1	-4
18	0.75	4.50	1956	-2.04	-0.07	-4.9	-3	-3
19	0.00	0.00	0	-0.04	-0.05	-3.9	-2.5	-3.5
20	-0.75	-4.50	-3565	2.18	0.15	-1.5	5	-6
21	0.00	0.00	0	0.17	0.04	-3.55	0	-5
22	0.75	4.50	1964	-2.09	-0.01	-4.95	-3	-6
23	0.00	0.00	0	-0.24	-0.06	-4	-3	-4
24	-0.75	-4.50	-3872	1.95	0.21	0.05	7	-12
25	0.00	0.00	0	0.07	0.11	-3.2	-1.5	-9
26	1.00	6.00	2430	-2.81	-0.14	-5.3	-3	-8
27	0.00	0.00	0	-0.14	-0.02	-3.85	-3	-7
28	-1.00	-6.00	-4430	2.63	0.21	1.75	8	-19
29	0.00	0.00	0	0.24	0.05	-2.8	0	-12
30	1.00	6.00	2436	-2.87	-0.16	-5.45	-3.5	-7.5
31	0.00	0.00	0	-0.10	-0.02	-3.8	-2	-11
32	-1.00	-6.00	-4572	2.84	0.29	2.2	8.5	-22
33	0.00	0.00	0	0.25	0.05	-3	0	-11.5
34	1.50	9.00	3132	-4.33	-0.35	-6.7	-8	-5
35	0.00	0.00	0	-0.34	-0.22	-4.4	-4	-12.5
36	1.50	9.00	3050	-4.22	-0.45	-6.9	-8	-10
37	0.00	0.00	0	-0.35	-0.13	-4.8	-5	-12
38	2.00	12.00	3856	-5.62	-0.61	-8.05	-9	-9.5
39	0.00	0.00	0	-0.57	-0.37	-5.15	-5.5	-10.5
40	2.00	12.00	3834	-5.60	-0.78	-8.35	-10	-8
41	0.00	0.00	0	-0.56	-0.44	-5.35	-6	-10
42	2.50	15.00	4610	-6.92	-0.98	-9.35	-11	-8
43	0.00	0.00	0	-0.62	-0.52	-5.8	-6	-9.5
44	2.50	15.00	4602	-7.00	-1.06	-9.85	-12	-7.5
45	0.00	0.00	0	-0.63	-0.57	-6.15	-6.5	-10.5
46	3.00	18.00	5108	-8.45	-1.29	-11.2	-20.5	-7.5
47	0.00	0.00	0	-0.68	-0.66	-6.8	-11	-7
48	3.00	18.00	5192	-8.53	-1.35	-11.9	-26	-2.5
49	0.00	0.00	0	-0.71	-0.61	-6.65	-12	-6
50	3.50	21.00	6160	-10.03	-1.50	-12.95	-35	1
51	0.00	0.00	0	-1.64	-0.75	-7.65	-14	-11.5
52	3.50	21.00	5998	-10.01	-1.55	-13.25	-36	-5.5
53	4.00	24.00	6972	-10.78	-1.73	-14.3	-42	-4.5



**Grafik Histeresis Drift-Beban SD-300-1,5**



- Rata - Rata Beban Lateral Pada Setiap Drift

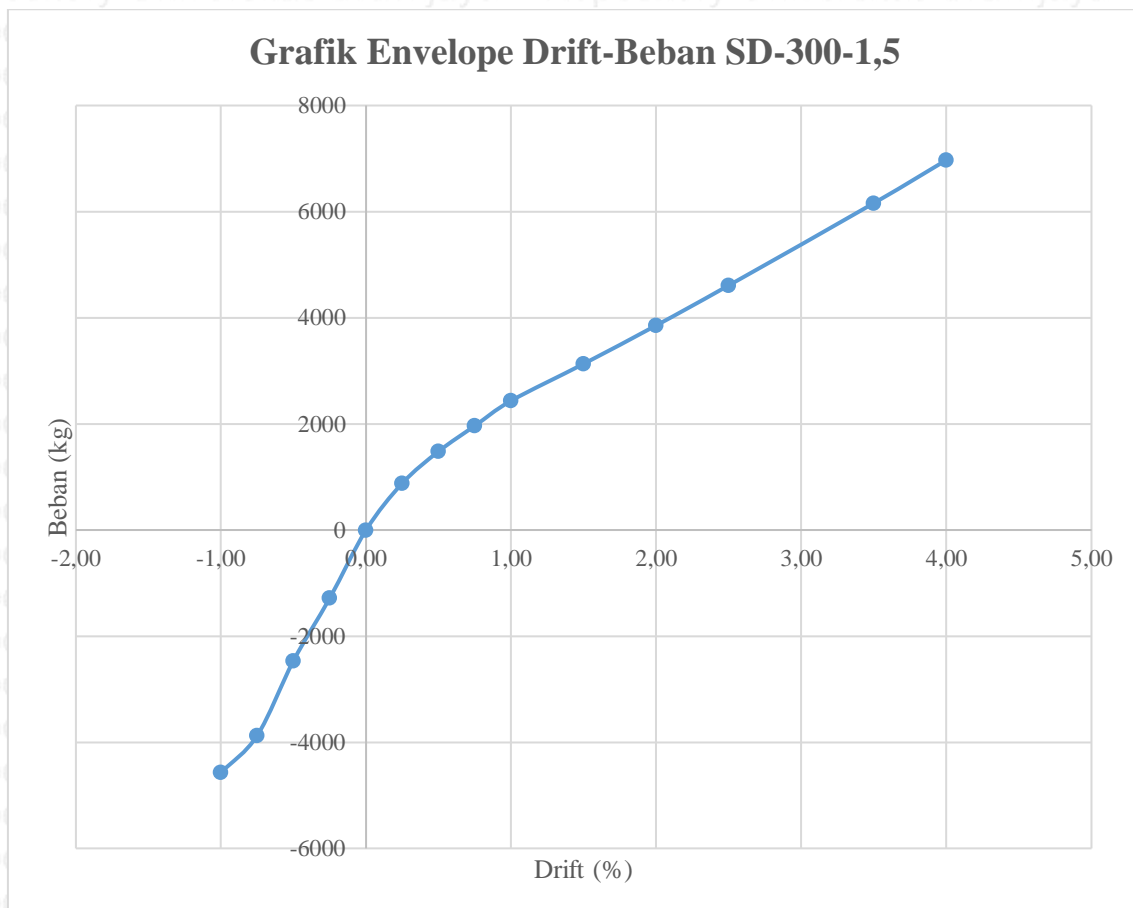
Drift (%)	Beban (kg)	Simpangan (mm)
0	0	0.00
0.25	873	1.50
-0.25	-1202	-1.50
0.5	1451	3.00
-0.5	-2439	-3.00
0.75	1960	4.50
-0.75	-3719	-4.50
1	2433	6.00
-1	-4501	-6.00
1.5	3091	9.00
2	3845	12.00
2.5	4606	15.00
3	5150	18.00
3.5	6079	21.00
4	6972	24.00



- **Grafik Envelope**

Grafik *envelope* diperoleh dari grafik histeresis dengan cara mengambil beban maksimum pada setiap *drift*.

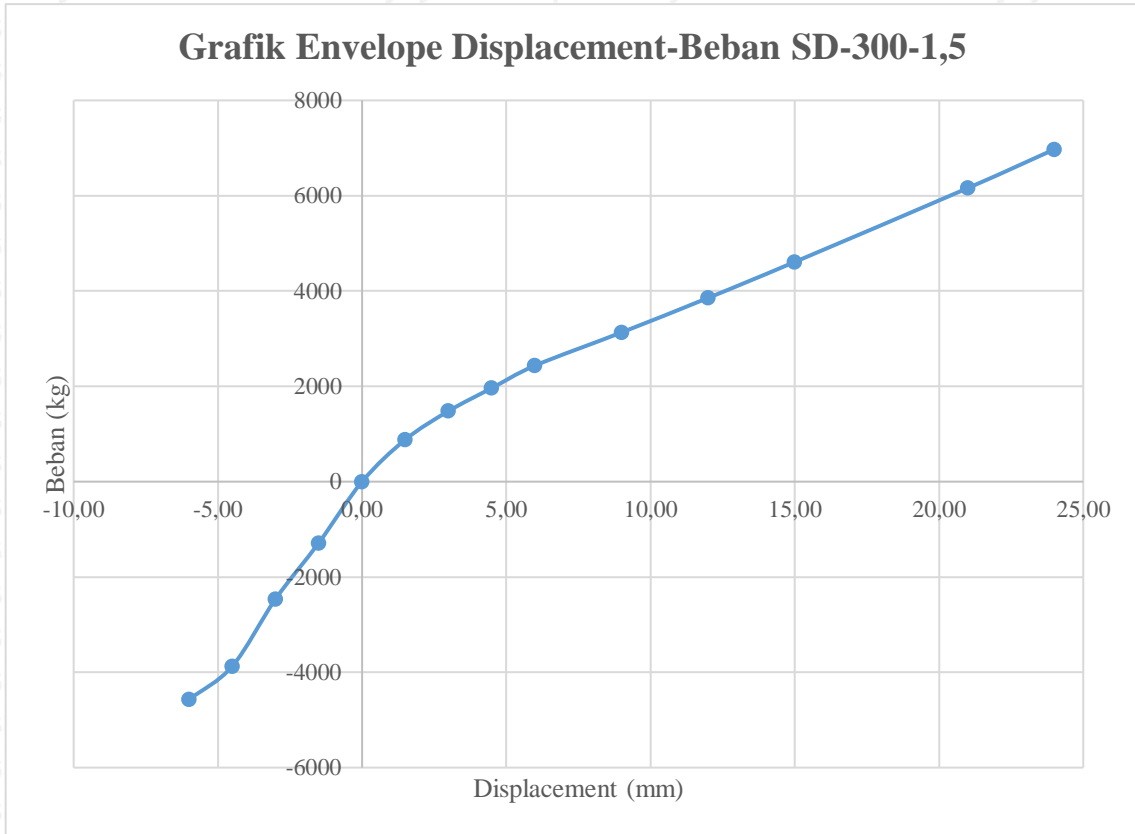
Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
-1.00	-4572	-6.00
-0.75	-3872	-4.50
-0.50	-2462	-3.00
-0.25	-1283	-1.50
0.00	0	0.00
0.25	882	1.50
0.50	1482	3.00
0.75	1964	4.50
1.00	2436	6.00
1.50	3132	9.00
2.00	3856	12.00
2.50	4610	15.00
3.50	6160	21.00
4.00	6972	24.00







**Grafik Envelope Displacement-Beban SD-300-1,5**



- **Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Siklik dengan Perhitungan Teoritis**  
 Dari analisis dengan momen-kurvatur didapatkan hasil sebagai berikut:

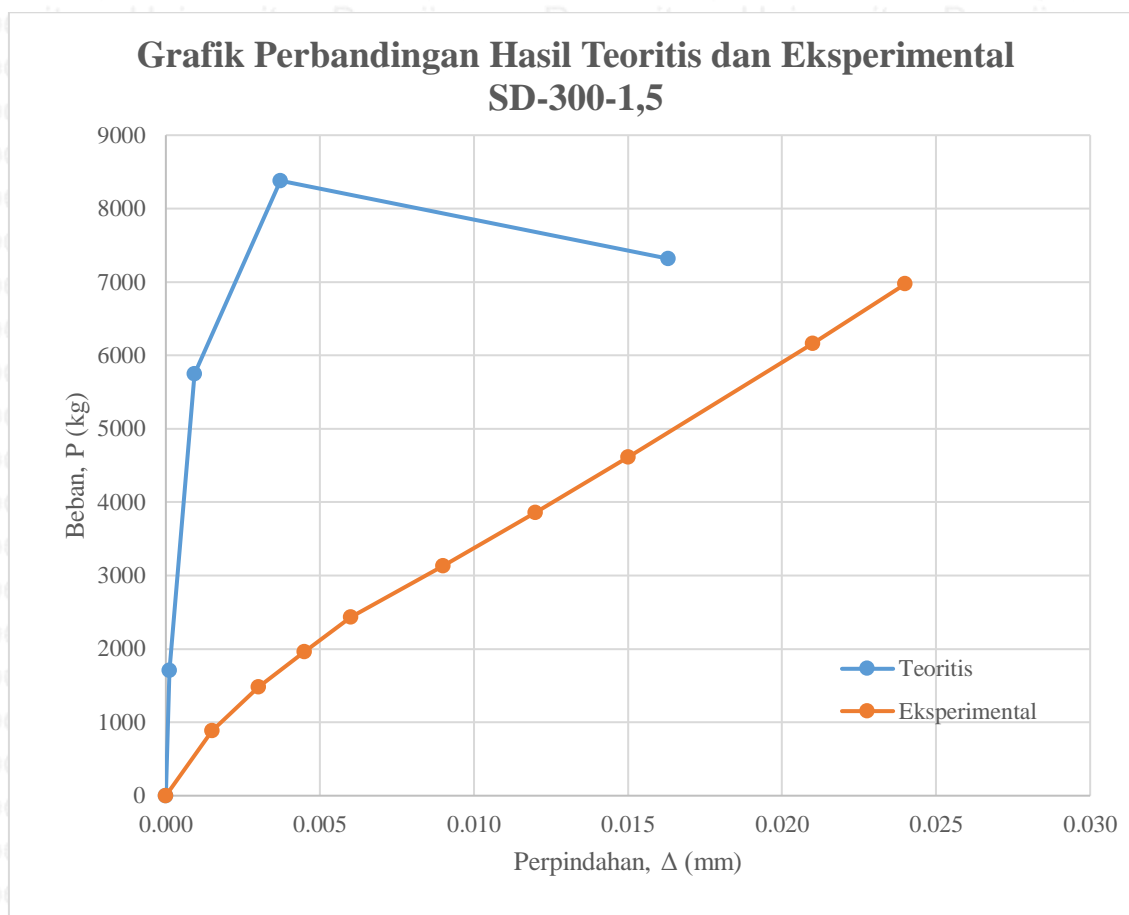
Kondisi	Perpindahan $\Delta$ mm	Beban P kg
Awal	0.000	0.00
Crack	0.110	1709.65
Yield	0.929	5750.68
Ultimate	3.715	8379.73
Failure	16.311	7319.88

Dari pengolahan data pengujian siklik didapatkan hasil sebagai berikut:

Drift (%)	Beban Maksimum (kg)	Simpangan (mm)
0.00	0.00	0.00
0.25	882	1.50
0.50	1482	3.00
0.75	1964	4.50
1.00	2436	6.00
1.50	3132	9.00
2.00	3856	12.00
2.50	4610	15.00
3.50	6160	21.00
4.00	6972	24.00



Kedua data tersebut dapat diplotkan menjadi grafik di bawah ini:





## 2.3 Perhitungan Daktilitas

Cara menentukan nilai daktilitas perpindahan:

1. Tentukan besarnya  $P_{ultimit}$  dari grafik beban lateral-*displacement* yang ada.
2. Tentukan  $\Delta_{ultimit}$  dari beban  $P_{ultimit}$  dari grafik beban lateral-*displacement* dengan menarik garis searah sumbu y pada saat beban maksimum hingga memotong sumbu x.
3. Hitung besarnya  $0,75P_{ultimit}$  untuk menentukan besarnya beban saat kondisi leleh.
4. Plotkan titik pada point 3 dalam grafik beban lateral-*displacement*, kemudian tarik garis sehingga memotong sumbu x dan sumbu y.
5. Tarik garis linear yang menghubungkan titik koordinat (0,0) dan menyinggung titik yang dibuat pada point 3 sampai sejajar dengan ketinggian  $P_{ultimit}$ .
6. Tarik garis vertikal hingga memotong sumbu x, kemudian baca besarnya perpindahan leleh ( $\Delta_y$ ).

Perhitungan  $\Delta_{ultimit}$  dan  $\Delta_y$

- Benda Uji SW-50-1,5



$$0,75 P_u = 6375 \text{ kg}$$

$$\Delta_y = 22,024 \text{ mm}$$

- Benda Uji SD-300-1,5



$$0,75 P_u = 6375 \text{ kg}$$

$$\Delta_y = 22,024 \text{ mm}$$

Setelah  $\Delta_{ultimit}$  dan  $\Delta_y$  setiap benda uji sudah diketahui, maka nilai daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) tiap benda uji dapat dihitung. Hasil perhitungan nilai daktilitas perpindahan ( $\mu_\Delta$ ) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

- Benda Uji SW-50-1,5

Kondisi	Perpindahan		Beban	
	$\Delta$ mm	P kg	$\Delta$ mm	P kg
	Teoritis		Eksperimental	
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	0.106	1964.82	3.000	1828.00
Yield	0.897	5896.38	22.024	6375.00
Ultimate	4.392	8675.38	26.169	8500.00
Failure	25.735	7484.98	-	-
$\mu_\Delta$	4.897		1.188	





- Benda Uji SD-300-1,5

Kondisi	Perpindahan	Beban	Perpindahan	Beban
	$\Delta$ mm	P kg	$\Delta$ mm	P kg
	<b>Teoritis</b>		<b>Eksperimental</b>	
Awal	0.000	0.00	0.000	0.00
Crack	0.110	1709.65	4.500	1964.00
Yield	0.929	5750.68	23.095	5229.00
Ultimate	3.715	8379.73	24.000	6972.00
Failure	16.311	7319.88	-	-
$\mu_{\Delta}$	3.999		1.039	



## 2.4 Perhitungan Kekakuan

Kekakuan dapat didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpindahan dinding geser. Ada 2 metode perhitungan nilai kekakuan, yaitu:

### 1. Kekakuan Tangensial

Cara perhitungan kekakuan tangensial:

- Buat garis yang menyentuh titik pada saat beban maksimum pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .
- Tarik garis linear dari titik koordinat  $(0,0)$  mengikuti bentuk garis diagram yang lurus tanpa ada pola garis lengkung yang tidak sejajar dengan garis mula-mula. Kemudian lanjutkan garis tersebut hingga bersinggungan dengan garis yang telah dibuat tadi pada point  $a$ .
- Tarik garis dari titik yang bersinggungan pada point  $b$  searah sumbu  $y$  hingga menyinggung garis sumbu  $x$  dan kemudian baca perpindahan ( $\Delta$ ).
- Kekakuan tangensial adalah perbandingan antara beban ultimit dengan perpindahan yang telah dicari tadi.

### 2. Kekakuan Sekan

Cara perhitungan kekakuan sekan:

- Buat garis yang menyentuh titik pada saat beban maksimum pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .
- Buat garis yang menyentuh titik pada saat beban penetrasi leleh pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$ .
- Tarik garis linear dari titik koordinat  $(0,0)$  hingga menyinggung titik pada saat beban penetrasi leleh. Kemudian lanjutkan garis tersebut hingga bersinggungan dengan garis yang telah dibuat tadi pada point  $a$ .
- Tarik garis dari titik yang bersinggungan pada point  $b$  searah sumbu  $y$  hingga menyinggung garis sumbu  $x$  dan kemudian baca perpindahan ( $\Delta$ ).
- Kekakuan tangensial adalah perbandingan antara beban ultimit dengan perpindahan yang telah dicari tadi.





- Kekakuan Benda Uji SW-50-1,5

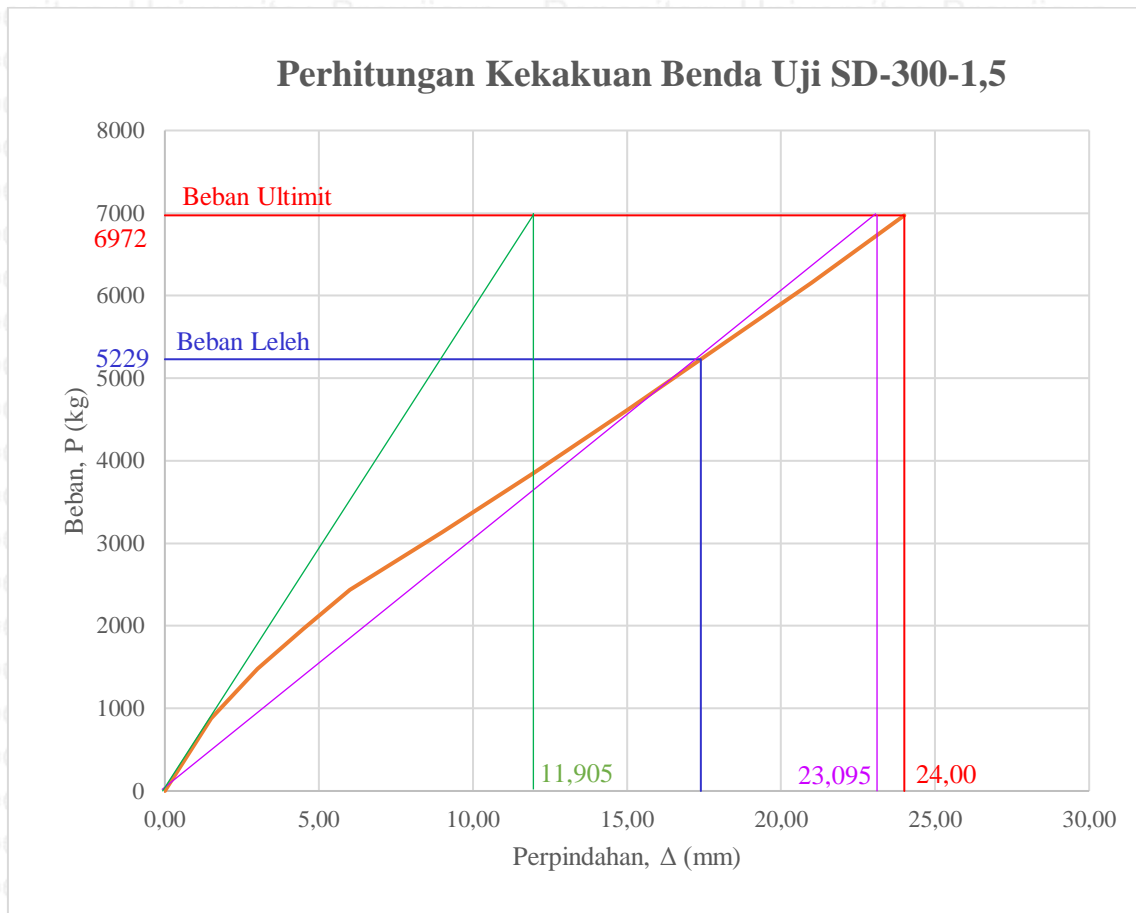


Dari grafik di atas dapat dihitung nilai kekakuan benda uji SW-50-1,5 adalah sebesar:

Metode	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	$k$ kg/mm
<i>Tangential</i>	11.667	8500.00	728.57
<i>Secant</i>	22.024	8500.00	385.95



- Kekakuan Benda Uji SD-300-1,5



Dari grafik di atas dapat dihitung nilai kekakuan benda uji SD-300-1,5 adalah sebesar:

Metode	Perpindahan	Beban	Kekakuan
	$\Delta$ mm	$P_u$ kg	k kg/mm
<i>Tangential</i>	11.905	6972.00	585.65
<i>Secant</i>	23.095	6972.00	301.88











### LAMPIRAN 3

#### DOKUMENTASI PENELITIAN

1. Alat dan Bahan
2. Pengujian Beban Lateral Siklik Benda Uji SW-50-1,5
3. Pengujian Beban Lateral Siklik Benda Uji SD-300-1,5



### 3.1 Alat dan Bahan

	
<p>Alat Pemotong Beton</p>	<p>Digital Hammer Test</p>
	
<p>Loading Frame</p>	<p>Hydraulic Jack</p>
	
<p>Hydraulic Pump</p>	<p>Load Cell</p>





LVDT

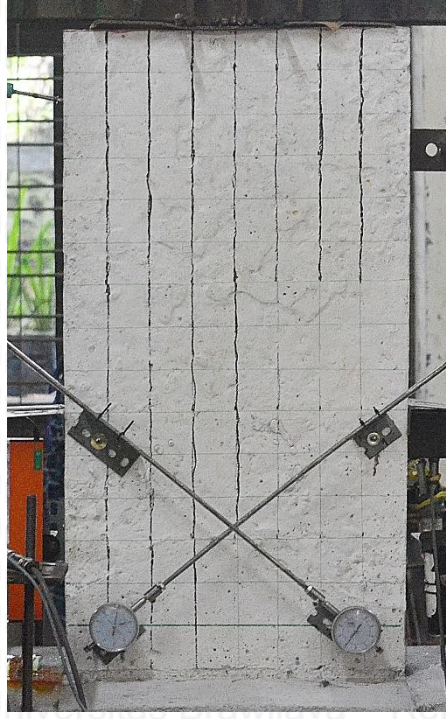
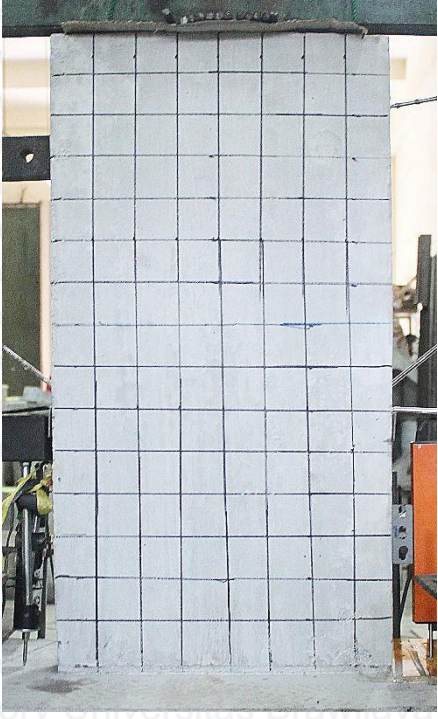

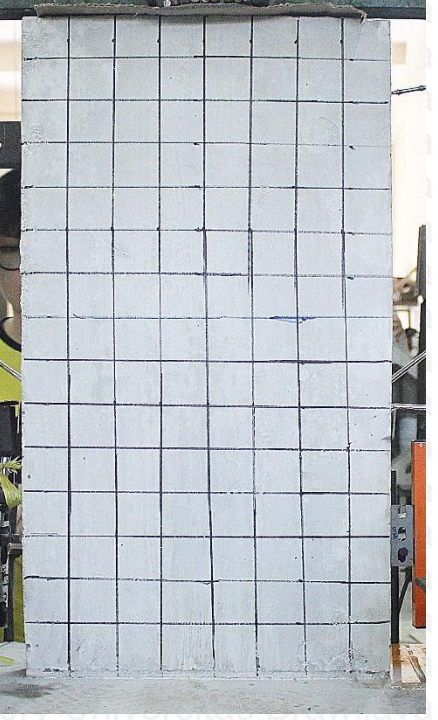


Dial Gauge

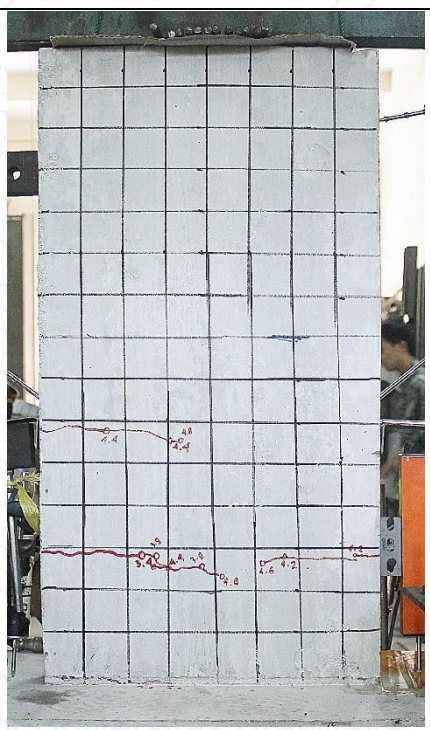
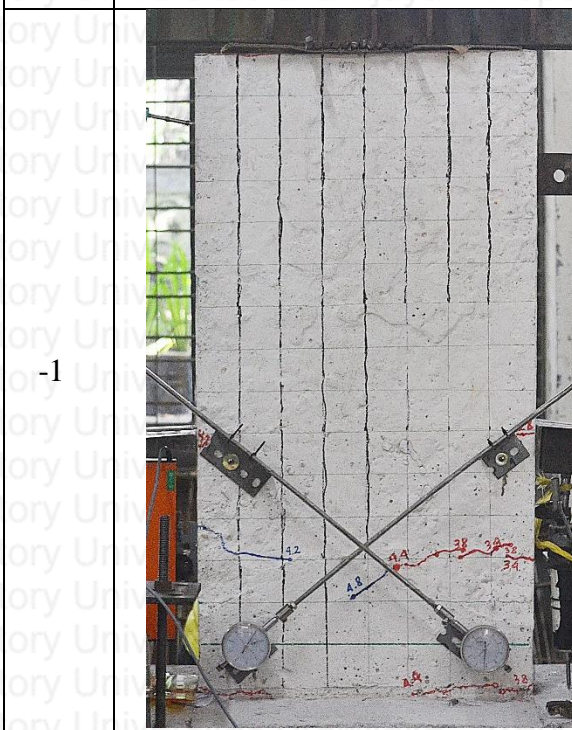
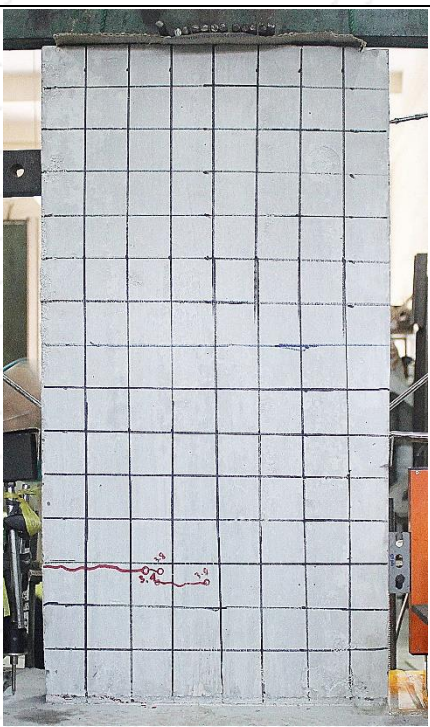




### 3.2 Visualisasi Pengujian Beban Lateral Siklik Benda Uji SW-50-1,5

Drift (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
-0.25		
-0.5		









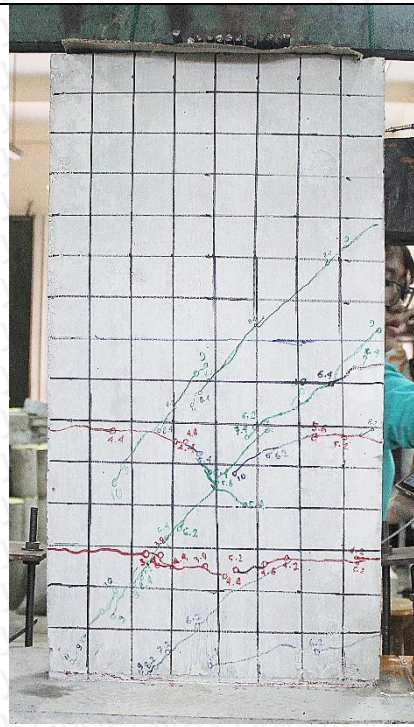
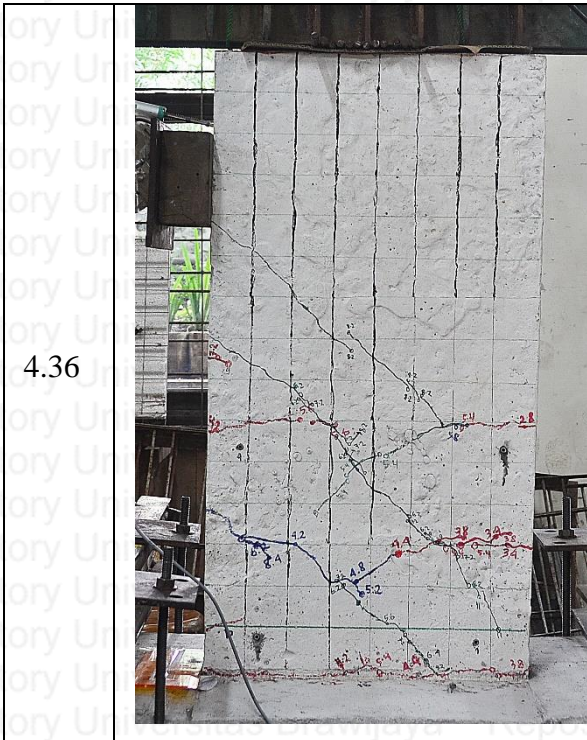








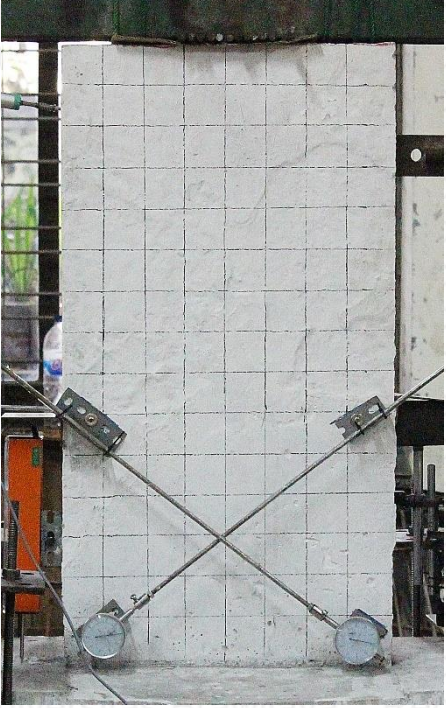
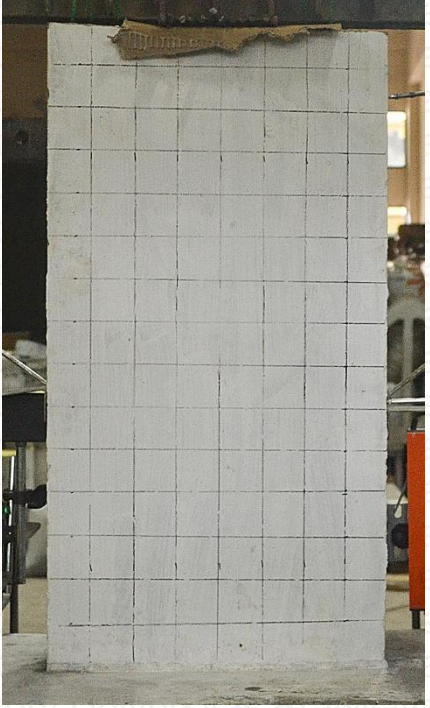
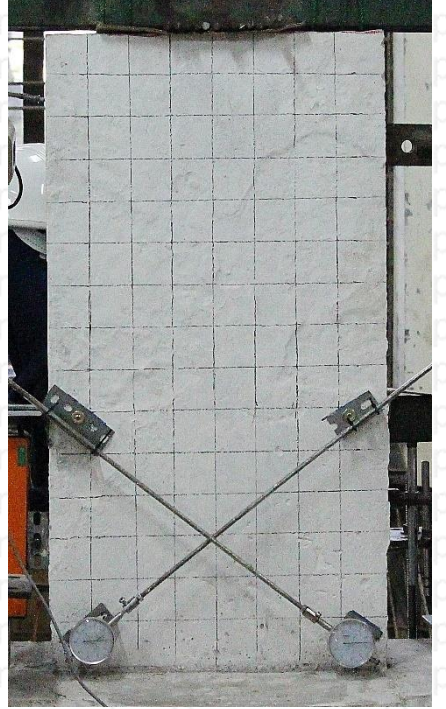
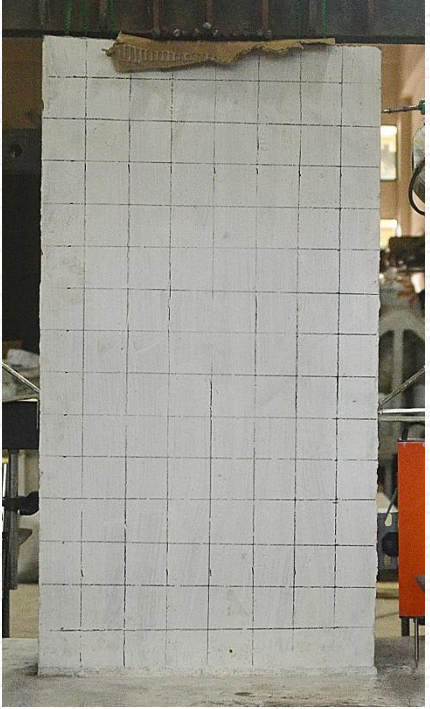








### 3.2 Visualisasi Pengujian Beban Lateral Siklik Benda Uji SD-300-1,5

Drift (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
0.25		
0.5		





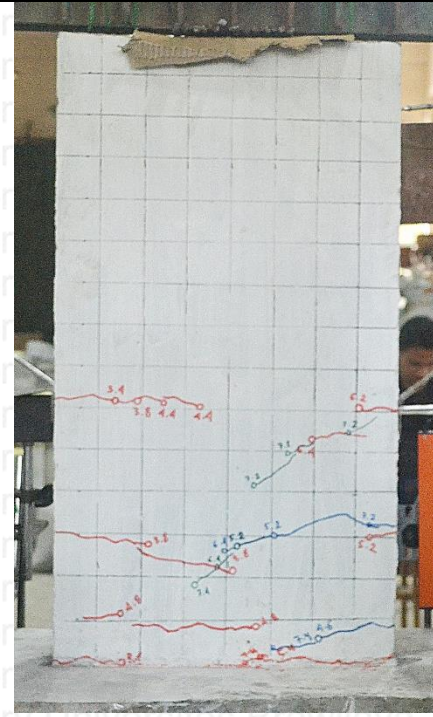








2.5



3

