



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

SKRIPSI TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



NIDA RAHMAYANI
NIM. 135060101111072

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 RAPAT DI BAWAH PEMBEBANAN SIKLIK (QUASI-STATIS)

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Nida Rahmayani

NIM. 135060101111072

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 26 Juli 2017

Dosen Pembimbing I

Ari Wibowo

Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Dosen Pembimbing II

Ir. Siti Nurlina

Ir. Siti Nurlina, MT
NIP. 19650423 199002 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. Indradi W, ST., 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 Rapat di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Statis).

Nama Mahasiswa : Nida Rahmayani
NIM : 135060101111072
Program Studi : Teknik Sipil

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
Dosen Penguji 2 : Ir. Siti Nurlina, MT

Tanggal Ujian : 21 Juli 2017

SK Penguji : 841/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 dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur 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

Nida Rahmayani

135060101111072



RIWAYAT HIDUP

Nida Rahmayani lahir di Cirebon, 23 Februari 1995. Merupakan anak pertama dari 4 bersaudara, dan merupakan anak dari Afiat dan Neti Yuliasih. Menempuh pendidikan sekolah dasar di SDIT Baitussalam Bogor selama 6 tahun dari tahun 2001 s.d. 2007. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SMPN 4 Bogor selama 3 tahun dari tahun 2007 s.d. 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 3 Bogor selama 3 tahun dari tahun 2010 s.d. 2013. Selama pendidikan SD berminat dalam bidang bela diri taekwondo dan selama SMA menjadi anggota pecinta alam.

Selepas masa sekolah menengah atas, kemudian melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya, lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2017. Selama menjalani kehidupan perkuliahan, ikut berpartisipasi sebagai asisten Tugas Besar Analisis Struktur I, sedangkan untuk kegiatan organisasi aktif pada Himpunan Mahasiswa Sipil selama tiga periode yaitu 2014/2015, 2015/2016, dan 2016/2017 di bawah Departemen Amara. Selain itu, penulis juga turut serta sebagai panitia dalam beberapa acara di Jurusan Teknik Sipil.

Malang, Juli 2017

Penulis

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat, rahmat dan karunia-Nya 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 Rapat di bawah Pembebanan Siklik (Quasi – Statis)”**. Shalawat dan salam tidak lupa penulis tujukan kepada junjungan umat Islam, Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi pencerah bagi umat manusia. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi strata satu di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa pada penulisan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Ibu Ir. Siti Nurlina, MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng. serta bapak Ananda Insan Firdausy, ST., MT., M.Sc yang telah membantu dalam pengujian *hammer test* pada penelitian ini.
5. Staff Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Universitas Brawijaya yang telah membantu selama penelitian dilakukan.
6. Keluarga terutama kedua orangtua dan adik-adik yang telah mendoakan, serta memberikan berbagai macam dukungan hingga saat ini.
7. Ayu Febrianti, Vivi, Ayu Saputri, Louce sebagai rekan tim yang telah bekerjasama dan berjuang bersama dalam penyusunan penelitian tugas akhir ini.
8. Mas Yehuda, mas Jackson, mas Aldi, mas Andrew, mas Jogi, mas Jonathan selaku tim skripsi sebelumnya yang sudah banyak membantu.



9. Teknik Sipil angkatan 2013 terutama Ayu, Ichsan, Ryan, Mala, Kartini, Eki, Aceng, dan Tirta yang telah berjuang bersama dari awal hingga saat ini.
10. Indira, terlepas dari umurnya yang lebih muda tetapi bisa menjadi teman yang dewasa. Terimakasih sudah menjadi adik cerewet yang meramaikan hari – hari selama masa perkuliahan.
11. Salwa yang telah menjadi rekan satu tim dan berjuang bersama dalam kompetisi desain *breakwater* dedikasi 2016. Terimakasih atas pengalaman yang tidak bisa terlupakan.
12. Lely yang telah menjadi sahabat yang baik sekaligus penyemangat. Terimakasih atas segala bentuk dukungan yang telah diberikan.
13. Dinda, Citra, Desak atas segala bentuk dukungannya dari jauh sana.
14. Radja, Erick, Bondan, Iqbal, Fachreza, Emilio, Dewa, Christo, Candra, Iwan, Ridho, Akbar, Surya atas bantuannya sehingga penelitian ini bisa berjalan dengan baik.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil dan AMERA yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan.

Semoga tugas akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi semua pihak di masa sekarang maupun masa yang akan datang. Untuk kesempurnaan tugas akhir ini, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan.

Malang, Juli 2017

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xii
BAB I PENDAHULUAN	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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dinding Geser	5
2.1.1 Pengertian Dinding Geser	5
2.1.2 Jenis Dinding Geser	5
2.1.3 Dinding Pendek (Squat Wall)	8
2.1.4 Parameter Dinding Geser	9
2.2 Beban Siklik	13
2.3 Perpindahan (Displacement)	14
2.3.1 Perpindahan Lentur	14
2.3.2 Perpindahan Penetrasi Leleh	16
2.3.3 Perpindahan Geser	17
2.4 Daktilitas	17
2.5 Kekakuan	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
3.2 Alat dan Bahan	25



3.3 Tahapan Penelitian.....	27
3.4 Rancangan Penelitian.....	28
3.4.1 Campuran Beton	28
3.4.2 Jumlah Benda Uji.....	28
3.5 Prosedur Penelitian	31
3.5.1 Persiapan	31
3.5.2 Setting Up	31
3.5.3 Beban Rencana.....	32
3.5.4 Pelaksanaan Pengujian Siklik	32
3.6 Variabel Penelitian.....	33
3.7 Data Pengamatan	33
3.8 Analisa Hasil.....	34
3.9 Hipotesa Penelitian	36
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Uji Digital Hamer Test	37
4.2 Hasil Pengujian Beban Siklik	38
4.2.1 Kekuatan Lateral Dinding Geser	39
4.2.2 Analisa Perpindahan Saat Leleh	41
4.2.3 Analisa Perpindahan Saat $\Delta_{ultimit}$	44
4.2.4 Analisa Daktilitas Perpindahan	47
4.2.5 Analisa Kekakuan.....	53
4.2.5.1 Metode <i>Secant Stiffness</i>	53
4.2.5.2 Metode <i>Tangential Stiffness</i>	56
BAB V PENUTUP.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1. 1	Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung dengan Sendi Plastis Terbentuk pada Ujung-Ujung Balok, Kaki Kolom Serta Kaki Dinding Geser	2
Gambar 2. 1	Jenis <i>Shearwall</i> berdasarkan Geometrinya	7
Gambar 2. 2	Jenis <i>Shearwall</i> berdasarkan Letak dan Fungsinya.....	7
Gambar 2. 3	(a) <i>Diagonal Tension</i> ; (b) <i>Diagonal Tension dengan sudut 45°</i>	8
Gambar 2. 4	(a) Keruntuhan Tekan dengan Pembebanan 1 arah; (b) Keruntuhan Tekan dengan Pembebanan Siklik.....	9
Gambar 2. 5	<i>Sliding Shear</i>	9
Gambar 2. 6	Histeresis Loop	13
Gambar 2. 7	Perpindahan Lentur	14
Gambar 2. 8	Mekanisme <i>Yield Displacement</i>	16
Gambar 2. 9	Alternatif Pengambilan Lendutan pada titik leleh	17
Gambar 2. 10	Perpindahan Geser	17
Gambar 2. 11	Daktilitas Kurvatur.....	19
Gambar 2. 12	Daktilitas Perpindahan pada Kantilever.....	20
Gambar 2. 13	Macam-Macam Nilai Perpindahan Leleh dan Perpindahan Ultimate Akibat Daktilitas Perpindahan	21
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3. 2	(a) Benda uji SW-50; (b) Benda Uji SD-150.....	29
Gambar 3. 3	(a) Benda uji SW-50; (b) Benda Uji SD-150.....	30
Gambar 3. 4	Skema Pengujian Siklik (Quai-Static).....	32
Gambar 3. 5	Siklus Pembebanan Lateral berdasarkan <i>Drift</i>	33
Gambar 3. 6	Hubungan Beban (P) dengan Deformasi (Δ)	35
Gambar 4.1	(a) Hammer Test Bagian Atas; (b) Hammer Test Bagian Bawah	38
Gambar 4.2	Perbandingan beban lateral maksimum pada tiap benda uji	40
Gambar 4.3	Metode untuk Menentukan Perpindahan saat Leleh.....	41
Gambar 4.4	Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SD – 150 – 1.5	42
Gambar 4.5	Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SW – 50 – 1.5	42



Gambar 4.6 Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SD – 150 - 2	43
Gambar 4.7 Perpindahan saat $\Delta_{ultimit}$ SW – 50 – 1.5.....	45
Gambar 4.8 Perpindahan saat $\Delta_{ultimit}$ SD – 150 – 1.5.....	45
Gambar 4.9 Daktilitas Perpindahan SD – 150 - 2.....	46
Gambar 4.10 Daktilitas Perpindahan SW – 50 - 1.5.....	48
Gambar 4.11 Daktilitas Perpindahan SD – 150 - 1.5.....	48
Gambar 4.12 Daktilitas Perpindahan SD – 150 - 2.....	49
Gambar 4.13 Daktilitas Perpindahan SD – 50 – 1.5 Metode Momen - Kurvatur.....	50
Gambar 4.14 Daktilitas Perpindahan SD – 150 – 1.5 Metode Momen - Kurvatur.....	51
Gambar 4.15 Grafik Kekakuan dengan Metode Secant Stiffness SW – 50 – 1.5.....	54
Gambar 4.16 Grafik Kekakuan dengan Metode Secant Stiffness SD – 150 – 1.5.....	54
Gambar 4.17 Grafik Kekakuan dengan Metode Secant Stiffness SD – 150 – 2	55
Gambar 4.18 Grafik Kekakuan dengan Metode Tangential Stiffness SW – 150 – 1.5...	56
Gambar 4.19 Grafik Kekakuan dengan Metode Tangential Stiffness SD – 150 – 1.5...	57



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
	Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Dinding Geser.....	27
	Tabel 3.2 Form Data Hasil Pengujian Beban Dengan Perpindahan	35
	Tabel 3.3 Form Data Hasil Pengamatan Pola Retak.....	36
	Tabel 4.1 Hasil Pengujian Digital Hammer Test.....	37
	Tabel 4.2 Perbandingan beban lateral maksimum.....	40
	Tabel 4.3 Rekapitulasi Perpindahan Maksimum.....	46
	Tabel 4.4 Rekapitulasi Perpindahan <i>Ultimate</i>	46
	Tabel 4.5 Daktilitas Perpindahan Setiap Benda Uji.....	49
	Tabel 4.6 Daktilitas Perpindahan Metode Momen – Kurvatur.....	51
	Tabel 4.7 Kekakuan Secan Setiap Benda Uji.....	55
	Tabel 4.8 Kekakuan Tangen Setiap Benda Uji.....	57



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Desain Awal Dinding Geser	L-1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Dinding Geser	L-25
Lampiran 3	Data Pengujian Beban Siklik.....	L-27
Lampiran 4	Hasil Analisa Daktilitas dan Kekakuan.....	L-37
Lampiran 5	Dokumentasi Pengujian.....	L-53

RINGKASAN

NIDA RAHMAYANI, 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 Rapat di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Statik), Dosen Pembimbing: Ari Wibowo dan Siti Nurlina.

Dinding geser adalah dinding yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa bumi serta gaya aksial dari struktur. Oleh karena letak Indonesia yang terdapat pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, maka dari itu Indonesia terkenal dengan intensitas gempa tektonik dan vulkanik yang aktif. Salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi pada dinding geser adalah aspek rasio (H_w/L_w). Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari aspek rasio pada dinding geser terhadap daktilitas dan kekakuan.

Pada penelitian ini dinding geser diuji dengan pembebanan siklik sampai mencapai drift tertentu yang telah ditentukan. Pengujian ini menggunakan *displacement control* yang dibagi ke dalam dua siklus kenaikan *drift*, yaitu kenaikan *drift* 0,25% saat *drift* 0% sampai dengan 1% kemudian kenaikan *drift* 0,5% saat *drift* 1% sampai kapasitas *load cell* tidak mencukupi beban lateral. Beban aksial yang digunakan pada penelitian ini sebesar 3000 kg.

Beban lateral yang dapat ditahan oleh dinding geser SW – 50 – 1.5 adalah sebesar 8500 kg dengan daktilitas perpindahan sebesar 1.2213, kekakuan secan sebesar 384.497 kg/mm dan kekakuan tangen sebesar 737.2073 kg/mm. Pada dinding geser SD – 150 – 1.5 dapat menahan beban lateral sebesar 8330 kg dengan daktilitas perpindahan sebesar 1.0497, kekakuan secan sebesar 291.476 kg/mm dan kekakuan tangen sebesar 366.153 kg/mm. Sedangkan pada dinding geser SD – 150 – 2 beban lateral yang dapat ditahan adalah sebesar 7080 kg dengan nilai daktilitas perpindahan sebesar 2.9333 dan kekakuan secan sebesar 351.6809 kg/mm.

Kata Kunci: Dinding Geser, drift, daktilitas, kekakuan

SUMMARY

NIDA RAHMAYANI, 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 Closely Spaced Horizontal Reinforcement Subjected to Cyclic Loading (Quasi-Static)*, Academic Supervisor: Ari Wibowo and Siti Nurlina

Shear wall is a wall designed to withstand lateral forces due to earthquake and axial forces of the structure. Because Indonesia is located in the meeting of the three large tectonic plates of Indo – Australian, Eurasian, and Pacific, therefore Indonesia is known for the high intensity of tectonic and volcanic earthquake. One of the parameters affecting the strength-deformation of the shear wall is the aspect ratio (H_w/L_w). Therefore, it was a research on the effect of aspect ratio on shear wall to ductility and stiffness.

In this study, shear wall is tested with cyclic loading until it reaches a specific drift. This test uses displacement control which is divided into two cycles of drift increment i.e. increment drift of 0.25% when drift 0% to 1% and increment drift of 0.5% when drift 1% until load cell is not sufficient the lateral load. The axial load used in this study is 3000 kg.

The lateral load which can be held by SW – 50 – 1.5 is 8500 kg with the ductility of 1.2213, the secant stiffness of 384.497 kg/mm and the tangential stiffness of 737.2073 kg/mm. SD – 150 – 1.5 can held the lateral load of 8330 kg with the ductility of 1.049, the secant stiffness of 291.476 kg/mm and the tangential stiffness of 366.153 kg/mm. While SD – 150 – 2 can held the lateral load of 7080 kg with the ductility of 2.9333 and the stiffness of 351.6809 kg/mm.

Keywords: Shear wall, drift, aspect ratio, ductility, stiffness.



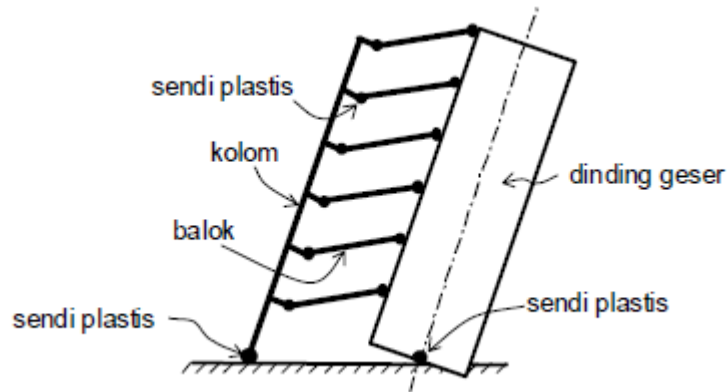
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara di Asia Tenggara yang dilintasi garis khatulistiwa dan terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Maka dari itu Indonesia terkenal dengan intensitas gempa tektonik dan vulkanik yang aktif.

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat adanya pergeseran lempengan, pergerakan magma, patahan, maupun reruntuhan. Keadaan ini mempengaruhi keadaan struktur di Indonesia sehingga menuntut adanya adaptasi dari struktur bangunan di Indonesia. Di Indonesia bangunan tahan gempa telah diatur dalam SNI 1726-2012. Dalam SNI 1726-2012 sudah jelas diatur tentang kolom, pondasi serta dinding geser.

Prinsip perancangan kapasitas beban gempa merupakan konsep “kolom kuat balok lemah” (*strong column-weak beam*), dimana kolom dirancang lebih kuat daripada baloknya untuk menjamin kolom tetap elastis dan ujung balok menjadi plastis bila mengalami gempa. artinya ketika struktur gedung memikul pengaruh gempa rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung tersebut hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki kolom dan atau pada kaki dinding geser saja. Sendi plastis pada struktur dipicu oleh daktilitas yang dialami oleh struktur. Daktilitas adalah salah satu faktor dalam perencanaan kapasitas beban gempa. Struktur yang direncanakan tahan gempa berarti struktur tidak akan langsung runtuh pada saat gempa terjadi melainkan struktur akan runtuh secara bertahap sebelum akhirnya struktur tersebut runtuh total.



Gambar 1.1 Mekanisme keruntuhan ideal suatu struktur gedung dengan sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok, kaki kolom serta kaki dinding geser

Sumber: SNI Gempa 03-1726-2002

Dinding geser adalah dinding yang dirancang untuk menahan gaya lateral akibat gempa bumi serta gaya aksial dari struktur. Dinding geser yang efektif merupakan dinding geser yang bersifat kaku serta kuat. Dinding geser sudah banyak diaplikasikan saat ini, baik pada gedung bertingkat maupun rumah. Dinding geser sangat penting karena selain berfungsi untuk mencegah kegagalan dinding eksterior, dinding geser juga mendukung beberapa lantai gedung serta memastikan bahwa struktur tidak runtuh akibat gempa bumi.

Salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi pada dinding geser adalah aspek rasio (H_w/L_w). Perbedaan aspek rasio dari dinding geser akan membuat perbedaan perilaku pada dinding geser tersebut yang bisa dilihat dari mekanisme kegagalan dan mekanisme retak. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari aspek rasio pada dinding geser terhadap daktilitas dan kekakuan.

1.2 Identifikasi Masalah

Dinding geser sudah banyak digunakan pada bangunan bertingkat maupun rumah tinggal di Indonesia. Namun semakin kaku dinding geser yang direncanakan, maka jumlah dan diameter tulangan semakin banyak sehingga mempengaruhi biaya pembuatan struktur dinding geser.



Penelitian mengenai dinding geser telah dilakukan sebelumnya oleh Ari Wibowo ST., MT., Ph.D dengan judul “*Seismic Performance Of Lightly Reinforced Walls Of Design Purposes*” yang dilanjutkan oleh Yehuda, dkk tentang variasi jumlah dan diameter tulangan.

Dalam penelitian ini, dilanjutkan dari penelitian mengenai dinding geser tersebut, namun lebih ditekankan pada aspek rasio terhadap kekakuan dan daktilitasnya dengan pembebanan siklik (quasi-statis). Aspek rasio yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,5 yang nantinya akan dibandingkan dengan dinding geser dengan aspek rasio 2.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh aspek rasio pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak rapat terhadap daktilitas dan kekakuan?
2. Bagaimana pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser beraspek rasio sama?

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan luar diabaikan.
2. Benda uji berupa dinding geser tinggi (H_w) 600 mm, tinggi pondasi 350 mm dan tinggi keseluruhan 750 mm, lebar dinding geser (L_w) 400 mm, tebal dinding geser (t_w) 80 mm dengan rasio badan (a) sebesar 1,5 rasio pembebanan (n) sebesar 5%, rasio tulangan vertikal (ρ_v) sebesar 2,44%, rasio tulangan horizontal (ρ_h) sebesar 0.813% dan 1.62%.
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 I.



6. Pengujian dilakukan pada 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).
8. Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
9. Digunakan beban maksimum dan perpindahan maksimum karena adanya keterbatasan alat sehingga beban ultimit dan perpindahan ultimit tidak bisa tercapai.
10. Karena keterbatasan benda uji maka tidak ada uji statistik.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh aspek rasio pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak rapat terhadap daktilitas dan kekakuan.
2. Mengetahui pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser beraspect rasio sama.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran mengenai perilaku yang akan terjadi pada dinding geser dengan pembebanan siklik dan pembebanan aksial.
2. Memberikan gambaran tentang daktilitas dan kekakuan dari dinding geser akibat pengaruh dari aspek rasio dan dengan adanya pengaruh jarak tulangan horizontal.
3. Dapat digunakan sebagai referensi oleh penulis, pembaca, dan pengusaha maupun pengembang sebagai pertimbangan untuk pembangunan gedung dan rumah dengan dinding geser.
4. Dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa yang akan meneliti lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Geser

2.1.1 Pengertian Dinding Geser

Berdasarkan SNI 03-1726-2002, dinding geser merupakan komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral.

Berdasarkan SNI 2847-2013, dinding struktural (structural wall) adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser merupakan dinding struktur. 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), dinding yang memenuhi persyaratan pasal 22.
2. Dinding structural beton bertulang biasa (ordinary reinforced concrete structural wall), dinding yang memenuhi persyaratan pasal 1 sampai 18.
3. Dinding structural pracetak menengah (Intermediate precast structural wall), dinding yang memenuhi persyaratan Pasal 1 sampai 18 yang sesuai sebagai tambahan pasal 21.4.
4. Dinding structural khusus (Special structural wall), dinding cor di tempat atau pracetak yang memenuhi persyaratan 21.1.3 sampai 21.1.7, 21.9, dan 21.10, sebagaimana sesuai, sebagaimana tambahan pada persyaratan untuk dinding struktur beton bertulang biasa.

2.1.2 Jenis Dinding Geser

Berdasarkan SNI-03-1726-2002, dinding geser dibagi menjadi:

1. Dinding geser beton bertulang kantilever
Suatu subsistem struktur gedung yang fungsi utamanya adalah untuk memikul beban geser akibat pengaruh Gempa Rencana,

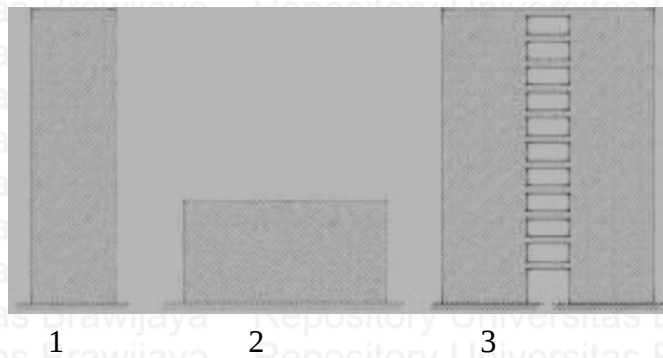
yang runtuhnya disebabkan oleh momen lentur (bukan oleh gaya geser) dengan terjadinya sendi plastis pada kakinya, di mana nilai momen lelehnya dapat mengalami peningkatan terbatas akibat pengerasan regangan. Rasio antara tinggi dan lebar dinding geser tidak boleh kurang dari 2 dan lebar tersebut tidak boleh kurang dari 1,5 m.

2. Dinding geser beton bertulang berangkai

Suatu subsistem 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. Rasio antara bentang dan tinggi balok perangkai tidak boleh lebih dari 4.

Dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu:

1. *Flexural Wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/t_w \geq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku lentur.
2. *Squat Wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/t_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser.
3. *Coupled Wall* (dinding berangkai), dimana 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.

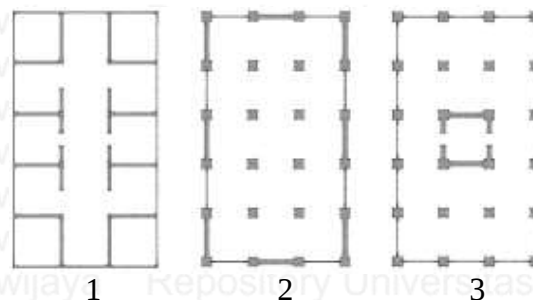


Gambar 2.1 Jenis *Shearwall* berdasarkan Geometrinya

Sumber: Majore,dkk. 2015

Dinding geser berdasarkan letak dan fungsinya dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. Bearing walls adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi . Tembok-tebok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. Frame walls adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tebok ini dibangun diantara baris kolom.
3. Core walls adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak di kawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.



Gambar 2.2 Jenis *Shearwall* berdasarkan Letak dan Fungsinya

Sumber: Majore,dkk. 2015



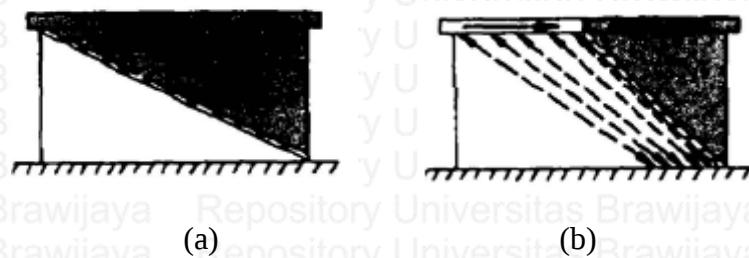
2.1.3 Dinding Pendek (*Squat Wall*)

Dinding pendek (*squat wall*) merupakan dinding geser yang memiliki rasio $h_w/t_w \leq 2$, dimana desain dikontrol oleh perilaku geser. Dinding pendek umumnya hanya menerima beban gravitasi yang sangat kecil.

Tipe-tipe kegagalan pada *squat wall* adalah sebagai berikut:

1. *Diagonal Tension*

Merupakan retak sudut ke sudut yang terjadi pada *diagonal tension failure* dimana kondisi ini merupakan kondisi paling kritis akan tetapi kemungkinan terjadi kecil. Retak yang akan terjadi dengan kemungkinan besar apabila retak terbentuk pada sudut yang lebih curam terhadap horizontal seperti sudut 45° .

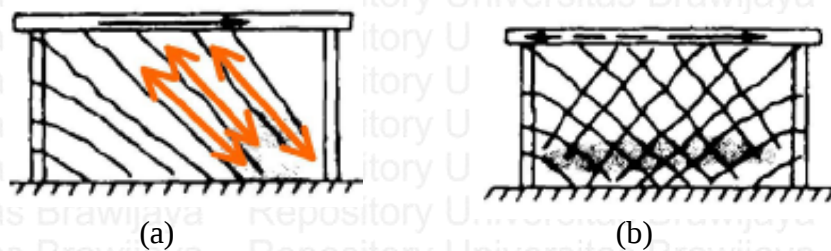


Gambar 2.3 (a) *Diagonal Tension*; (b) *Diagonal Tension* dengan sudut 45°

Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

2. *Diagonal Compression*

Saat tegangan geser yang terjadi pada dinding sangat besar dan tulangan horizontal yang didesain untuk menahan tarik arah vertikal mengalami kegagalan, beton dapat mengalami keruntuhan tekan pada bidang diagonalnya





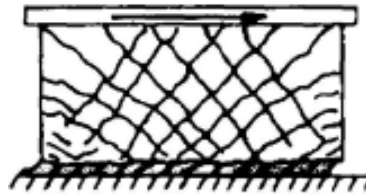
Gambar 2.4 (a) Keruntuhan tekan dengan pembebanan 1 arah; (b)

Keruntuhan tekan dengan pembebanan siklik

Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

3. *Sliding Shear*

Dalam pembebanan siklik bolak balik, retak geser dapat terjadi dimana *flexural cracks* terjadi terbuka dan tertutup dan tulangan vertikal leleh bergantian saat tarik dan tekan terjadi.



Gambar 2.5 *Sliding Shear*

Sumber: Paulay dan Priestley, 1992

2.1.4 Parameter Dinding Geser

Parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi dari dinding geser secara umum terdiri dari:

1. Rasio Beban Aksial (n)

Rasio beban aksial (n) merupakan perbandingan dari beban aksial (P) terhadap kapasitas beban aksial ($A_g f'_c$)

$$n = \frac{P}{A_g f'_c} \quad \dots(2-1)$$

Kapasitas keruntuhan daktilitas umumnya berkurang akibat beban tekan aksial karena adanya peningkatan kedalaman daerah tekan pada struktur. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan keruntuhan leleh dan penurunan keruntuhan ultimit. Dalam beberapa penelitian terdahulu besarnya beban aksial dapat mengurangi kekuatan dan daktilitas kolom, namun dapat meningkatkan kekuatan geser pada dinding geser. Beban aksial

dapat membuat dinding geser lebih kaku yang menghasilkan retak dan peningkatan efek *shear friction* sehingga meningkatkan kekuatan geser dari dinding geser tersebut.

2. Aspek Rasio (α)

Suatu perbandingan antara panjang dinding geser dengan tinggi penampang dinding geser (L) disebut dengan aspek rasio (α).

$$\alpha = \frac{L}{D} \quad \dots(2-2)$$

Dimana:

D = Tinggi Penampang Dinding Geser

L = Panjang Dinding Geser

Aspek rasio dapat dijadikan sebagai indikator kegagalan kolom beton bertulang akibat beban lateral. Peningkatan nilai aspek rasio dapat meningkatkan daktilitas.

3. Rasio Tulangan Horizontal

Tulangan horizontal disebut juga sebagai tulangan geser, karena fungsi utama dari tulangan ini adalah untuk menahan geser. Rasio tulangan horizontal merupakan perbandingan khusus yang memiliki banyak definisi. Berikut ini adalah jenis-jenis rasio tulangan horizontal yang sering digunakan pada penelitian-penelitian :

a. Rasio Volumetrik (ρ_s)

Rasio volumetrik adalah rasio antara volume tulangan-tulangan horizontal dengan volume inti beton yang diukur hingga di bagian luar tulangan horizontal. Peneliti yang menggunakan rasio volumetric adalah Park and Paulay (1975)

$$\rho_s = \frac{A_v(2b_s + 2h_s)}{b_h h_h s} \quad \dots(2-3)$$



Dimana:

A_v = luas penampang tulangan transversal

S = jarak antar pusat tulangan sengkang

b_s dan h_s = dimensi terhadap garis tengah sengkang

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

b. Rasio Luas (ρ_h)

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

$$\rho_h = \frac{A_{v, \text{horiz}}}{bw \times s_2} \dots\dots(2-4)$$

dengan minimal penampang tulangan horizontal yang diperlukan adalah:

$$A_{v \text{ min}} = \frac{0,35 b_v s}{f_{sy}} \dots\dots\dots (2-5)$$

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 ($bw - \Sigma d_d$)

Σd_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 $\ell_w/5$, $3b_w$, dan 18 in (450 mm), sedangkan rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto adalah:

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

4. Rasio Tulangan Vertikal

Rasio tulangan vertical (longitudinal) adalah perbandingan dari total luasan tulangan longitudinal dengan luas efektif pada beton.

$$\rho_v = \frac{A_s}{b D} \quad \dots(2-6)$$

Dimana:

A_s = luas total tulangan longitudinal

b = lebar dinding geser

D = tinggi penampang dinding geser

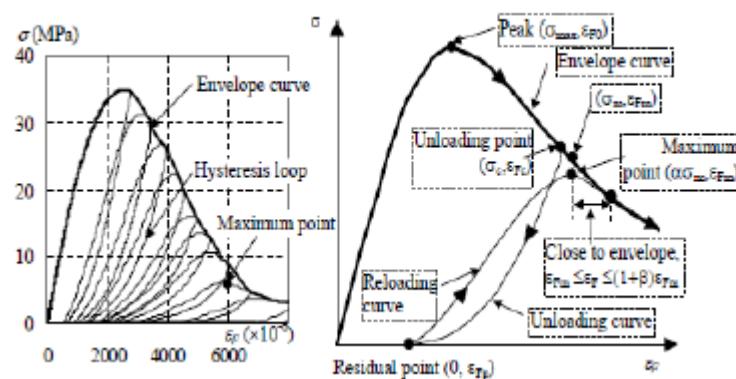
Tulangan vertikal (longitudinal) disebut juga sebagai tulangan lentur, karena fungsinya untuk menahan lentur. Maka dari itu, jumlah dan luas tulangan longitudinal pada struktur berpengaruh terhadap kekuatan struktur dalam menahan lentur.

Kegagalan dalam menahan beban lateral dalam kata lain tergantung pada kekuatan lentur suatu struktur.

2.2 Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. Dimana kekuatan *fatigue* merupakan kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan *fatigue* akibat beban siklik dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, *load history* dan sifat material (Al-Sulayfani, 2008).

Untuk memprediksi perilaku struktur beton di bawah beban seismic, model tegangan-regangan beton di bawah beban siklik (hysteresis loop) adalah hal yang penting untuk diamati.



Gambar 2.6 Histeresis Loop
Sumber: Watanabe, 2004

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa terdapat banyak titik-titik yang menghubungkan terhadap semuanya dimana membentuk sebuah *curve*. *Unloading point* adalah titik dimana *loading* dimulai, *residual point* adalah titik dimana ketika *unloading* penuh (tegangan mencapai nol), dan *maximum point* adalah persimpangan *unloading point* dengan *unloading curve* (Al-Sulayfani, 2008).

Unloading curve adalah jika nilai $\sum_F$ di wilayah puncak-puncak berkurang dengan tegangan (σ) antara unloading point ($\sigma_c, \sum_{FC}$) dan residual point ($0, \sum_{FP}$) di mana tegangan mencapai 0 kN. Setelah unloading diturunkan sampai nol dengan tepat maka tegangan dan regangan akan meningkat lagi dari residual point. Kemudian pendekatan ke maximum point ($\alpha\sigma_m, \sum_{FM}$) yang disebut reloading curve ($\sigma, \sum_{FR}$).

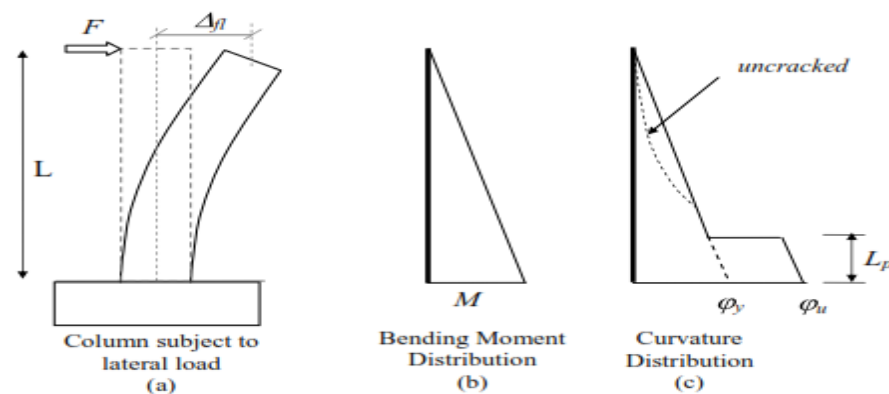
Titik akhir dari reloading curve dan titik awal unloading curve tersebut dapat disimpulkan sebagai envelope curve (Watanabe, 2004).

2.3 Perpindahan (Displacement)

Perpindahan sebagian komponen struktur dari kondisi awal akan terjadi saat komponen struktur memperoleh beban lateral. Secara umum terdapat 3 jenis perpindahan akibat beban lateral, yaitu perpindahan lentur, perpindahan penetrasi leleh, dan perpindahan geser.

2.3.1 Perpindahan Lentur

Terdapat dua tahap perpindahan yang dialami suatu struktur pada saat terjadi perpindahan lentur, diantaranya adalah perpindahan elastis dan perpindahan plastis. Perpindahan elastis terjadi jika struktur diberi beban lateral dan akan terjadi perpindahan namun struktur tersebut masih dapat kembali ke bentuk semula, sedangkan perpindahan plastis terjadi apabila struktur terus diberi beban lateral dan terjadi perpindahan hingga struktur berubah bentuk dan tidak dapat kembali ke bentuk semula. Sendi plastis akan muncul pada daerah pertemuan antara kolom dan balok pada saat terjadi perpindahan plastis.



Gambar 2.7 Perpindahan Lentur

Sumber: Wibowo, 2012

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



$$\Delta fl = \Delta fe + \Delta fp \quad \dots(2-7)$$

Dimana:

Δfl = Perpindahan lentur

Δfe = Perpindahan lentur elastis

Δfp = Perpindahan lentur plastis

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

$$\Delta fe = \frac{\phi_y L^2}{3} \quad (2-8)$$

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (2-9)$$

$$\Delta fp = (\phi_u - \phi_y) L_p \left(L - \frac{1}{2} L_p \right) \quad (2-10)$$

Keterangan:

Δfe = perpindahan elastis

ϕ_y = kurvatur pada kondisi leleh

L = tinggi dinding geser

θ_p = rotasi inelastis akibat sendi plastis pada dasar dinding geser

ϕ_u = kurvatur ultimit

Δfp = 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:

$$L_p = 0,5 H_w \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

dengan:

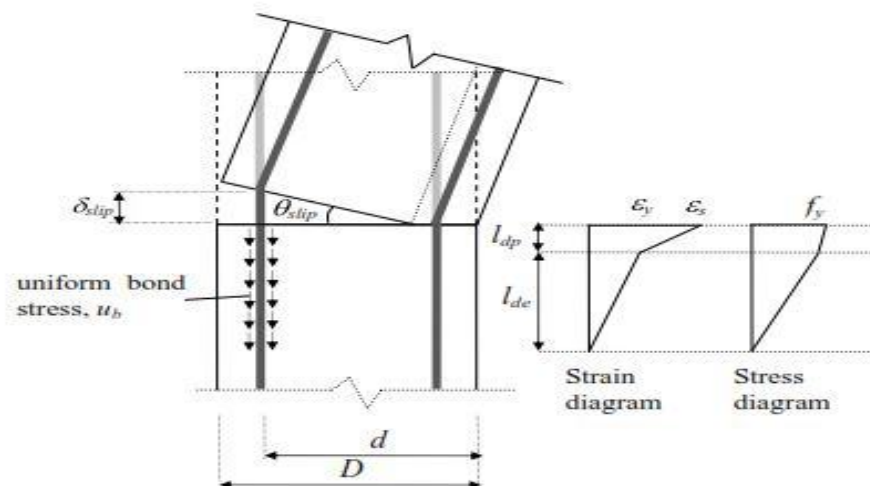
H_w = tinggi efektif dari dinding geser

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

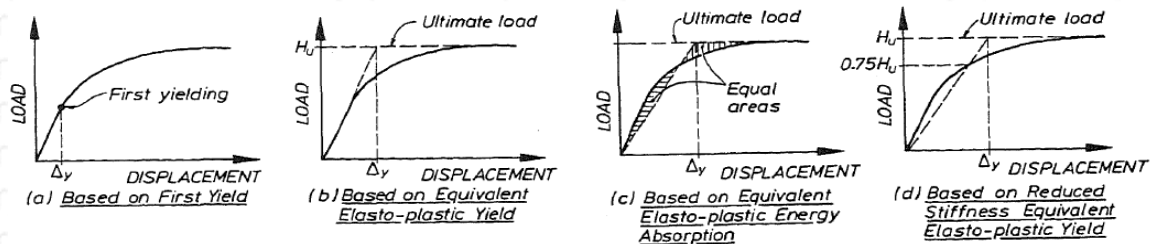
Perpindahan penetrasi leleh (*yield penetration displacement*) disebut juga sebagai *slip penetration*. Perpindahan penetrasi leleh terjadi saat adanya rotasi pada struktur yang kaku pada ujung kolom, dimana keadaan leleh dicapai saat muncul celah yang terbuka di hubungan pondasi dengan kolom dari penetrasi tegangan plastis pada regangan tulangan di pondasi. Rotasi pada struktur yang kaku dapat meningkatkan total drift dengan sangat signifikan yang dipisahkan dari deformasi lentur yang didapatkan dari distribusi kelengkungan pada tinggi kolom.



Gambar 2.8 Mekanisme *yield displacement*

Sumber: Wibowo 2012

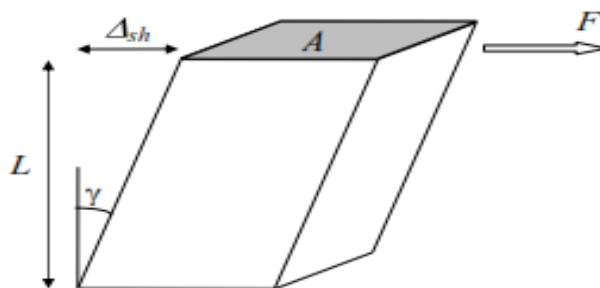
Lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate* (Park, 1988).



Gambar 2. 9 Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber: Park, 1988

2.3.3 Perpindahan Geser



Gambar 2. 10 Perpindahan geser

Sumber : Wibowo, 2012

Terdapat beberapa metode yang dapat memodelkan perpindahan geser yaitu metode ACI 318-2002, FEMA 273, Priestley (1994), dan Sezen & Moehle (2004). Ke empat metode tersebut bisa digunakan sebagai perbandingan untuk mendapatkan nilai perpindahan geser.

2.4 Daktilitas

Menurut SNI 1726-2002, daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.

Faktor daktilitas adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung.

$$1 \leq \mu = \frac{\delta m}{\delta y} \leq \mu m \quad \dots(2-12)$$

Dimana:

μ = Tegangan Maksimum

δm = Simpangan Maksimum

δy = Simpangan Leleh

Daktilitas dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Daktail penuh

Suatu tingkat daktilitas struktur 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 sebesar 5,3.

2. Daktail parsial

Seluruh tingkat daktilitas struktur gedung dengan nilai faktor daktilitas di antara untuk struktur gedung yang elastic penuh sebesar 1,0 dan untuk struktur gedung yang daktail penuh sebesar 5,3.

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

1. Daktilitas Aksial

Kemampuan pemilihan material untuk mendukung tekanan plastis tanpa tegangan reduksi yang signifikan. Daktilitas aksial dapat diberikan dengan hubungan:

$$\mu \epsilon = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \quad \dots(2-13)$$

Dimana:

ϵ = Regangan maksimum yang terjadi

ϵ_y = Regangan leleh baja

$\mu\epsilon$ = Besarnya daktilitas aksial

Gaya aksial yang diberikan tidak boleh melampaui kapasitas tekanan maksimum yang dapat ditahan (ϵ_m). Daktilitas aksial

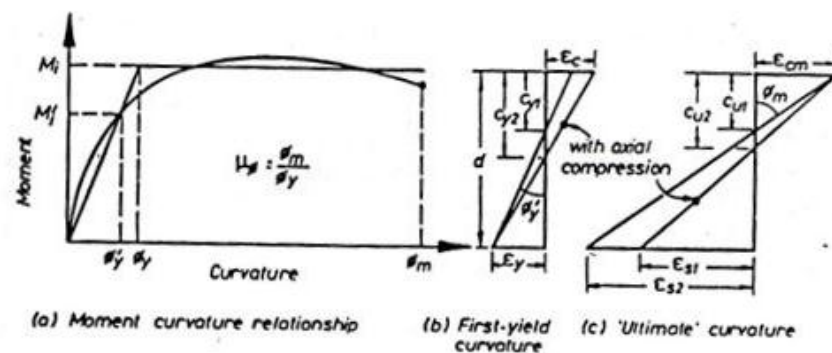
$$\mu\epsilon = \epsilon/\epsilon_y \geq 20.$$

2. Daktilitas Kurvatur

Elemen yang daktail adalah elemen yang mampu mempertahankan sebagian besar momen kapasitasnya pada saat mencapai $\mu\phi$ yang sudah direncanakan. Daktilitas kurvatur dapat ditunjukkan sebagai berikut:

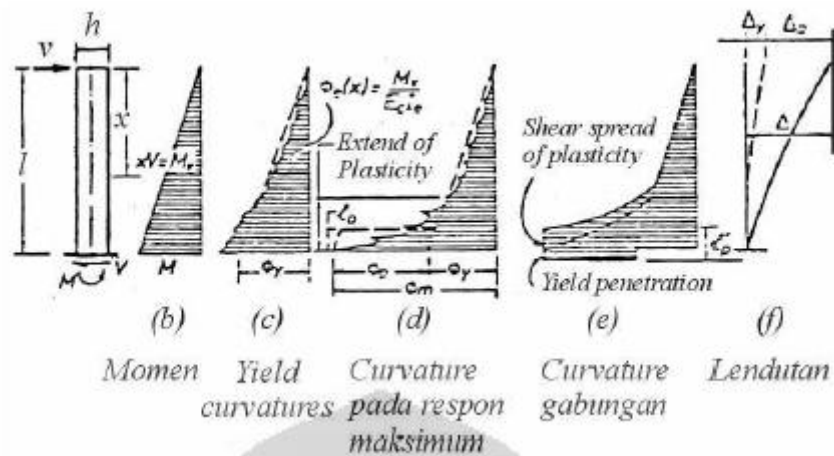
$$\mu\phi = \frac{\phi_m}{\phi_y} \quad \dots(2-14)$$

Dimana ϕ_m adalah lengkungan maksimum yang akan timbul, dan ϕ_y adalah lengkungan pada saat leleh.



Gambar 2.11 Daktilitas Kurvatur
Sumber: Paulay dan Priestley, 1994

3. Daktilitas Perpindahan



Gambar 2.12 Daktilitas perpindahan pada kantilever

Sumber: Shedid, 2006

Daktilitas perpindahan biasanya digunakan pada evaluasi struktur yang diberi gaya gempa. Daktilitas didefinisikan oleh rasio dari total perpindahan yang terjadi Δ dengan perpindahan pada awal titik leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta}{\Delta_y} \text{ dimana } \Delta = \Delta_y + \Delta_p \quad \dots(2-15)$$

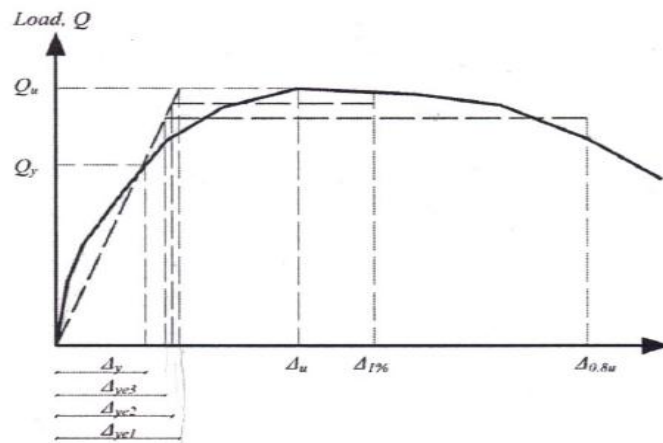
Dimana:

Δ = Perpindahan total yang terjadi

Δ_y = Perpindahan leleh

Δ_p = Defleksi ujung akibat gaya lateral total

μ_{Δ} = Besarnya daktilitas perpindahan



Gambar 2.13 Macam-macam nilai perpindahan leleh dan perpindahan ultimate akibat daktilitas perpindahan
Sumber: Shedid, 2006

2.5 Kekakuan

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

$$k = \frac{P}{x} \quad \dots(2-16)$$

Dimana:

k = Kekakuan struktur (kg/m)

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

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

Rumus Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots(2-17)$$

Dimana:

σ = Tegangan

P = Beban yang terjadi

A = Luas penampang

Rumus Regangan (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad \dots(2-18)$$

Dimana:

ϵ = Regangan

δ = Perpendekan

L = Panjang efektif

Hubungan Tegangan dan Regangan

$$\sigma = E \cdot \epsilon \text{ (Hukum Hooke)} \quad \dots(2-19)$$

Dimana:

σ = Tegangan

E = Modulus elastisitas

ϵ = Regangan

Maka,

$$\sigma = E \cdot \frac{\delta}{L} \quad \dots(2-20)$$

$$\frac{P}{A} = E \cdot \frac{\delta}{L} \quad \dots(2-21)$$

$$\frac{P}{\delta} = \frac{E \cdot A}{L} \quad \dots(2-22)$$

P/δ adalah parameter kekakuan aksial. Jadi rumus kekakuan tersebut dapat dinyatakan dalam:

$$k = \frac{E \cdot A}{L} \quad \dots(2-23)$$



Dimana:

k = Kekakuan

E = Modulus elastisitas

A = Luas penampang

L = Panjang efektif





BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian “Pengaruh Aspek Rasio (H_w/L_w) terhadap Daktilitas dan Kekakuan pada Dinding Geser dengan Tulangan Horizontal Berjarak Rapat di Bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Static)” ini termasuk dalam penelitian eksperimental lanjutan yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji dinding geser mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang pada bulan September 2016 sampai dengan bulan November 2016. Pengujian benda uji dengan pembebanan siklik (quasi-static) dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang pada bulan Maret 2017 sampai dengan bulan April 2017.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Peralatan

a. Alat Pemotong Beton

Digunakan untuk memotong benda uji dinding geser sesuai dengan aspek rasio yang dibutuhkan yaitu 1,5.

b. *Loading Frame*

Digunakan untuk menopang benda uji dinding geser dan beban saat uji siklik dilakukan serta merupakan frame konstruksi baja WF dengan kapasitas beban 7 ton.

c. *Hydraulic Jack*

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

d. *Load cell*

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

e. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*

Digunakan untuk mengukur displacement pada dinding geser. LVDT yang digunakan sebanyak 5 buah.

f. *Dial Gauge*

Digunakan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi pada dinding geser. Dial gauge yang digunakan sebanyak 4 buah.

g. *Hammer Test*

Digunakan untuk melakukan uji kuat tekan beton.

h. *Alat Tulis dan Mistar*

Digunakan untuk membuat kotak-kotak dengan ukuran 5 cm x 5 cm pada permukaan dinding geser untuk menandai retak yang terjadi, sehingga dapat terlihat pola retaknya.

i. *Handycam dan Kamera*

Digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan selama penelitian.

2. *Bahan*

Bahan yang digunakan dalam penelitian lanjutan ini adalah 2 buah benda uji dinding geser yang memiliki aspek rasio 1,5 dengan rincian sebagai berikut:

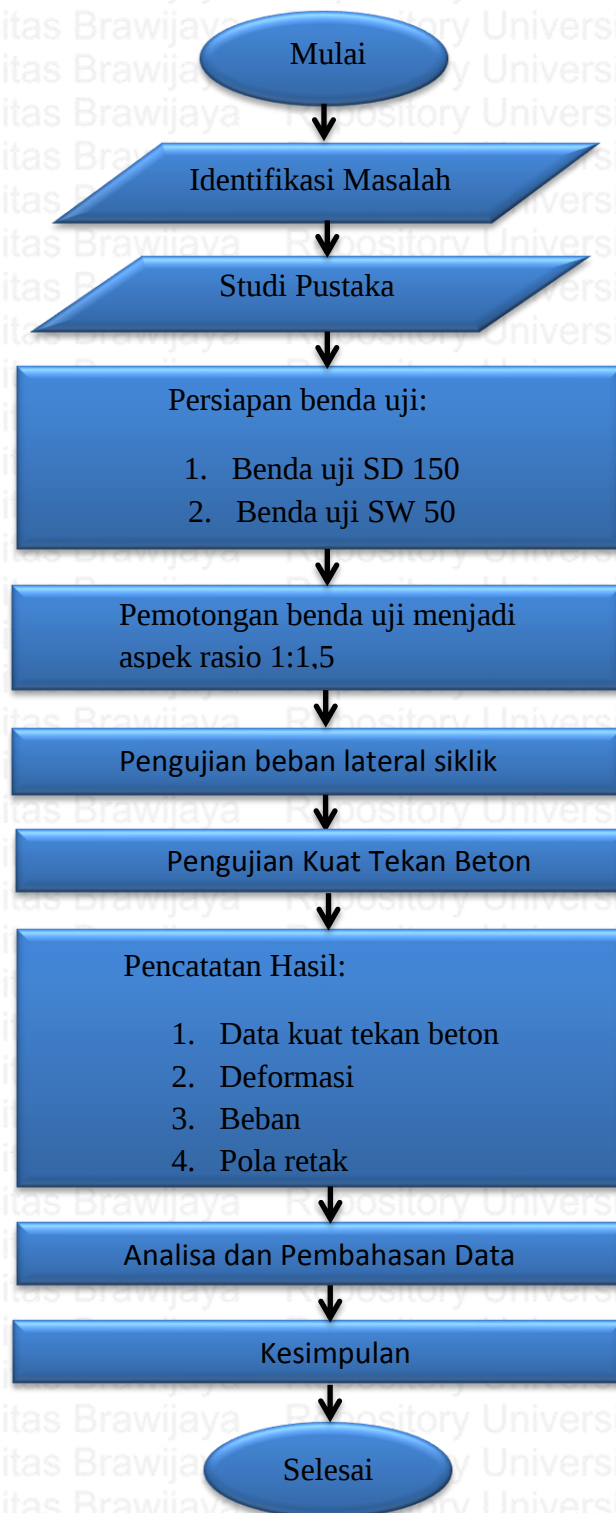
a. *SW - 50 – 1,5*

Dinding geser beraspek rasio 1,5 dengan tulangan vertikal berjarak 50 mm dan tulangan horizontal berjarak 150 mm (tanpa variasi).

b. *SD – 150 – 1,5*

Dinding geser beraspek rasio 1,5 dengan tulangan horizontal ganda berjarak 150 mm (berjarak rapat).

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber: Data Pengujian

3.4 Rancangan Penelitian

3.4.1 Campuran Beton

Beton didesain dengan kuat tekan beton silinder rata-rata f'_c sebesar 20 MPa yang akan diuji menggunakan *hammer test*.

3.4.2 Jumlah Benda Uji

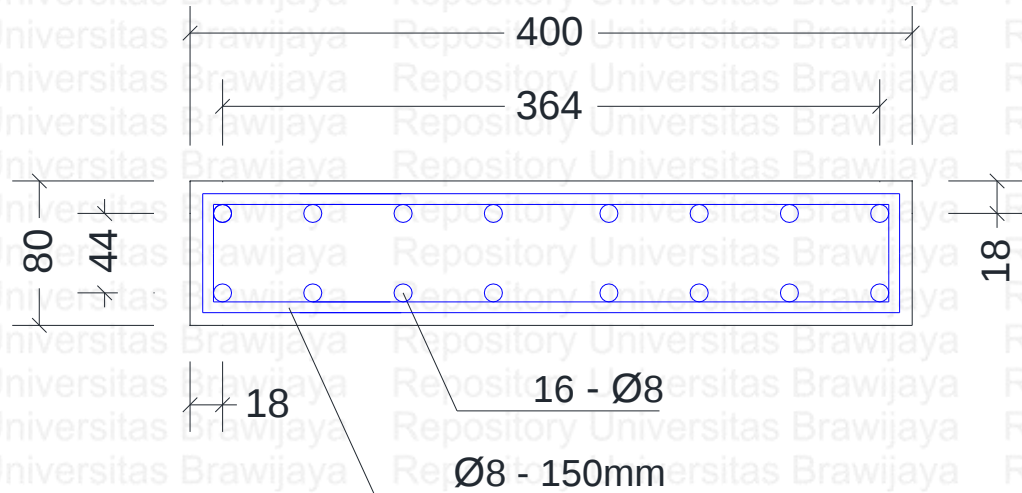
Jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2 (dua) buah yang terdiri dari:

1. Dinding geser dengan dimensi 80 mm x 400 mm, dan 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, dan tinggi 600 mm. memakai tulangan tulangan vertikal 16-Ø8 dengan variasi tulangan horizontal 2 Ø8-150.

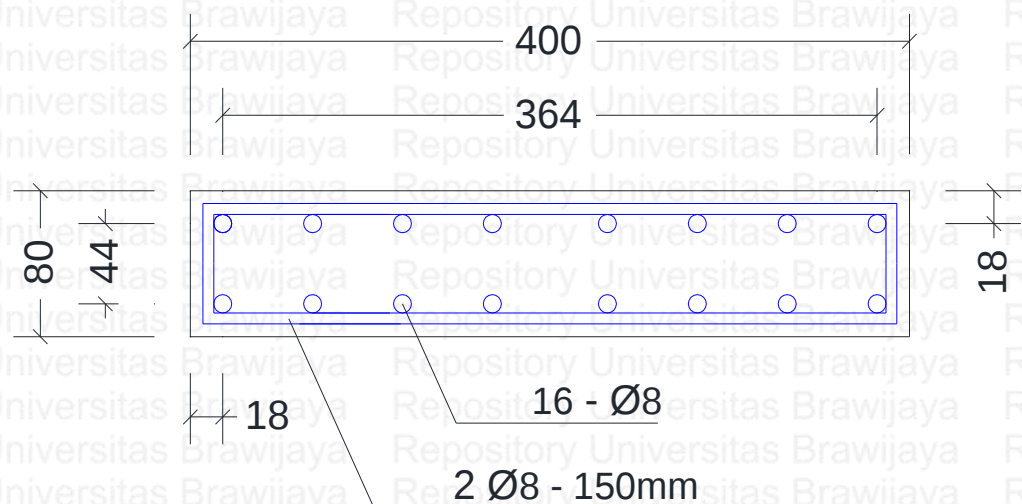
Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Dinding Geser

Nama	Dimensi	Tinggi	Aspek	ρ_v	ρ_h	Tulangan	Tulangan	n	F' _c
Dinding Geser	Dinding Geser (mm)	Dinding Geser (mm)	Rasio	(%)	(%)	Horizontal	Vertikal	(%)	(Mpa)
SW-50	80 x 400	600	1,5	2,44	0,813	Ø8-150	16-Ø8	5	20
SD-150	80 x 400	600	1,5	2,44	1,62	2 Ø8-150	16-Ø8	5	20

Sumber: Data Pengujian



(a)



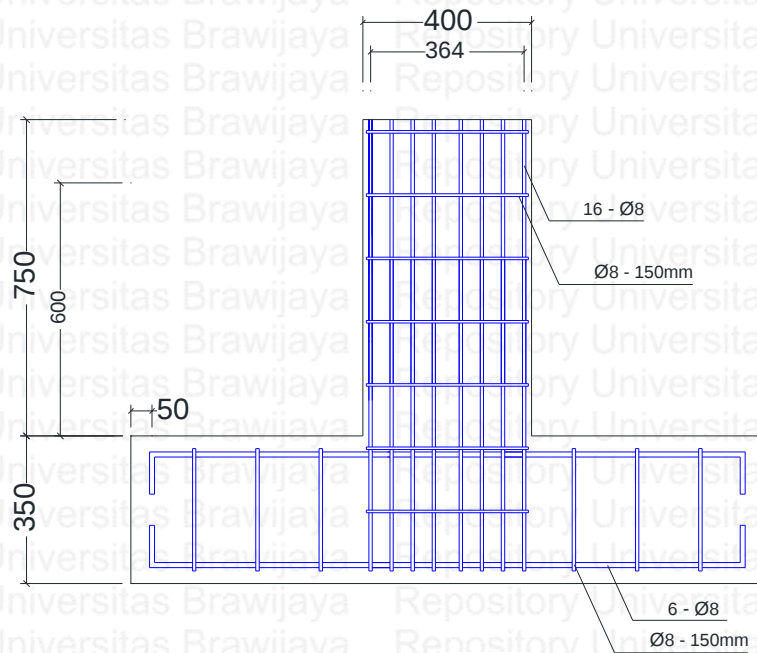
(b)

Gambar 3.2 (a) Benda Uji SW - 50 - 1,5 ; (b) Benda Uji SD - 150 - 1,5

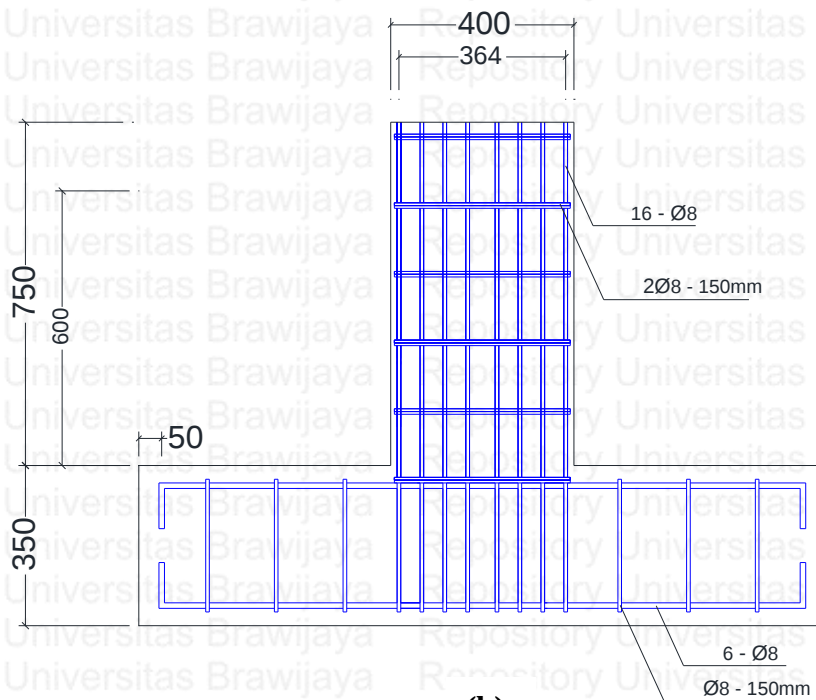
Sumber: Data Pengujian



30



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Benda Uji SW – 50 – 1,5 ; (b) Benda Uji SD – 150 – 1,5

Sumber: Data Pengujian

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi mempersiapkan benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini serta pengecekan terhadap benda uji dinding geser tersebut. Selain itu juga dilakukan pemotongan terhadap benda uji dinding geser dikarenakan dinding geser yang digunakan dalam penelitian ini adalah dinding geser dengan aspek rasio 1,5.

3.5.2 Setting Up

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

Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah 3 buah *load cell*, 3 buah *hydraulic jack*, 4 buah LVDT, dan 2 buah *dial gauge*. Load cell digunakan sebanyak 3 buah, dimana 2 buah diletakkan pada bagian kanan dan kiri kepala dinding geser yang berfungsi sebagai pembaca beban lateral atau beban siklik, sedangkan 1 buah diletakkan di atas kepala dinding geser yang berfungsi sebagai pembaca beban aksial.

Displacement beton diperoleh dari 4 buah LVDT dan 2 buah dial gauge, yang digunakan untuk menghitung:

- a. Perpindahan lateral total (LVDT 1 dan 2)
- b. Perpindahan lentur (LVDT 3 dan 4)
- c. Perpindahan geser (LVDT 5 dan 6)



Gambar 3.4 Skema Pengujian Siklik (quasi-statis)

Sumber: Data Pengujian

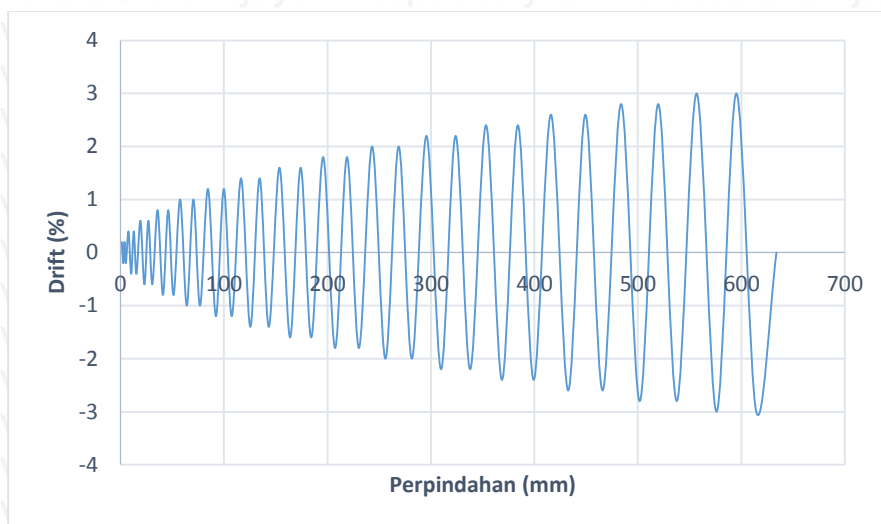
3.5.3 Beban Rencana

Beban aksial yang digunakan adalah 5% dari beban aksial tekan sentris (P_{n0}). Namun pada penelitian digunakan beban aksial 3000 kg. Sedangkan beban lateral maksimum yang digunakan didapat dari nilai M_u/h . Dimana h adalah tinggi dinding geser yaitu 60 cm.

3.5.4 Pelaksanaan Pengujian Siklik

Pengujian spesimen dilakukan setelah benda uji dinding geser berumur di atas 28 hari. 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 digunakan sesuai dengan siklus lateral drift tanpa melebihi beban maksimum yang diijinkan, yaitu M_u/h .



Gambar 3.5 Siklus Pembebanan Lateral berdasarkan Drift

Sumber: Data Pengujian

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas (*independent variable*), adalah variabel yang berubahannya bebas ditentukan peneliti. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah aspek rasio dari dinding geser dan jarak tulangan horizontal.
2. Variabel terikat (*dependent variable*), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daktilitas dan kekakuan.

3.7 Data Pengamatan

Pada penelitian ini dilakukan pembacaan data beban *displacement* pada saat pengujian. Sedangkan data kuat tarik baja dan data kuat tekan silinder beton digunakan data dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini juga melakukan pengamatan perambatan retak, baik retak awal, lokasi ukuran, dan juga *spalling* yang terjadi.

1. Data Kuat Tekan Beton

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

2. Data *Lateral Load-Displacement*

Dilakukan pengamatan dan pembacaan beban lateral dan perpindahan pada saat pengujian benda uji dinding geser. Data beban diperoleh dari *load cell*, sedangkan data perpindahan diperoleh dari LVDT.

3. Data Pengamatan Retak

Data ini diperoleh dari pencatatan beban retak awal, lokasi, dan ukuran retak. Data pola retak digambarkan dengan cara membagi permukaan dinding geser menjadi grid dengan ukuran kotak 50 mm x 50 mm.

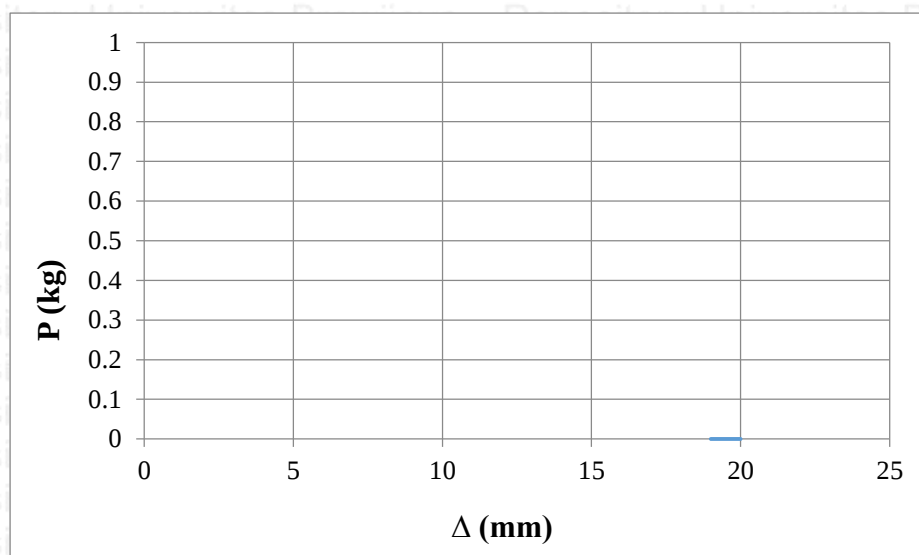
3.8 Analisis Hasil

Untuk mendapatkan kuat tekan beton, diperoleh dengan pembacaan angka pada saat melakukan *Hammer Test*. Pencatatan beban lateral dan perpindahan dinding geser saat pengujian diperlukan untuk dibuatkan grafik hubungan beban-perpindahan yang digunakan untuk analisis daktilitas dan kekakuan. Untuk pola retak diamati pola retak, letak retak, serta lebar dan panjang retak, sehingga diketahui keruntuhan yang mendominasi kegagalan dinding geser.

Tabel 3. 2 Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi

Drift (%)	Δ_{tot} mm	P kg	Δ_2 mm	Δ_3 mm	Δ_4 mm	Δ_5 mm	Δ_6 mm	Δ_7 mm	Δ_8 mm	Δ_9 mm
0	0									
0.25	1.5									
-0.25	1.5									
0.25	1.5									
-0.25	1.5									
0.50	3									
-0.50	3									
0.50	3									
-0.50	3									
0.75	4.5									
-0.75	4.5									
0.75	4.5									
-0.75	4.5									
1	6									
-1	6									
1	6									
-1	6									
.	.									
.	.									
.	.									

Sumber: Data pengujian

Gambar 3. 6 Hubungan Beban (P) dengan Deformasi (Δ)

Sumber : Data pengujian

Tabel 3. 3 Form Data Hasil Pengamatan Pola Retak

Drift %	Δ_{tot} mm	P kg	Retak yang Terjadi
0,25%	1,5		
-0,25%	1,5		
0,25%	1,5		
-0,25%	1,5		
0,5%	3		
-0,5%	3		
0,5%	3		
-0,5%	3		
0,75%	4,5		
-0,75%	4,5		
0,75%	4,5		
-0,75%	4,5		
1%	6		
1%	6		
1%	6		
1%	6		
.	.		
.	.		
.	.		

Sumber : Data pengujian

3.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesa penelitian pengaruh uji beban siklik terhadap daktilitas dan kekakuan pada dinding geser beton dengan variasi jarak dan diameter dengan rasio tulangan $\rho_v = 2,44\%$, $\rho_h = 0,813\%$ dan $1,62\%$ adalah:

1. Semakin rendah aspek rasio dari dinding geser maka semakin rendah juga daktilitas dinding geser tersebut, namun kekakuan dinding geser akan lebih besar.
2. Daktilitas pada dinding geser SD – 150 – 1.5 (tulangan horizontal ganda) lebih tinggi dibanding dengan daktilitas pada dinding geser SW – 50 – 1.5 (tulangan horizontal tunggal), namun kekakuan cenderung sama.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji *Digital Hammer Test*

Hammer test adalah pengujian atau pengetesan menggunakan alat *Schmidt Rebound Hammer* untuk mengetahui mutu pada beton saat sudah mengering. Metode pengujian ini adalah dengan memberikan pantulan massa di ujung alat pada permukaan beton yang rata dengan ketebalan minimum 15 cm. Pada penelitian ini digunakan digital hammer test untuk mengecek mutu dari benda uji dikarenakan menggunakan benda uji dinding geser yang sudah jadi. Dilakukan 10 kali penembakan pada permukaan benda uji dinding geser yang rata dengan arah vertikal ke bawah dan arah horizontal ke samping.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Digital Hammer Test*

Benda Uji	SD – 150 – 1,5	SW – 50 – 1,5
Atas	21,5 Mpa	29 Mpa
Samping	22,5 MPa	25 Mpa
Fc'	22 Mpa	27 Mpa

Sumber: Data pengujian dan perhitungan

Dari tabel 4.1 didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata untuk benda uji SD – 150 – 1,5 sebesar 22 Mpa dan kuat tekan rata-rata benda uji SW – 50 – 1,5 sebesar 27 Mpa.



(a)



(b)

Gambar 4.1 (a) Hammer Test Bagian Atas; (b) Hammer Test Bagian Samping

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Untuk analisa selanjutnya maka digunakan kuat tekan rata-rata dari hasil pengujian *digital hammer test*.

4.2 Hasil Pengujian Beban Siklik

Pengujian benda uji dinding geser pada penelitian ini menggunakan pembebanan aksial dan lateral siklik yang dilaksanakan pada saat umur beton mencapai lebih dari 28 hari. Dari pengujian ini didapatkan data hasil berupa besar beban lateral yang terjadi pada saat nilai perpindahan total yang sudah ditentukan.

Pengujian ini menggunakan *displacement control* yang dibagi ke dalam dua siklus kenaikan *drift*, yaitu kenaikan *drift* 0,25% saat *drift* 0% sampai dengan 1% kemudian kenaikan *drift* 0,5% saat *drift* 1% sampai kapasitas *load cell* tidak mencukupi beban lateral. Dimana pada setiap siklus dilakukan sekali pengulangan sehingga didapatkan dua data untuk perpindahan yang sama.

Dikarenakan keterbatasan kemampuan *load cell* dan juga jumlah *load cell* yang minim, maka untuk pembebanan di atas 5 ton digunakan pembebanan siklik satu arah.

Dilakukan sekali pengulangan beban tiap satu siklusnya sehingga terdapat dua data untuk perpindahan yang sama. Dikarenakan keterbatasan kemampuan *load cell* maka untuk analisa hubungan beban dan perpindahan pada kurva negatif hanya mencatat hasil pembebanan lateral di bawah 5 ton, sedangkan pada kurva positif masih bisa dilanjutkan.

4.2.1 Kekuatan Lateral Dinding Geser

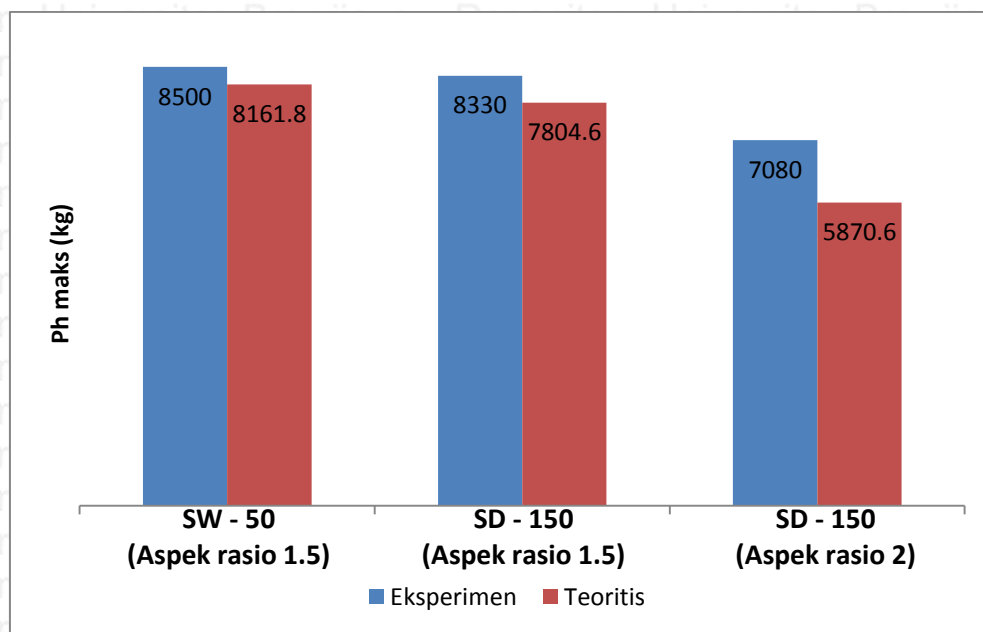
Beban lateral maksimum merupakan hal yang penting untuk dapat mengetahui kapasitas daktilitas dan kekakuan dari benda uji dinding geser. Nilai lateral digunakan untuk menentukan daktilitas disaat leleh maupun daktilitas di saat beban maksimum serta untuk menentukan kekakuan struktur. Oleh karena itu perlu adanya kontrol terhadap beban lateral maksimum pada saat pengujian. Kekuatan dinding geser secara teoritis dihitung dengan menggunakan analisa yang sama seperti analisa kolom, yaitu dengan analisa kolom 2 sisi menggunakan diagram interaksi serta asumsi bahwa dinding geser dengan tumpuan jepit bebas. Perhitungan dinding geser teoritis menggunakan data hasil pengujian kuat tekan beton dan pengujian tulangan yang merupakan nilai f'_c dan f_y aktual. Nilai beban lateral maksimum saat eksperimen dan teoritis pada SD – 150 – 2 didapatkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sembiring (2017). Perbandingan antara nilai beban lateral maksimum saat eksperimen dan beban lateral teoritis adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Perbandingan beban lateral maksimum

Dinding Geser	Ph maks (kg)		Selisih (%)
	Eksperimen	Teoritis	
SW – 50 – 1.5	8500	8161.8	3.978
SD – 150 – 1.5	8330	7804.6	6.307
SD – 150 - 2	7080	5870.6	17.08

Sumber: Hasil pengujian dan perhitungan

Dari tabel 4.2 bisa dilihat terdapat selisih antara beban lateral eksperimen dan teoritis. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh kondisi baja pengekan untuk menahan benda uji dinding geser yang tidak kencang sehingga benda uji dinding geser tidak terjepit secara sempurna di bagian pondasi serta beban aksial yang tidak selalu stabil pada saat pengujian sehingga kemungkinan benda uji dinding geser tidak selalu dalam kondisi akurat. Hasil pengujian ini digunakan pada perhitungan daktilitas dan kekakuan benda uji berikutnya yang dapat menyebabkan nilai daktilitas dan kekakuan struktur meningkat drastis.



Gambar 4.2 Perbandingan beban lateral maksimum pada tiap benda uji

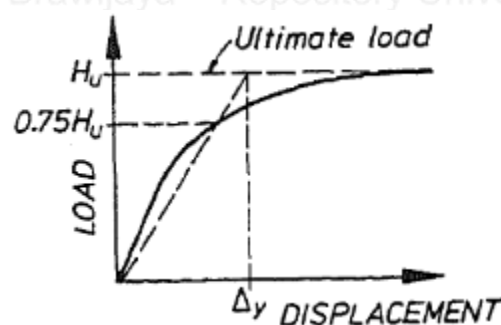
Sumber: Hasil pengujian dan perhitungan



Bisa dilihat pada gambar 4.2 bahwa pada benda uji SW – 50 – 1.5 dapat menahan beban lateral hingga 8500 kg, benda uji SD – 150 – 1.5 dapat menahan 8330 kg, dan pada benda uji SD – 150 – 2 dapat menahan 7080 kg. Terdapat perbedaan yang tidak terlalu jauh antara nilai beban lateral maksimum teoritis dan eksperimen. Bisa disimpulkan bahwa pada benda uji dengan aspek rasio 1.5 dapat menerima beban lateral lebih besar dibanding dengan benda uji dengan aspek rasio 2.

4.2.2 Analisa Perpindahan Saat Leleh

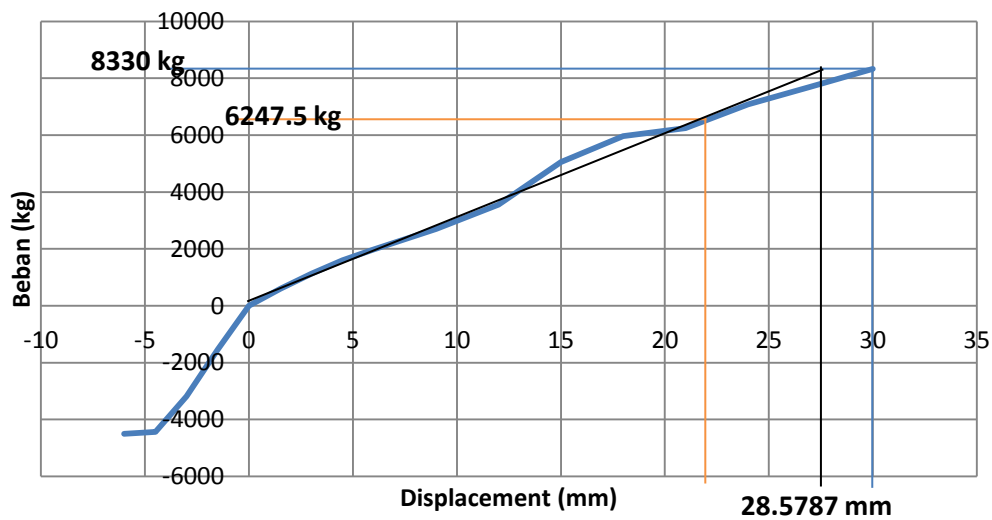
Untuk mempermudah analisis perpindahan saat leleh dalam suatu studi eksperimental digunakan suatu metode yang mampu membaca perpindahan saat leleh pada *equivalent elasto-plastic* sistem dengan pengurangan kekakuan yang dapat ditemukan pada kekakuan secan, yaitu pada saat 75% dari beban lateral maksimum. Metode ini dinilai paling realistis untuk dapat menentukan perpindahan saat leleh pada beton bertulang.



Gambar 4.3 Metode untuk Menentukan Perpindahan saat Leleh

Sumber: Paulay, 1988

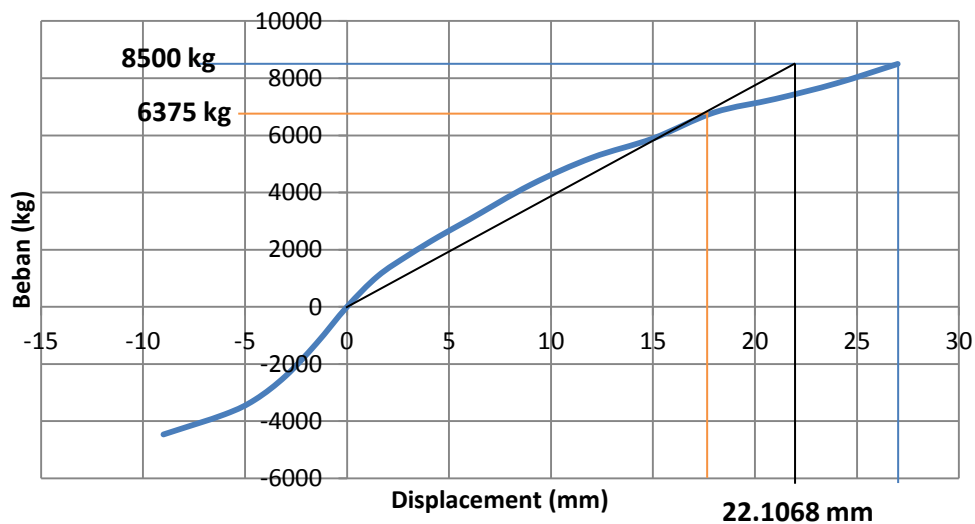
Envelope Beban - Displacement SD - 150



Gambar 4.4 Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SD – 150 – 1.5

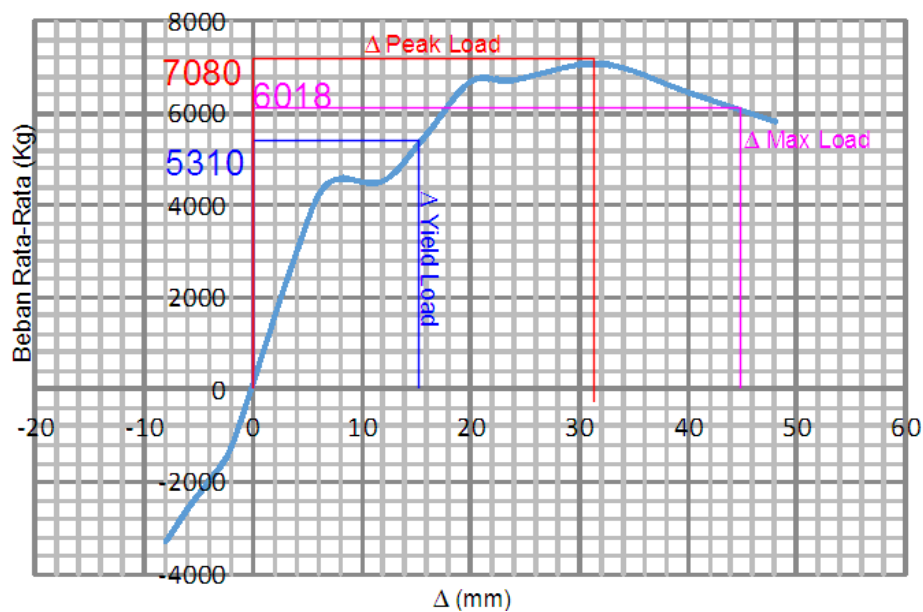
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Envelope Beban -Displacement SW - 50



Gambar 4.5 Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SW – 50 – 1.5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.6 Perpindahan saat Leleh pada Benda Uji SD – 150 - 2

Sumber: Sembiring, 2017

Dari gambar 4.4 dinding geser SD – 150 - 1.5 memiliki kenaikan kurva elastis yang cukup berbeda pada awal penarikan antara siklus positif dan siklus negatif. Pada kurva negatif memiliki kenaikan beban lateral yang cukup besar pada drift awal yaitu pada drift 0.25% sebesar 1500 kg, sedangkan untuk kurva positif untuk drift 0.25% hanya dibutuhkan beban lateral sebesar 596 kg. Pada drift 0.5% juga menunjukkan perbedaan beban lateral yang cukup besar antara siklus positif dan siklus negatif. Pada siklus positif hanya dibutuhkan beban lateral sebesar 1128 kg, sedangkan pada siklus negatif dibutuhkan beban lateral sebesar 3187 kg. Hal ini bisa disebabkan baja pengekan yang mulai leleh karena digunakan secara terus menerus walaupun sudah diperkuat beberapa kali ataupun beban aksial yang tidak stabil. Karena keterbatasan alat maka pada siklus negatif berakhir pada drift 1%, namun pada siklus positif masih bisa dilanjutkan sampai dengan drift 5%.

Dari gambar 4.5 Pada dinding geser SW – 50 - 1.5 terlihat perbedaan kenaikan kurva pada kenaikan awal antara siklus positif dan negatif yang tidak terlalu jauh seperti halnya yang terjadi pada dinding geser SD – 150 - 1.5.

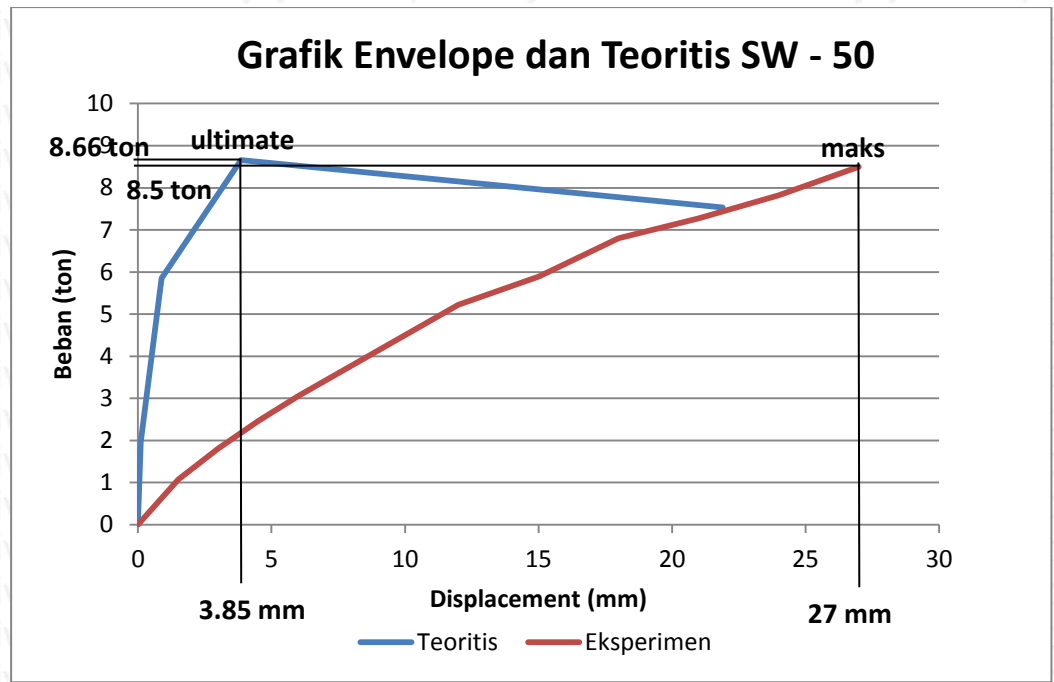
Untuk drift 0.25% pada siklus positif membutuhkan beban lateral sebesar 1096 kg, sedangkan pada siklus negatif dibutuhkan beban lateral sebesar 1321 kg. Hal serupa juga terjadi pada drift berikutnya dimana perbedaan beban lateral antara siklus positif dan siklus negatif tidak terlalu besar. Pada dinding geser SW – 50 - 1.5 siklus negatif berakhir pada drift 1.5%, sedangkan siklus positif masih bisa dilanjutkan sampai dengan drift 4.5%.

Dari gambar 4.6 Terlihat pada dinding geser SD – 150 - 2 memiliki kenaikan kurva elastis yang hampir sama antara siklus positif dan siklus negatif. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 6%. Pada *drift* 5% ini, benda uji telah mengalami penurunan beban. Beban lateral maksimum terjadi sebesar -7080 kg pada *drift* -4%. Sama halnya dengan benda uji lainnya, karena keterbatasan alat yang ada maka siklus positif hanya sampai dengan drift 1%, sedangkan siklus positif berakhir pada drift 6%.

Pada dinding geser SD – 150 - 1.5 memiliki perpindahan saat leleh sebesar 28.5787 mm, dinding geser SW – 50 - 1.5 memiliki perpindahan saat leleh sebesar 22.1068 mm, dan pada dinding geser SD – 150 - 2 memiliki perpindahan saat leleh sebesar 15.14755 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar kapasitas beban lateral yang dapat ditahan dinding geser akan meningkatkan panjang perpindahan leleh.

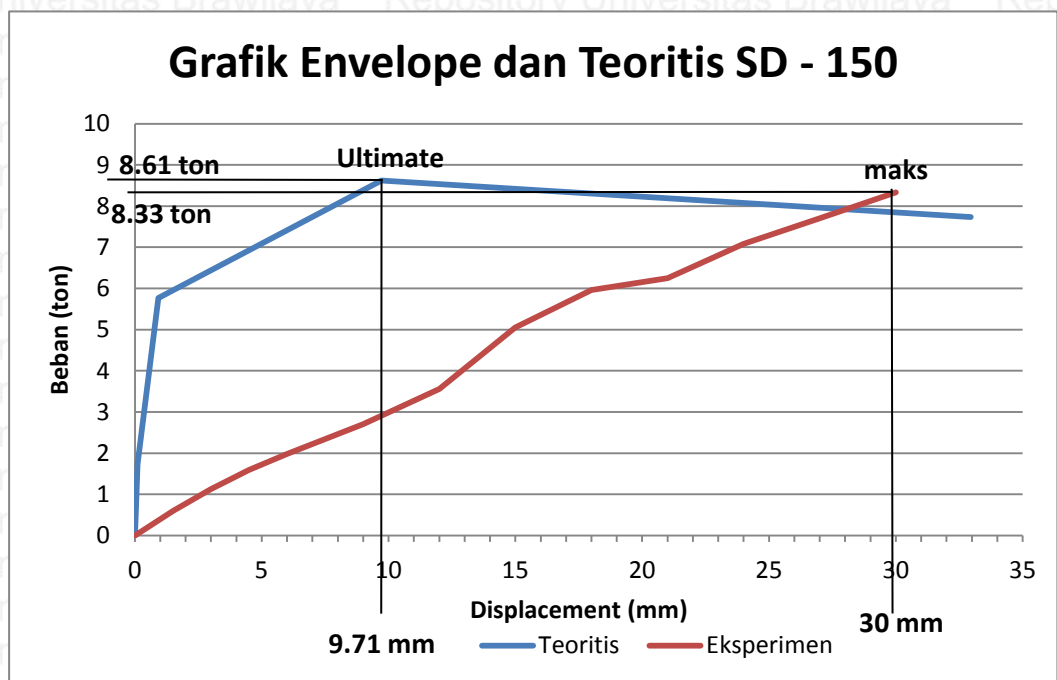
4.2.3 Analisa Perpindahan Saat $\Delta_{ultimit}$

Perpindahan ultimit didapatkan dengan dua cara, yaitu perpindahan pada saat beban puncak dan pada saat beban mengalami penurunan sebesar 20% dari beban lateral maksimum, yaitu perpindahan ketika terjadi keruntuhan lateral. Namun pada penelitian ini belum bisa diketahui perpindahan saat ultimit karena keterbatasan alat yang ada, sehingga yang digunakan adalah nilai dari Δ_{maks} yang terjadi. Untuk mengetahui nilai perpindahan saat $\Delta_{ultimit}$ bisa digunakan perhitungan teoritis dengan metode momen - kurvatur.



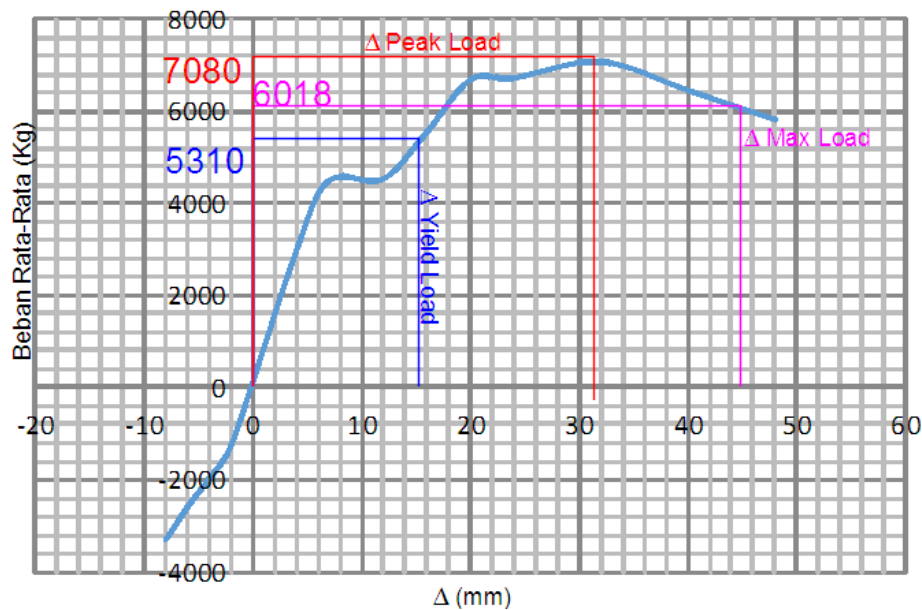
Gambar 4.7 Perpindahan saat $\Delta_{ultimit}$ dan Δ_{maks} SW - 50 - 1.5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.8 Perpindahan saat $\Delta_{ultimit}$ dan Δ_{maks} SD - 150 - 1.5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Gambar 4.9 Perpindahan saat Δ_{maks} SD – 150 - 2

Sumber: Sembiring, 2017

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perpindahan Maksimum

Dinding Geser	Ph maksimum (kg)	Δ_{maks} (mm)
SW – 50 - 1.5	8500	27
SD – 150 - 1.5	8330	30
SD – 150 - 2	6018	44.4317

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.4 Rekapitulasi Perpindahan *Ultimate*

Dinding Geser	Ph maksimum (kg)	Δ_u (mm)
SW – 50 - 1.5	8661.24	3.85
SD – 150 - 1.5	8618.07	9.71

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.3 dapat dilihat nilai perpindahan maksimum dari dinding geser SD – 150 - 2 adalah yang terbesar dibandingkan dengan dinding geser lainnya yaitu sebesar 44.4317. Sedangkan dinding geser SW – 50 – 1.5 dan SD

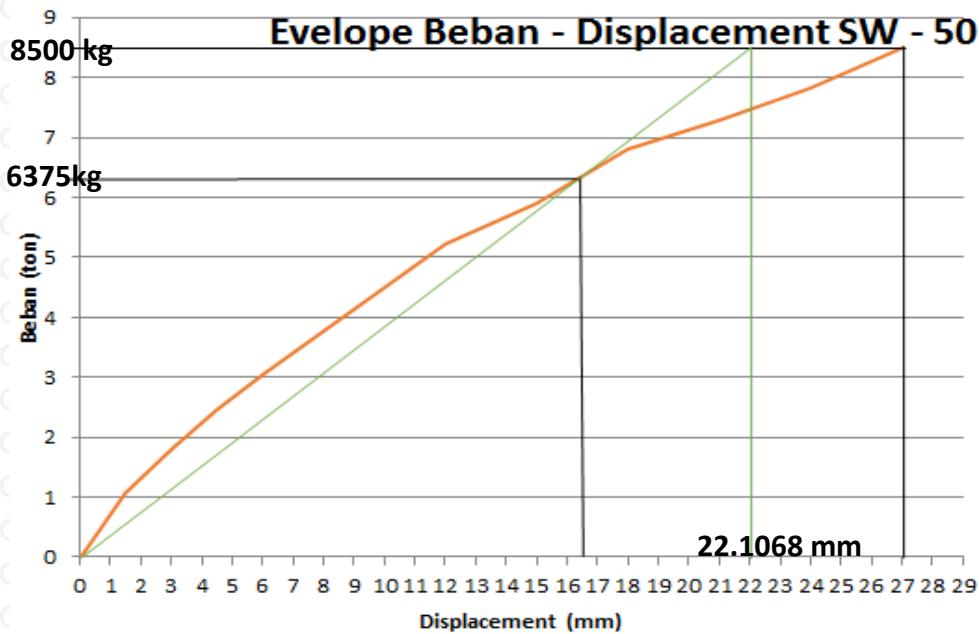
– 150 – 1.5 secara berurutan nilai perpindahan maksimumnya adalah sebesar 27 mm dan 30 mm.

Pada analisis menggunakan metode momen – kurvatur untuk mengetahui nilai perpindahan ultimit, didapatkan nilai perpindahan ultimit yang bisa dilihat pada tabel 4.4 dengan dinding geser SW – 50 – 1.5 adalah sebesar 3.85 mm dan pada dinding geser SD – 150 – 1.5 sebesar 9.71 mm. Secara umum terdapat 3 jenis perpindahan akibat beban lateral, yaitu perpindahan lentur, perpindahan penetrasi leleh, dan perpindahan geser. Namun pada cara teoritis ini hanya memperhitungkan perpindahan lentur saja, tidak memperhitungkan perpindahan geser dan juga perpindahan penetrasi leleh. Maka dari itu grafik yang didapatkan cenderung lebih curam sehingga nilai perpindahan ultimit yang didapatkan relatif lebih kecil.

Bila dilihat dari hasil perpindahan maksimum dan juga perpindahan ultimit dapat dikatakan bahwa semakin besar beban yang bisa diterima oleh dinding geser tersebut maka nilai perpindahan maksimumnya akan semakin kecil.

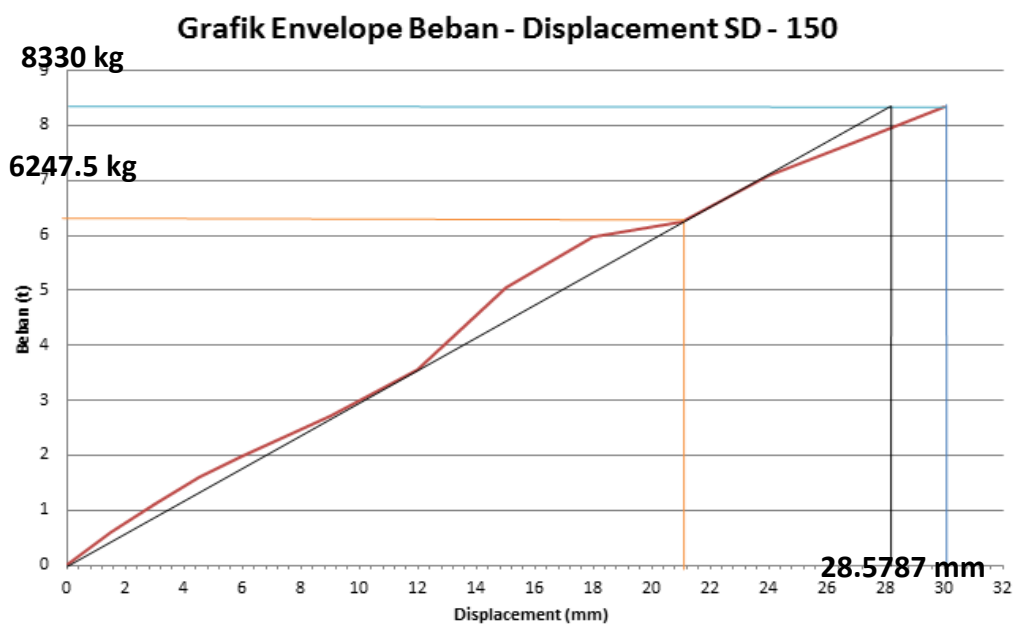
4.2.4 Analisa Daktilitas Perpindahan

Daktilitas perpindahan adalah perbandingan dari perpindahan di saat ultimit dengan perpindahan pada awal titik leleh. Pada penelitian ini digunakan Δ_{maks} yang terjadi untuk mengetahui nilai daktilitas perpindahan dari SW – 50 - 1.5 dan SD – 150 - 1.5 dikarenakan $\Delta_{ultimit}$ belum bisa diketahui.



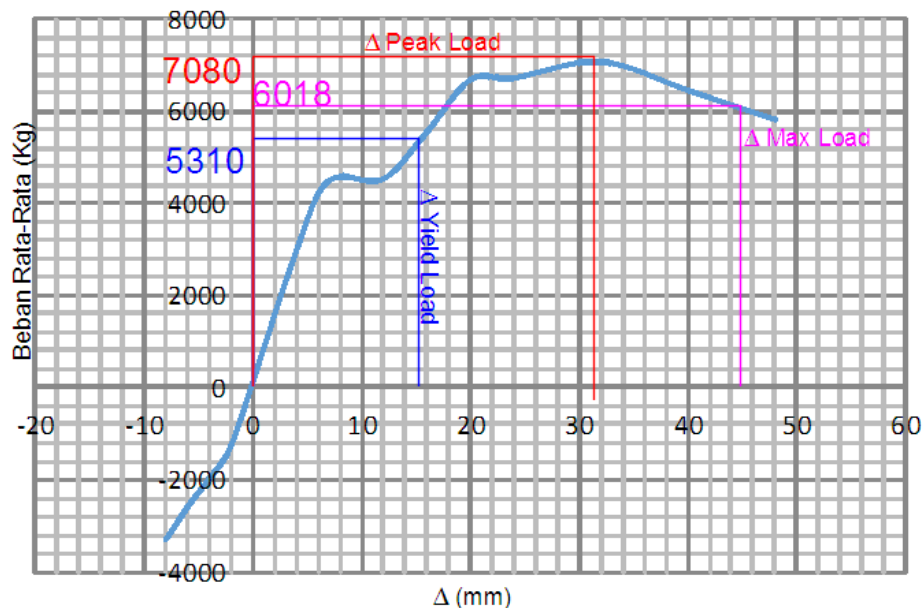
Gambar 4.10 Daktilitas Perpindahan SW – 50 - 1.5

Sumber: Hasil pengujian dan perhitungan



Gambar 4.11 Daktilitas Perpindahan SD – 150 - 1,5

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.12 Daktilitas Perpindahan SD – 150 - 2

Sumber: Sembiring, 2017

Dari grafik di atas didapatkan nilai perpindahan leleh untuk benda uji SW – 50 – 1.5 sebesar 22.1068 mm, 28.5787 mm untuk perpindahan leleh dari benda uji SD – 150 – 1.5 dan 15.14755 untuk benda uji SD – 150 – 2 yang telah dijelaskan pada sub bab 4.2.2.

Sedangkan nilai dari perpindahan maksimum dari benda uji SW – 50 – 1.5 sebesar 27 mm, benda uji SD – 150 -1.5 sebesar 30 mm dan benda uji SD – 150 – 2 sebesar 44.4317 mm yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2.3.

Tabel 4.5 Daktilitas Perpindahan Setiap Benda Uji

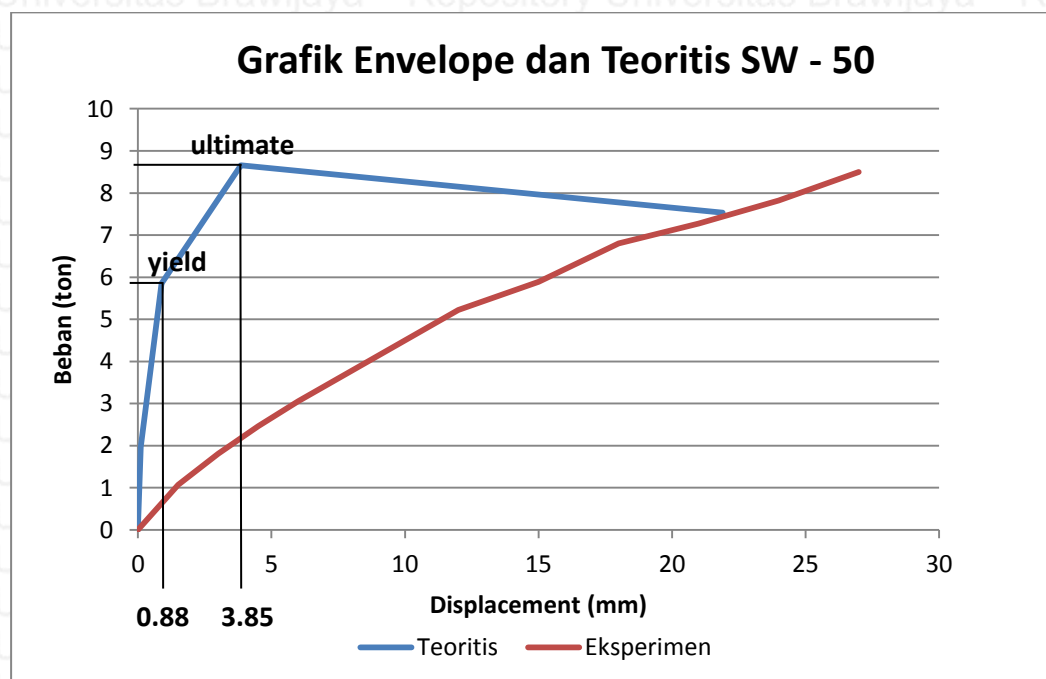
Dinding Geser	Δ_{maks} (mm)	Δ_y (mm)	$\mu\Delta$
SW – 50 - 1.5	27	22.1068	1.2213
SD – 150 - 1.5	30	28.5787	1.0497
SD – 150 – 2	44.4317	15.14755	2.9333

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan tabel di atas bisa dilihat perbedaan perbandingan daktilitas perpindahan dari setiap benda uji. Pada benda uji SW – 50 - 1.5 memiliki daktilitas perpindahan sebesar 1.2213, benda uji SD – 150 - 1.5 memiliki daktilitas perpindahan sebesar 1.0497, dan pada benda uji SD – 150 - 2 memiliki daktilitas perpindahan sebesar 2.9333.

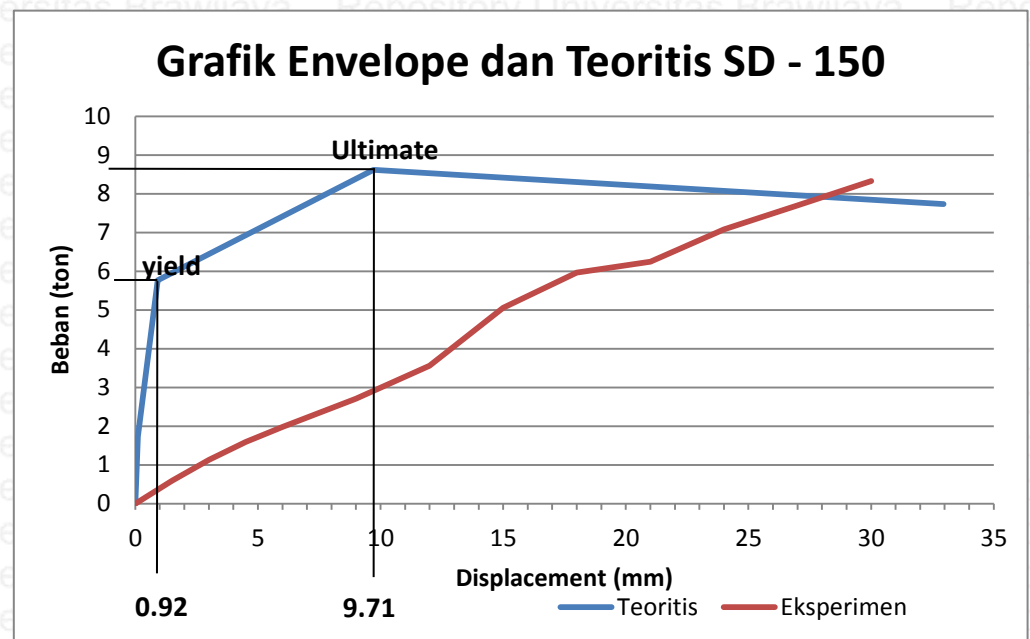
Benda uji SW – 50 - 1.5 mempunyai daktilitas perpindahan yang lebih besar dibanding dengan daktilitas perpindahan dari benda uji SD – 150 - 1.5. Jika dibandingkan dengan benda uji SD – 150 – 2, maka benda uji SD – 150 – 1.5 memiliki nilai daktilitas perpindahan yang lebih kecil. Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa semakin besar nilai aspek rasio dari suatu dinding geser maka semakin besar juga nilai daktilitas perpindahannya.

Selain itu karena penurunan dari beban lateral tidak bisa diketahui dari penelitian ini seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya maka dari itu daktilitas perpindahan juga bisa didapatkan secara teoritis menggunakan analisis metode momen – kurvatur.



Gambar 4.13 Daktilitas Perpindahan SD – 50 – 1.5 Metode Momen - Kurvatur

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.14 Daktilitas Perpindahan SD – 150 – 1.5 Metode Momen - Kurvatur

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari grafik hasil metode momen – kurvatur di atas didapatkan perpindahan leleh untuk SW – 50 – 1.5 sebesar 0.88 mm dan untuk SD – 150 – 1.5 sebesar 0.92 mm yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2.2.

Dengan menggunakan metode momen – kurvatur ini bisa didapatkan nilai dari perpindahan ultimate dari SW – 50 – 1.5 sebesar 3.85 mm dan SD – 150 – 1.5 sebesar 9.71 mm yang sudah dijelaskan pada sub bab 4.2.3.

Tabel 4.6 Daktilitas Perpindahan Metode Momen - Kurvatur

Dinding Geser	Δu (mm)	Δy (mm)	$\mu\Delta$
SW – 50 - 1.5	3.85	0.88	4.375
SD – 150 - 1.5	9.71	0.92	10.5543

Sumber: Hasil Perhitungan

Dimana nilai Δy dan Δu didapatkan dengan cara seperti yang ditunjukkan berikut ini yang detail perhitungannya akan dilampirkan.

A. SW – 50 – 1.5

$$\Delta y = \theta_{cr} \times \frac{2}{3}H = 2.22 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) = 0.88732 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta u &= \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_u - \phi_y) \times L_p \times (H - \frac{L_p}{2}) \\ &= 2.22 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (3.70 \times 10^{-5} - 7.39 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - \frac{200}{2}) \\ &= 3.851068 \text{ mm} \\ \mu\Delta &= \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{3.851068}{0.88732} = 4.375 \end{aligned}$$

B. SD – 150 – 1.5

$$\Delta y = \theta_{cr} \times \frac{2}{3}H = 2.30 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) = 0.92102424 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta u &= \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_u - \phi_y) \times L_p \times (H - \frac{L_p}{2}) \\ &= 2.30 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (9.56 \times 10^{-5} - 7.68 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - \frac{200}{2}) \\ &= 9.71564904 \text{ mm} \\ \mu\Delta &= \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{9.71564904}{0.92102424} = 10.5543 \end{aligned}$$

Terdapat perbedaan nilai daktilitas perpindahan antara hasil eksperimental dengan analisis menggunakan metode momen – kurvatur. Hal ini terjadi karena pada analisis eksperimental bukan nilai Δ_u yang digunakan melainkan nilai Δ_{maks} . Selain itu analisis menggunakan metode momen – kurvatur juga hanya memperhitungkan perpindahan lenturnya saja, sedangkan perpindahan geser dan juga perpindahan penetrasi leleh tidak diperhitungkan.

Pada analisis eksperimen, nilai daktilitas perpindahan SW – 50 – 1.5 lebih besar dibandingkan dengan nilai daktilitas perpindahan dari SD – 150 – 1.5, namun pada analisis menggunakan metode momen – kurvatur nilai daktilitas

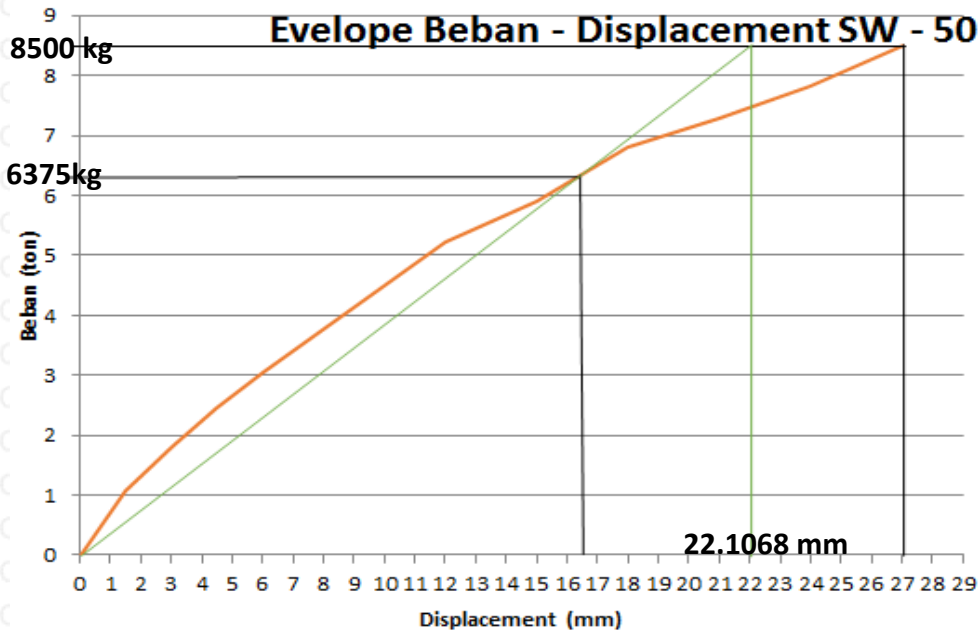
perpindahan SD – 10 - 1.5 lebih besar dibanding dengan nilai daktilitas perpindahan dari SW – 50 – 1.5. Perbedaan hasil ini bisa disebabkan oleh kesalahan-kesalahan pada saat pengujian misalnya saja baja pengekan yang sudah mulai leleh sehingga tidak bisa digunakan sebagai angkur yang kuat.

4.2.5 Analisa Kekakuan

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

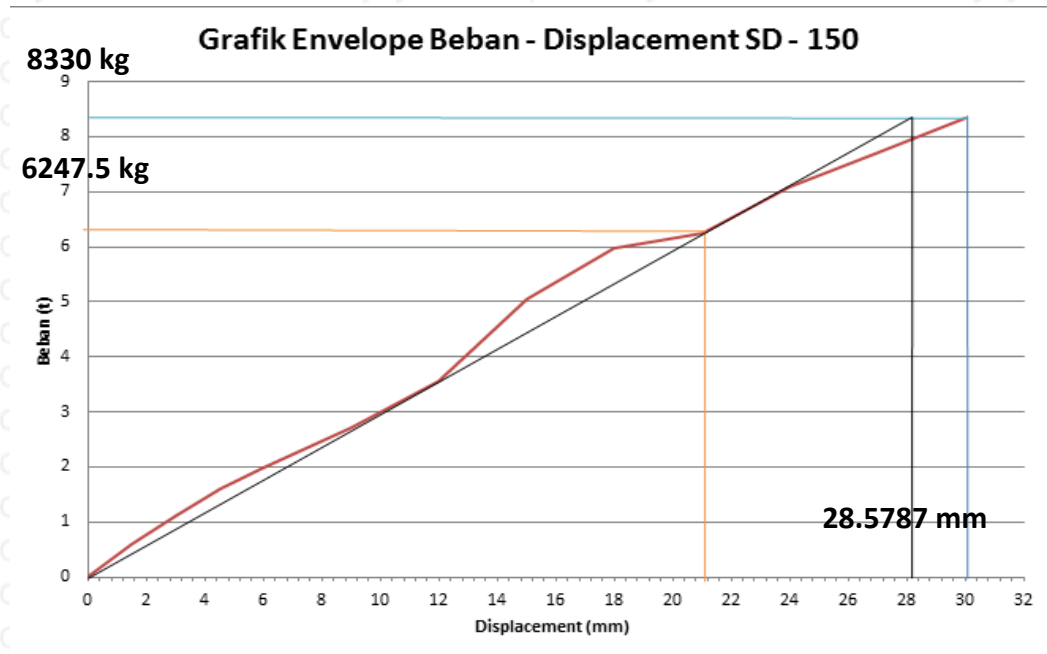
4.2.5.1 Metode *Secant stiffness*

Metode *secant stiffness* merupakan metode yang digunakan untuk meninjau kekakuan berdasarkan dari beban penetrasi lelehnya. Nilai kekakuan didapatkan dari pembagian tegak (beban) dan datar (perpindahan disaat leleh). Untuk mencari kekakuan dengan *secant stiffness*, dikarenakan pada penelitian ini belum bisa diketahui beban ultimitnya dikarenakan keterbatasan *load cell*, maka digunakan perpindaahan dan beban maksimum yang terjadi.



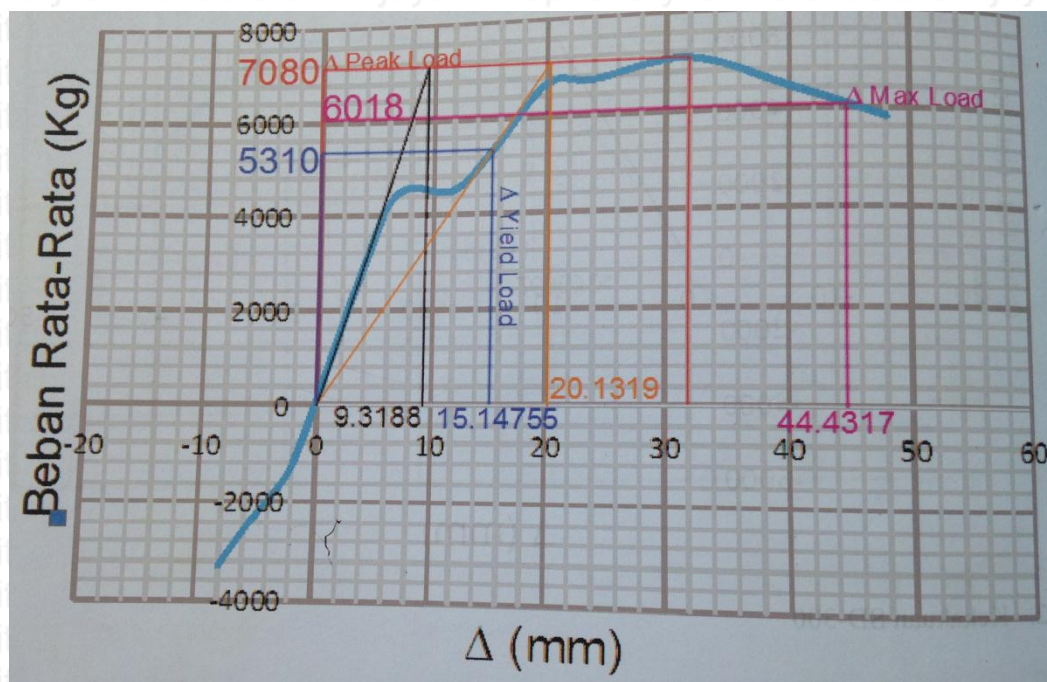
Gambar 4.15 Grafik Kekakuan dengan Metode *Secant Stiffness* SW – 50 – 1.5

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.16 Grafik Kekakuan dengan Metode *Secant Stiffness* SD – 150 – 1.5

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik Kekakuan dengan Metode *Secant Stiffness* SD – 150 – 2

Sumber: Sembiring, 2017

Tabel 4.7 Kekakuan Secan Setiap Benda Uji

Dinding Geser	P peak load (kg)	Δ secant stiffness (mm)	Secant Stiffness
SW – 50 - 1.5	8500	22.1068	384.497
SD – 150 - 1.5	8330	28.5787	291.476
SD – 150 - 2	7080	20.1319	351.6809

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan

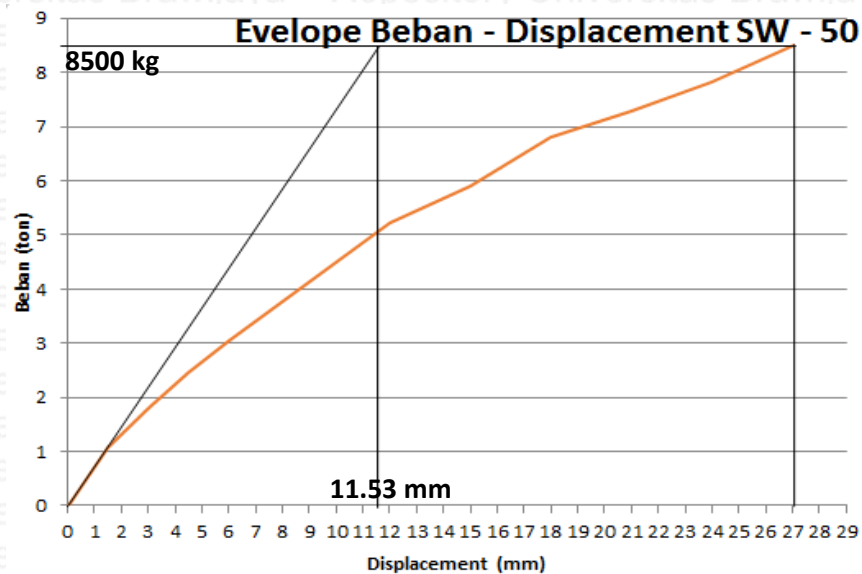
Dari tabel di atas bisa dilihat bahwa pada *secant stiffness* benda uji SW – 50 - 1.5 memiliki nilai kekakuan yang paling besar diantara benda uji yang lainnya yaitu sebesar 384.497 kg/mm. Sedangkan pada benda uji SD – 150 - 1.5 memiliki nilai kekakuan sebesar 291.476 kg/mm dan benda uji SD – 150 - 2 sebesar 351.6809 kg/mm.

Dinding geser SW – 50 - 1.5 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan dinding SD – 150 - 1.5. Hasil ini bisa

disebabkan karena kuat tekan beton dinding geser berbeda dengan yang direncanakan, dimana nilai kuat tekan yang direncanakan adalah sebesar 20 MPa sedangkan hasil dari hammer test SW – 50 - 1.5 sebesar 27 MPa yang dapat menahan beban lebih besar dibandingkan dengan SD – 150 - 1.5 yang mempunyai nilai kuat tekan sebesar 22 MPa. Dinding geser SD – 150 - 1.5 memiliki kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dinding geser SD – 150 - 2. Seharusnya pada dinding geser yang memiliki aspek rasio lebih besar mempunyai kekakuan yang lebih kecil dikarenakan perilakunya yang cenderung lentur.

4.2.5.2 Metode *Tangential stiffness*

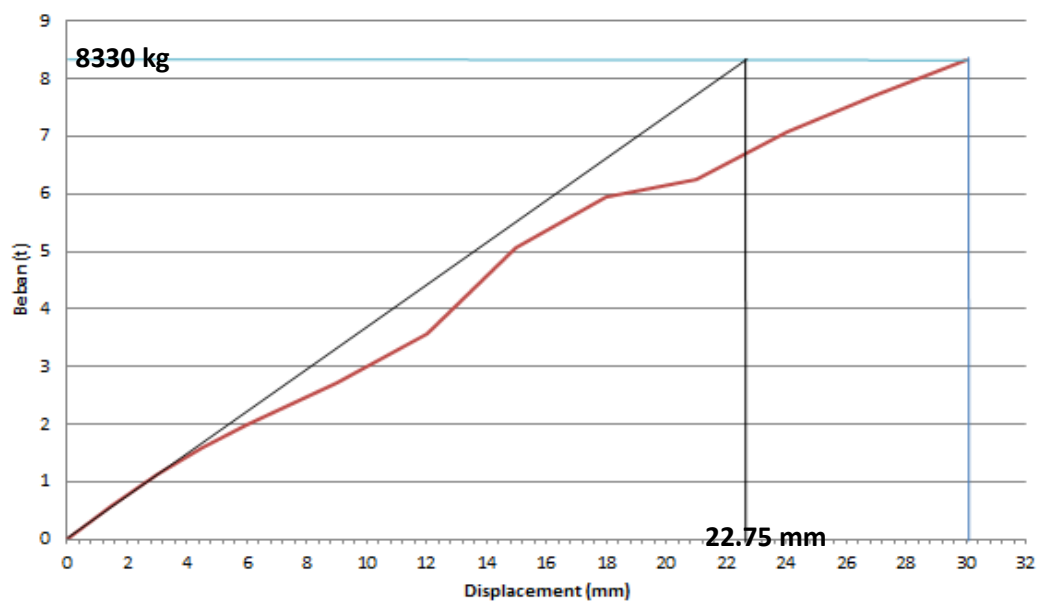
Metode *tangential stiffness* adalah suatu metode pendekatan untuk mengetahui kekakuan struktur dengan cara membandingkan antara tinggi (beban) dengan bidang datar (perpindahan) dari suatu grafik. Metode *tangential stiffness* menggunakan rerata kekakuan yang homogen lalu kemudian ditarik garis hingga menyentuh garis puncak.



Gambar 4.18 Grafik Kekakuan dengan Metode *Tangential Stiffness* SW – 50 – 1.5

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan

Grafik Envelope Beban - Displacement SD - 150



Gambar 4.19 Grafik Kekakuan dengan Metode *Tangential Stiffness* SD – 150 – 1.5

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.8 Kekakuan Tangen Setiap Benda Uji

Dinding Geser	P peak load (kg)	Δ tangential stiffness (mm)	Tangential Stiffness
SW – 50 - 1.5	8500	11.53	737.2073
SD – 150 - 1.5	8330	22.75	366.153

Sumber: Data Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil analisis kekakuan menggunakan *tangential stiffness* didapatkan nilai kekakuan dari SW – 50 – 1.5 sebesar 737.2073 kg/mm sedangkan untuk SD – 150 – 1.5 sebesar 366.153 kg/mm. Terdapat konsistensi antara hasil dari kekakuan secan dan hasil dari kekakuan tangen dimana dinding geser SW – 50 – 1.5 memiliki nilai kekakuan yang lebih besar dibandingkan dengan SD – 150 -1.5.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian yang telah dianalisis secara teoritis maupun eksperimental untuk mengetahui pengaruh aspek rasio terhadap daktilitas dan kekakuan pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak rapat di bawah pembebanan siklik dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dinding geser SD – 150 - 1.5 memiliki nilai daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan dinding geser SD – 150 - 2, dan kekakuan dari dinding geser SD – 150 - 1.5 lebih kecil dibandingkan dengan dinding geser SD – 150 - 2.
2. Dinding geser SD – 150 - 1.5 memiliki daktilitas dengan analisis eksperimental yang lebih kecil dibandingkan dengan dinding geser SW – 50 - 1.5, namun dengan analisis menggunakan metode momen – kurvatur nilai daktilitas perpindahan SD – 150 – 1.5 lebih besar dibandingkan dengan SW – 50 – 1.5. Kekakuan dari dinding geser SD – 150 - 1.5 lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan dinding geser SW – 50 - 1.5.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan dan penelitian terhadap pengaruh aspek rasio terhadap daktilitas dan kekakuan dinding geser bertulangan horizontal berjarak rapat di bawah pembebanan siklik terdapat beberapa saran yang direkomendasikan untuk penelitian serupa yang akan datang, yakni:

1. Perlu adanya pengontrolan terhadap alat-alat pengujian di laboratorium sehingga tidak terjadi kerusakan selama pengujian yang menimbulkan kerugian waktu dan biaya.
2. Perlunya stabilisasi beban aksial pada benda uji saat pengujian agar keakuratan data dapat dipertahankan.

3. Pastikan pemasangan angkur untuk menahan benda uji sudah kencang agar pada saat pengujian data perpindahan yang didapatkan bisa lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldi Efrata Sembiring, Ari Wibowo, Lilya Susanti. Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-statis). Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil 1 (1), pp. 77-83, 2017
- Allo, J. 2017. *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Pada Dinding Geser Dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Statis)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI-03-1726-2002. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847-2013. Jakarta.
- Kafle B., Kermani M. A., Wibowo A. A Report on the visit to the region stricken by the Wenchuan Earthquake. 2008 Special Issue: Earthquake Engineering in the low and moderate seismic regions of Southeast Asia and Australia. *Electronic Journal of Structural Engineering*. Appendix B (Report), pp 1-31, 2008.
- Majore, Braien. 2015. *Studi Perbandingan Respons Dinamin Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser*. Skripsi. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Park and Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons
- Paulay dan Priestley. 1994. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Wiley Interscience.
- Randha, K. Y. 2017. *Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Ganda Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Pada Dinding Geser dengan Pembebanan Semi Siklik*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya



Sembiring, E. A. 2017. *Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya

Shedid, MT. 2006. *Ductility of Reinforced Concrete Masonry Shear Wall*. Masterthesis, McMaster University. McMaster University: McMaster University Press.

Silalahi, J. 2017. *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekangan Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya

Silalahi, T. A. 2017. *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekangan Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya

Simanjuntak, B. J. 2017. *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Skripsi. Malang: Universitas Brawijaya

Watanabe, K, Niwa, J, Yokota, H and Iwanami, M. 2004. *Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclinic Loading*. Japan.

Wibowo, A., John L.W., Nelson TK L., Emad F. G. (2015). Collapse Behaviour Assessment of Precast Soft Storey Building, *Procedia Engineering*, Volume 125, Pages 1036-1042.

Wibowo, A., Wilson, J., Lam, N., & Gad, E. 2013. Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes. *Magazine Of Concrete Research*, 65(13), 809-828. <http://dx.doi.org/10.1680/macr.13.00021>

Wibowo, A., Wilson, J., Lam, N., Gad, E., Lu, Y., & Henry, R. 2014. Discussion: Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes. *Magazine Of Concrete Research*, 66(20), 1073-1074. <http://dx.doi.org/10.1680/macr.14.00049>

Wibowo, Ari. 2012. *Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Buildings*.

PhD Thesis. Victoria : 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.

Wilson, J., Wibowo, A., Lam, N., & Gad, E. 2015. Drift behaviour of lightly reinforced concrete columns and structural walls for seismic design applications. *Australian Journal Of Structural Engineering*, 16(1). <http://dx.doi.org/10.7158/s14-002.2015.16.1>



LAMPIRAN 1

DESAIN AWAL DINDING GESER

1.1.Perhitungan Dinding Geser Teoritis



1.1 Perhitungan Dinding Geser Teoritis

A. Perhitungan Teoritis SW - 50

- Dimensi Dinding

Lebar dinding (ℓw) = 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

$$\rho_v = \frac{A_{st}}{bw \times \ell w}$$

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

$$\rho_v = 0,0244$$

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

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:

$$\text{Kuat tekan beton} \quad (f'_c) = 27,00 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja} \quad (f_y) = 378,86 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar penampang dinding geser} \quad (b) = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang dinding geser} \quad (h) = 400 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi dinding geser} \quad (l) = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal bruto selimut beton} \quad (d_s) = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan} \quad (n) = 16 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter tulangan} \quad (D) = 7,88 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja} \quad (E_s) = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan} \quad (\beta_1) = 0,85$$

$$\text{Luas tulangan total} \quad (A_{st}) = 780 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio tulangan} \quad (\rho) = 2,44 \%$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan} \quad (\phi) = 0,65$$

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

$$\text{Lapisan ke-1} \quad (d_1) = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-2} \quad (d_2) = 67,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-3} \quad (d_3) = 117,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-4} \quad (d_4) = 167,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-5} \quad (d_5) = 232,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-6} \quad (d_6) = 282,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-7} \quad (d_7) = 332,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lapisan ke-8} \quad (d_8) = 382,5 \text{ mm}$$

• 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:

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

Beban aksial nominal pada kondisi *balanced*:

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

$$P_{nb} = 0,85 f_c' a_b b + A_{s1}' f_{s1}' + A_{s2}' f_{s2}' + A_{s3}' f_{s13} + A_{s4}' f_{s4}' + A_{s5}' f_{s5}' - A_{s6} f_{s6} - A_{s7} f_{s7} - A_{s8} f_{s8}$$

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

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

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

Momen nominal terhadap pusat penampang pada kondisi *balanced*:

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

$$M_{nb} = 0,85 f_c' a_b b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{s1}' f_{s1}' \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s2}' f_{s2}' \left(\frac{h}{2} - d_2 \right) + A_{s3}' f_{s13} \left(\frac{h}{2} - d_3 \right) + A_{s4}' f_{s4}' \left(\frac{h}{2} - d_4 \right) + A_{s5}' f_{s5}' \left(\frac{h}{2} - d_5 \right) - A_{s6} f_{s6} \left(d_6 - \frac{h}{2} \right) - A_{s7} f_{s7} \left(d_7 - \frac{h}{2} \right) - A_{s8} f_{s8} \left(d_8 - \frac{h}{2} \right)$$

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

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

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

– Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)



Keruntuhan tekan terjadi jika:

$$P_n > P_{nb}$$

$$c > c_b$$

$$e < e_b$$

c	M _{s1}	M _{s2}	M _{s3}	M _{s4}	M _{s5}	M _{s6}	M _{s7}	M _{s8}	M _s	a	C _c	M _c	P _n	M _n	Φ	Φ.P _n	Φ.M _n	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 _{s1}	M _{s2}	M _{s3}	M _{s4}	M _{s5}	M _{s6}	M _{s7}	M _{s8}	M _s	a	C _c	M _c	P _n	M _n	Φ	Φ.P _n	Φ.M _n	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



Perhitungan P_n pada saat $30 \text{ kN} = 3 \text{ ton}$, didapat dengan cara interpolasi dengan rumus

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1)$$

Diketahui :

$$y_1 = M_{n1} = 48.9 \text{ kNm}$$

$$y_2 = M_{n2} = 51.2 \text{ kNm}$$

$$x = P_n = 30 \text{ kN}$$

$$x_1 = P_{n1} = 28.7 \text{ kN}$$

$$x_2 = P_{n2} = 55.3 \text{ kN}$$

$$y = 48.9 + \frac{(30 - 28.7)}{(55.3 - 28.7)} (51.2 - 48.9)$$

$$y = 48.971 \text{ kNm} \rightarrow y = M_n$$

$$\text{Maka } P_n = M_n / h$$

$$= 48.971 / 0.6$$

$$= 81.618 \text{ kN}$$

Diagram Interaksi SW-50

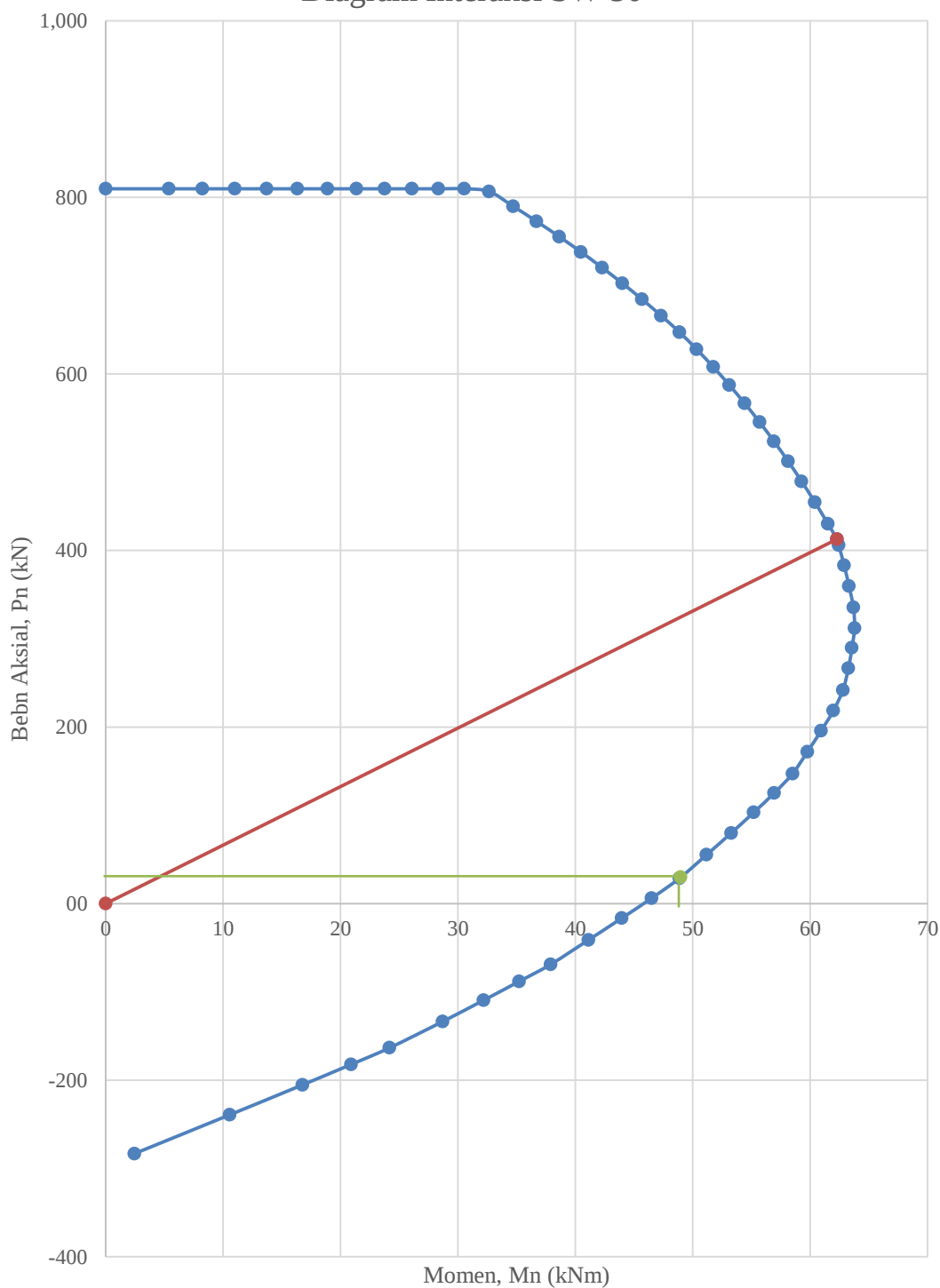
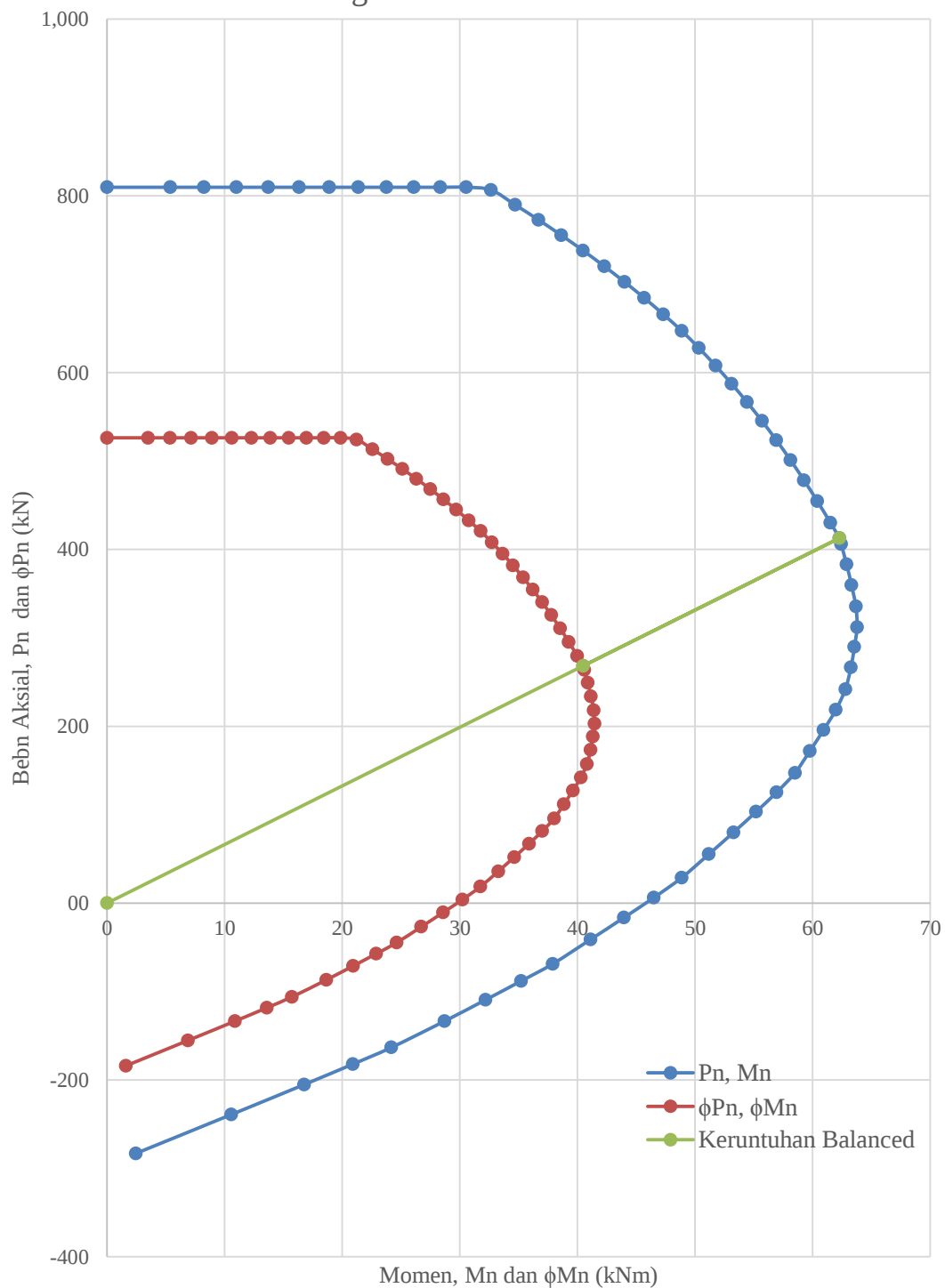


Diagram Interaksi SW-50





B. Perhitungan Teoritis SD – 150

- Dimensi Dinding

Lebar dinding (ℓw) = 400 mm

Tebal dinding (bw) = 80 mm

Tinggi dinding (hw) = 600 mm

Kuat tekan beton (f_c') = 22 MPa

- Tulangan

Longitudinal = 16 – Ø8

Transversal = 2Ø8 - 150

Tegangan leleh (f_y) = 378.86 Mpa

- Kontrol dinding

f. Rasio Tulangan Vertikal

$$\rho_v = \frac{A_{st}}{bw \times \ell w}$$

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

$$\rho_v = 0,0244$$

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

g. Rasio Tulangan Horizontal

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

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

$$\rho_h = 0,0162$$

$$\rho_h = 1,62 \%$$

h. Rasio Badan

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

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

i. Rasio Pembebanan

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

$$n = \frac{30000}{(80 \times 400) \times 22}$$



$$n = 0,043$$

$$n = 4,3 \%$$

j. Perencanaan dengan Diagram Interaksi

- Data dinding geser:

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c') = 22,00 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

$$\text{Jumlah tulangan } (n) = 16 \text{ buah}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$P_o = 0,85 \times 22,00 ((80 \times 400) - 780) + 378,86 \times 780$$

$$P_o = 879430 \text{ N} = 879,43 \text{ kN}$$



– Kuat beban aksial maksimum

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

$$P_{n, \max} = 0,80 \times 879,43$$

$$P_{n, \max} = 703,544 \text{ kN}$$

$$\phi P_{n, \max} = 0,65 \times 703,544$$

$$\phi P_{n, \max} = 457,304 \text{ kN}$$

– 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 ekivalen 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:

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

Regangan pada masing-masing baja tulangan:

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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*:

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

$$P_{nb} = 0,85 f_c' a_b b + A_{s1}' f_{s1}' + A_{s2}' f_{s2}' + A_{s3}' f_{s13} + A_{s4}' f_{s4}' + A_{s5}' f_{s5}' - A_{s6} f_{s6} - A_{s7} f_{s7} - A_{s8} f_{s8}$$

$$P_{nb} = 345020 \text{ N}$$

$$P_{nb} = 345,02 \text{ kN}$$

$$\phi P_{nb} = 224,263 \text{ kN}$$

Momen nominal terhadap pusat penampang pada kondisi *balanced*:

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

$$M_{nb} = 0,85 f_c' a_b b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{s1}' f_{s1}' \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{s2}' f_{s2}' \left(\frac{h}{2} - d_2 \right) + A_{s3}' f_{s13} \left(\frac{h}{2} - d_3 \right) + A_{s4}' f_{s4}' \left(\frac{h}{2} - d_4 \right) + A_{s5}' f_{s5}' \left(\frac{h}{2} - d_5 \right) - A_{s6} f_{s6} \left(d_6 - \frac{h}{2} \right) - A_{s7} f_{s7} \left(d_7 - \frac{h}{2} \right) - A_{s8} f_{s8} \left(d_8 - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_{nb} = 55471,28 \text{ kNmm}$$

$$M_{nb} = 55,471 \text{ kNm}$$

$$\phi M_{nb} = 36,056 \text{ kNm}$$

– Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)

Keruntuhan tekan terjadi jika:

c	M _{s1}	M _{s2}	M _{s3}	M _{s4}	M _{s5}	M _{s6}	M _{s7}	M _{s8}	M _s	a	C _c	M _c	P _n	M _n	Φ	Φ.P _n	Φ.M _n	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	610.4	-2441.5	842.3	5.9	0.65	547.5	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	600.2	-360.1	829.6	8.3	0.65	539.2	5.4	13.8
464	6743.9	4896.2	3048.6	1201.0	-948.9	-1888.6	-2197.6	-1876.0	8978.6	394.4	590.0	1652.1	816.8	10.6	0.65	530.9	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	579.8	3595.1	803.9	12.9	0.65	522.5	8.4	21.5
448	6743.9	4896.2	3048.6	1190.9	-914.9	-1783.6	-1999.1	-1561.5	9620.4	380.8	569.7	5468.9	790.6	15.1	0.65	513.9	9.8	25.1
440	6743.9	4896.2	3048.6	1177.9	-897.0	-1728.2	-1894.5	-1395.7	9951.2	374.0	559.5	7273.6	777.1	17.2	0.65	505.1	11.2	28.7
432	6743.9	4896.2	3048.6	1164.5	-878.3	-1670.8	-1786.0	-1223.8	10294.3	367.2	549.3	9009.0	763.5	19.3	0.65	496.3	12.5	32.2
424	6743.9	4896.2	3048.6	1150.6	-859.0	-1611.3	-1673.4	-1045.4	10650.3	360.4	539.2	10675.3	749.7	21.3	0.65	487.3	13.9	35.5
416	6743.9	4896.2	3048.6	1136.2	-839.0	-1549.4	-1556.4	-860.1	11020.0	353.6	529.0	12272.5	735.9	23.3	0.65	478.3	15.1	38.8
408	6743.9	4896.2	3048.6	1121.1	-818.1	-1485.1	-1434.9	-667.5	11404.2	346.8	518.8	13800.4	721.8	25.2	0.65	469.2	16.4	42.0
400	6743.9	4896.2	3048.6	1105.5	-796.5	-1418.3	-1308.5	-467.3	11803.7	340.0	508.6	15259.2	707.6	27.1	0.65	460.0	17.6	45.1
392	6743.9	4896.2	3048.6	1089.3	-773.9	-1348.7	-1177.0	-258.8	12219.6	333.2	498.5	16648.8	693.3	28.9	0.65	450.6	18.8	48.1
384	6743.9	4896.2	3048.6	1072.3	-750.4	-1276.2	-1040.0	-41.7	12652.8	326.4	488.3	17969.2	678.8	30.6	0.65	441.2	19.9	51.0
376	6743.9	4896.2	3048.6	1054.7	-725.9	-1200.6	-897.1	184.6	13104.4	319.6	478.1	19220.5	664.1	32.3	0.65	431.7	21.0	53.9
368	6743.9	4896.2	3048.6	1036.3	-700.3	-1121.7	-748.0	420.8	13575.7	312.8	467.9	20402.6	649.2	34.0	0.65	422.0	22.1	56.6
360	6743.9	4896.2	3048.6	1017.0	-673.6	-1039.4	-592.3	667.5	14067.9	306.0	457.8	21515.5	634.1	35.6	0.65	412.1	23.1	59.3
352	6743.9	4896.2	3048.6	996.9	-645.7	-953.3	-429.6	925.4	14582.5	299.2	447.6	22559.2	618.7	37.1	0.65	402.2	24.1	61.9
344	6743.9	4896.2	3048.6	975.9	-616.5	-863.2	-259.2	1195.3	15121.0	292.4	437.4	23533.8	603.2	38.7	0.65	392.0	25.1	64.4
336	6743.9	4896.2	3048.6	953.8	-585.9	-768.8	-80.8	1478.1	15685.2	285.6	427.3	24439.1	587.3	40.1	0.65	381.8	26.1	66.9
328	6743.9	4896.2	3048.6	930.7	-553.8	-669.8	106.4	1774.6	16276.9	278.8	417.1	25275.3	571.2	41.6	0.65	371.3	27.0	69.3
320	6743.9	4896.2	3048.6	906.4	-520.1	-565.8	302.9	2086.0	16898.2	272.0	406.9	26042.4	554.8	42.9	0.65	360.6	27.9	71.6
312	6743.9	4896.2	3009.8	880.9	-484.6	-456.5	509.5	2413.4	17512.5	265.2	396.7	26740.2	537.6	44.3	0.65	349.4	28.8	73.8
304	6743.9	4896.2	2962.0	854.0	-447.3	-341.5	727.0	2757.9	18152.2	258.4	386.6	27368.9	520.0	45.5	0.65	338.0	29.6	75.9
296	6743.9	4896.2	2911.5	825.7	-408.0	-220.2	956.2	3121.1	18826.4	251.6	376.4	27928.4	501.9	46.8	0.65	326.2	30.4	77.9
288	6743.9	4896.2	2858.3	795.8	-366.5	-92.2	1198.1	3504.5	19538.1	244.8	366.2	28418.7	483.4	48.0	0.65	314.2	31.2	79.9
280	6743.9	4896.2	2802.0	764.2	-322.7	43.1	1453.9	3909.8	20290.5	238.0	356.0	28839.9	464.4	49.1	0.65	301.9	31.9	81.9
272	6743.9	4896.2	2742.4	730.7	-276.2	186.4	1724.7	4338.9	21087.1	231.2	345.9	29191.9	445.0	50.3	0.65	289.2	32.7	83.8
264	6743.9	4896.2	2679.2	695.2	-226.9	338.3	2012.0	4794.0	21932.0	224.4	335.7	29474.7	424.9	51.4	0.65	276.2	33.4	85.7
256	6743.9	4896.2	2612.1	657.5	-174.6	499.8	2317.2	5277.6	22829.7	217.6	325.5	29688.3	404.2	52.5	0.65	262.8	34.1	87.5
248	6743.9	4896.2	2540.6	617.4	-118.9	671.7	2642.1	5792.4	23785.3	210.8	315.4	29832.8	382.9	53.6	0.65	248.9	34.9	89.4
240	6743.9	4896.2	2464.3	574.6	-59.4	855.0	2988.6	6341.5	24804.6	204.0	305.2	29908.0	360.8	54.7	0.65	234.5	35.6	91.2

– Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Keruntuhan tarik terjadi jika:

$$P_n < P_{nb}$$

$$c < c_b$$

$$e > e_b$$

c	M _{s1}	M _{s2}	M _{s3}	M _{s4}	M _{s5}	M _{s6}	M _{s7}	M _{s8}	M _s	a	C _c	M _c	P _n	M _n	Φ	Φ.P _n	Φ.M _n	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	295.0	29914.1	338.9	55.6	0.65	220.3	36.2	92.7
224	6743.9	4896.2	2295.5	479.7	72.2	1260.9	3756.0	6743.9	26248.3	190.4	284.8	29851.1	318.5	56.1	0.65	207.0	36.5	93.5
216	6743.9	4896.2	2201.7	427.1	145.3	1486.4	4182.3	6743.9	26826.7	183.6	274.7	29718.8	297.4	56.5	0.65	193.3	36.8	94.2
208	6743.9	4896.2	2100.7	370.3	224.0	1729.3	4641.4	6743.9	27449.7	176.8	264.5	29517.4	275.4	57.0	0.65	179.0	37.0	94.9
200	6743.9	4896.2	1991.6	309.1	309.1	1991.6	4896.2	6743.9	27881.6	170.0	254.3	29246.8	254.3	57.1	0.65	165.3	37.1	95.2
192	6743.9	4896.2	1873.4	242.7	401.2	2275.8	4896.2	6743.9	28073.3	163.2	244.1	28907.0	234.4	57.0	0.65	152.4	37.0	95.0
184	6743.9	4896.2	1744.9	170.6	501.3	2584.6	4896.2	6743.9	28281.7	156.4	234.0	28498.1	213.6	56.8	0.65	138.9	36.9	94.6
176	6743.9	4780.3	1604.8	91.9	610.6	2921.6	4896.2	6743.9	28393.1	149.6	223.8	28020.0	191.0	56.4	0.65	124.2	36.7	94.0
168	6743.9	4638.7	1451.3	5.7	730.2	3048.6	4896.2	6743.9	28258.5	142.8	213.6	27472.7	170.0	55.7	0.65	110.5	36.2	92.9
160	6743.9	4482.9	1282.5	-89.2	861.8	3048.6	4896.2	6743.9	27970.7	136.0	203.5	26856.2	149.7	54.8	0.65	97.3	35.6	91.4
152	6743.9	4310.7	1095.9	-194.0	1007.3	3048.6	4896.2	6743.9	27652.5	129.2	193.3	26170.5	128.2	53.8	0.65	83.4	35.0	89.7
144	6743.9	4119.4	888.5	-310.4	1168.9	3048.6	4896.2	6743.9	27299.1	122.4	183.1	25415.7	105.5	52.7	0.65	68.6	34.3	87.9
136	6743.9	3905.6	656.8	-440.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26755.4	115.6	172.9	24591.7	86.0	51.3	0.65	55.9	33.4	85.6
128	6743.9	3665.1	396.1	-586.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	26107.8	108.8	162.8	23698.6	66.3	49.8	0.65	43.1	32.4	83.0
120	6743.9	3392.5	100.6	-752.9	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	25373.7	102.0	152.6	22736.2	45.4	48.1	0.65	29.5	31.3	80.2
112	6743.9	3080.9	-237.1	-942.5	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	24534.9	95.2	142.4	21704.7	22.9	46.2	0.65	14.9	30.1	77.1
104	6743.9	2721.4	-626.7	-1161.3	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	23567.0	88.4	132.2	20604.0	-1.4	44.2	0.65	-0.9	28.7	73.6
96	6743.9	2302.0	-1081.3	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	22653.3	81.6	122.1	19434.1	-21.5	42.1	0.65	-14.0	27.4	70.1
88	6743.9	1806.4	-1618.5	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	21620.5	74.8	111.9	18195.1	-41.9	39.8	0.65	-27.2	25.9	66.4
80	6743.9	1211.6	-2263.2	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	20381.0	68.0	101.7	16886.8	-64.4	37.3	0.65	-41.8	24.2	62.1
72	6743.9	484.6	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	18868.6	61.2	91.6	15509.5	-89.6	34.4	0.65	-58.2	22.3	57.3
64	6743.9	-424.1	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	17959.9	54.4	81.4	14062.9	-106.6	32.0	0.65	-69.3	20.8	53.4
56	6743.9	-1592.4	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	16791.6	47.6	71.2	12547.1	-125.6	29.3	0.65	-81.6	19.1	48.9
48	6743.9	-3150.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	15233.8	40.8	61.0	10962.2	-147.5	26.2	0.65	-95.9	17.0	43.7
40	6007.7	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	12751.6	34.0	50.9	9308.1	-174.9	22.1	0.65	-113.7	14.3	36.8
32	4839.5	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	11583.4	27.2	40.7	7584.8	-191.5	19.2	0.65	-124.4	12.5	31.9
24	2892.6	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	9636.5	20.4	30.5	5792.4	-212.3	15.4	0.65	-138.0	10.0	25.7
16	-1001.3	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	5742.6	13.6	20.3	3930.8	-243.8	9.7	0.65	-158.5	6.3	16.1
8	-6743.9	-4896.2	-3048.6	-1201.0	1201.0	3048.6	4896.2	6743.9	0.0	6.8	10.2	2000.0	-285.4	2.0	0.65	-185.5	1.3	3.3



Perhitungan Pn pada saat 30 kN = 3 ton, didapat dengan cara interpolasi dengan rumus

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1)$$

Diketahui :

$$y_1 = M_{n1} = 46.2 \text{ kNm}$$

$$y_2 = M_{n2} = 48.1 \text{ kNm}$$

$$x = P_n = 30 \text{ kN}$$

$$x_1 = P_{n1} = 22.9 \text{ kN}$$

$$x_2 = P_{n2} = 45.4 \text{ kN}$$

$$y = 46.2 + \frac{(30 - 22.9)}{(45.4 - 22.9)} (48.1 - 46.2)$$

$$y = 46.799 \text{ kNm} \rightarrow y = M_n$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } P_n &= M_n / h \\ &= 46.799 / 0.6 \\ &= 78.046 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diagram Interaksi SD-150

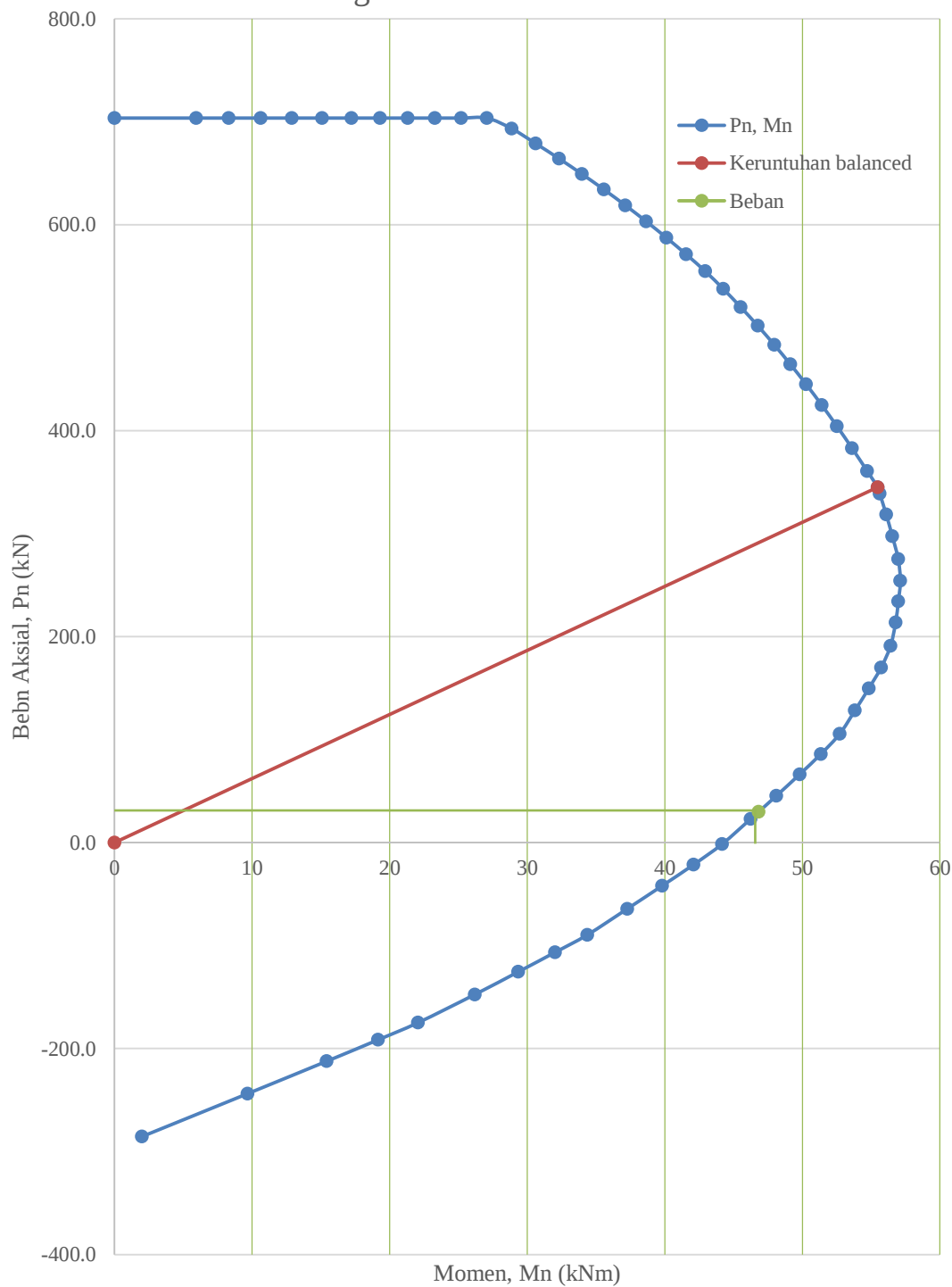
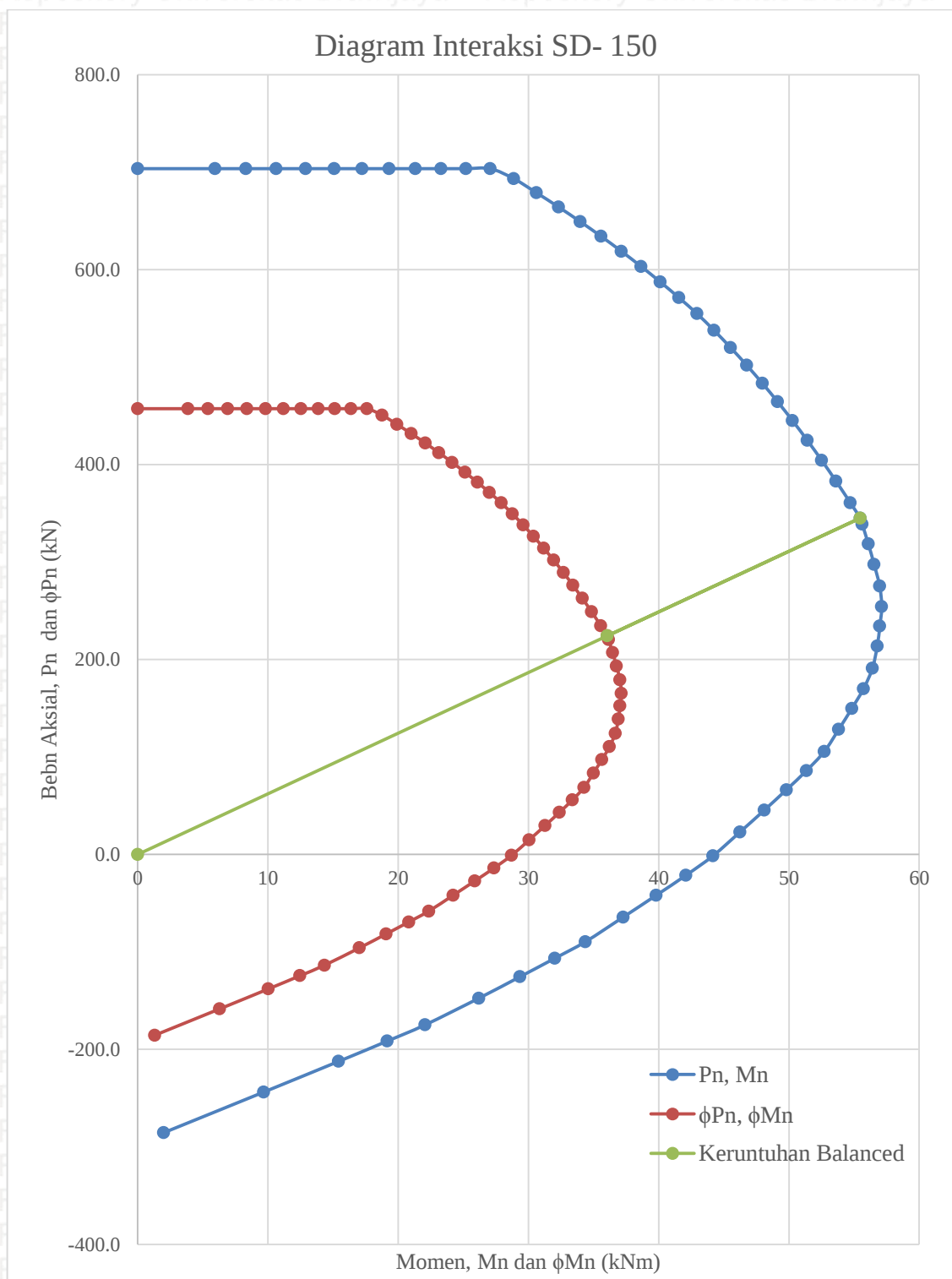




Diagram Interaksi SD- 150



LAMPIRAN 2

HASIL PENGUJIAN DINDING GESER

2.1. Digital Hammer Test



2.1 Digital Hammer Test

Benda Uji	SD - 150	SW - 50
Atas	21,5 Mpa	29 MPa
Sampling	22,5 MPa	25 MPa
Fc'	22 Mpa	27 Mpa



LAMPIRAN 3

DATA PENGUJIAN BEBAN SIKLIK

3.1.Benda Uji SW - 50

3.2.Benda Uji SD – 150



3.1 Benda Uji SW – 50

Data Uji Pembebanan Siklik

Urutan Pembebanan	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban Lateral (kg)
1.1	0.00	0.00	0
1.2	0.25	1.50	1070
1.3	0.00	0.00	0
1.4	-0.25	-1.50	-1281
1.5	0.00	0.00	0
1.6	0.25	1.50	1096
1.7	0.00	0.00	0
1.8	-0.25	-1.50	-1321
2.1	0.00	0.00	0
2.2	0.50	3.00	1804
2.3	0.00	0.00	0
2.4	-0.50	-3.00	-2415
2.5	0.00	0.00	0
2.6	0.50	3.00	1828
2.7	0.00	0.00	0
2.8	-0.50	-3.00	-2317
3.1	0.00	0.00	0
3.2	0.75	4.50	2458
3.3	0.00	0.00	0
3.4	-0.75	-4.50	-3244
3.5	0.00	0.00	0
3.6	0.75	4.50	2334
3.7	0.00	0.00	0
3.8	-0.75	-4.50	-2900
4.1	0.00	0.00	0
4.2	1.00	6.00	3056
4.3	0.00	0.00	0
4.4	-1.00	-6.00	-3762
4.5	0.00	0.00	0
4.6	1.00	6.00	2964
4.7	0.00	0.00	0



4.8	-1.00	-6.00	-3844
5.1	0.00	0.00	0
5.2	1.50	9.00	4270
5.3	0.00	0.00	0
5.4	-1.50	-9.00	-4465
5.5	0.00	0.00	0
5.6	1.50	9.00	4278
5.7	0.00	0.00	0
5.8	-1.50	-9.00	-4565
6.1	0.00	0.00	0
6.2	2.00	12.00	5218
6.3	0.00	0.00	0
6.4	2.00	12.00	5046
7.1	0.00	0.00	0
7.2	2.50	15.00	5892
7.3	0.00	0.00	0
7.4	2.50	15.00	5780
8.1	0.00	0.00	0
8.2	3.00	18.00	6766
8.3	0.00	0.00	0
8.4	3.00	18.00	6802
9.1	0.00	0.00	0
9	3.50	21.00	7274
10	4.00	24.00	7822
11	4.50	27.00	8500

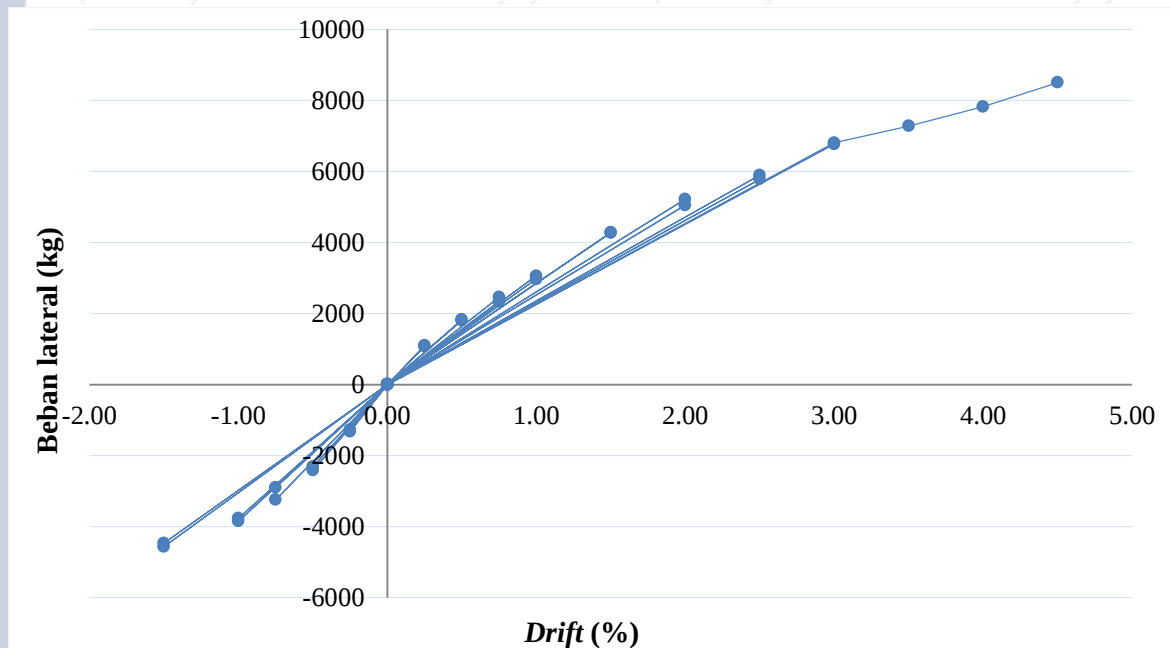
Tabel *Envelope* Hubungan Beban dengan Drift dan Simpangan

Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)
-1.50	-9.00	-4465
-1.00	-6.00	-3762
-0.75	-4.50	-3244
-0.50	-3.00	-2415
-0.25	-1.50	-1281
0	0	0
0.25	1.50	1070



0.50	3.00	1804
0.75	4.50	2458
1.00	6.00	3056
1.50	9.00	4270
2.00	12.00	5218
2.50	15.00	5892
3.00	18.00	6802
3.50	21.00	7274
4.00	24.00	7822
4.50	27.00	8500

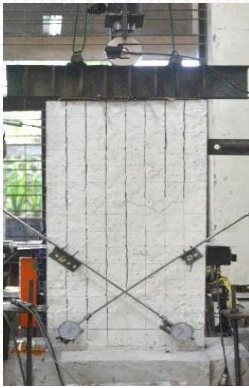
Berikut ini adalah rekapitulasi yang didapatkan dari pengujian siklik pada benda uji dengan dengan kondisi pada drift tertentu hanya menggunakan pembebanan satu arah. Dikarenakan kemampuan loadcell hanya 5 ton pada pembebanan lateral



Grafik Histerisis Hubungan Beban dengan Drift Benda Uji SW – 50 – 1.5

Visualisasi Eksperimental SW – 50

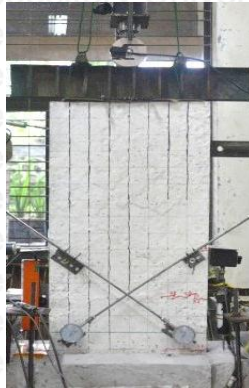
Drift 0.25%



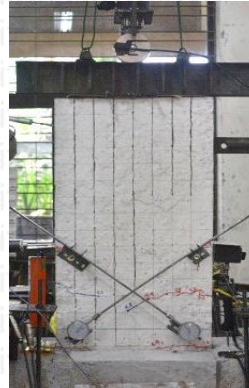
Drift 0.5%



Drift 0.75%



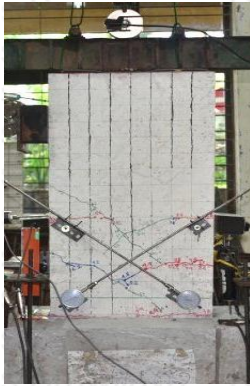
Drift 1%



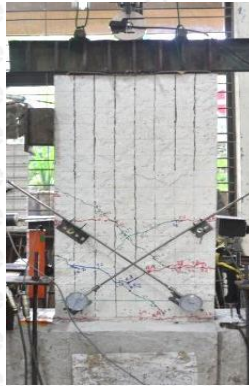
Drift 1.5%



Drift 2%



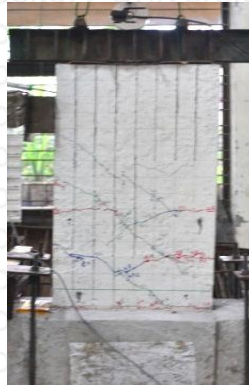
Drift 2.5%



Drift 3%



Drift 3.5%



Drift 4%



Drift 4.5%





3.2 Benda Uji SD – 150

Data Uji Pembebanan Siklik

Urutan Pembebanan	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban Lateral (kg)
1.1	0.00	0.00	0
1.2	0.25	1.50	596
1.3	0.00	0.00	0
1.4	-0.25	-1.50	-1500
1.5	0.00	0.00	0
1.6	0.25	1.50	590
1.7	0.00	0.00	0
1.8	-0.25	-1.50	-1528
2.1	0.00	0.00	0
2.2	0.50	3.00	1072
2.3	0.00	0.00	0
2.4	-0.50	-3.00	-3000
2.5	0.00	0.00	0
2.6	0.50	3.00	1128
2.7	0.00	0.00	0
2.8	-0.50	-3.00	-3187
3.1	0.00	0.00	0
3.2	0.75	4.50	1586
3.3	0.00	0.00	0
3.4	-0.75	-4.50	-4431
3.5	0.00	0.00	0
3.6	0.75	4.50	1595
3.7	0.00	0.00	0
3.8	-0.75	-4.50	-4314
4.1	0.00	0.00	0
4.2	1.00	6.00	1962
4.3	0.00	0.00	0
4.4	-1.00	-6.00	-4500
4.5	0.00	0.00	0
4.6	1.00	6.00	1980
5.1	0.00	0.00	0

5.2	1.50	9.00	2652
5.3	0.00	0.00	0
5.4	1.50	9.00	2704
6.1	0.00	0.00	0
6.2	2.00	12.00	3470
6.3	0.00	0.00	0
6.4	2.00	12.00	3562
7.1	0.00	0.00	0
7.2	2.50	15.00	4882
7.3	0.00	0.00	0
7.4	2.50	15.00	5052
8.1	0.00	0.00	0
8.2	3.00	18.00	5766
8.3	0.00	0.00	0
8.4	3.00	18.00	5962
9	3.50	21.00	6248
10	4.00	24.00	7080
11	4.50	27.00	7704
12	5.00	30.00	8330

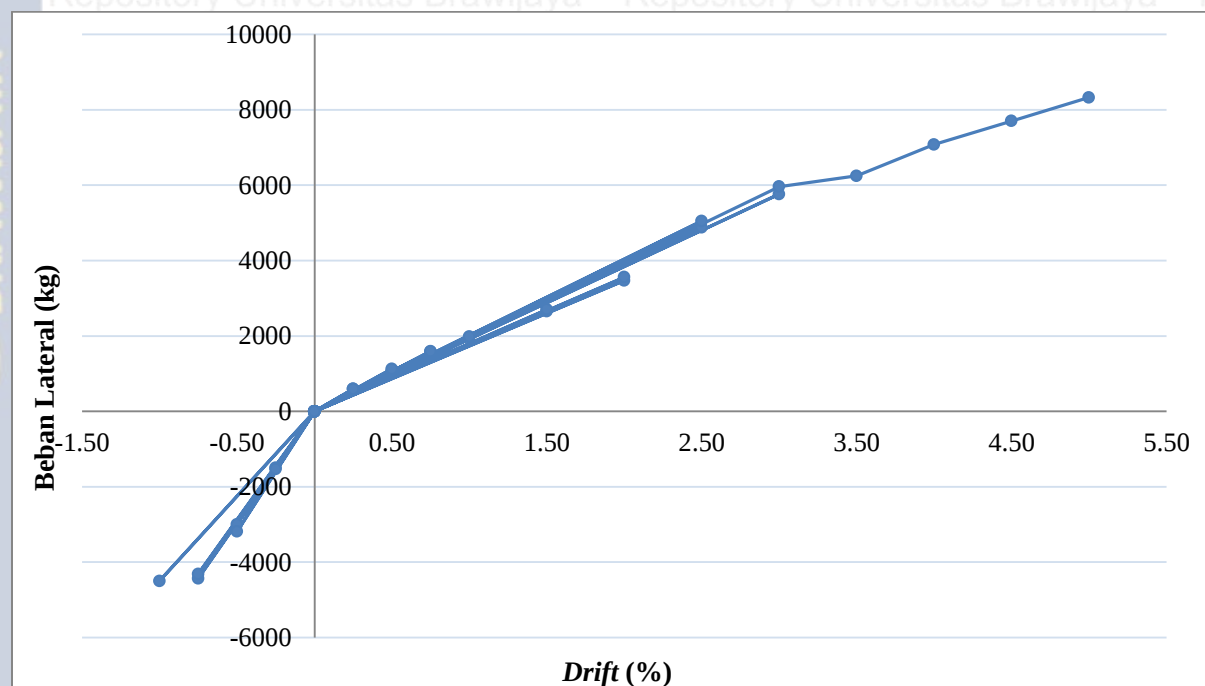
Tabel *Envelope* Hubungan Beban dengan *Drift* dan *Simpangan*

Drift (%)	Beban (kg)	Displacement (mm)
-1	-4500	-6
-0.75	-4431	-4.5
-0.5	-3187	-3
-0.25	-1528	-1.5
0	0	0
0.25	596	1.5
0.5	1128	3
0.75	1595	4.5
1	1980	6
1.5	2704	9



2	3562	12
2.5	5052	15
3	5962	18
3.5	6248	21
4	7080	24
4.5	7704	27
5	8330	30

Berikut ini adalah rekapitulasi yang didapatkan dari pengujian siklik pada benda uji dengan dengan kondisi pada *drift* tertentu hanya menggunakan pembebanan satu arah. Dikarenakan kemampuan *load cell* hanya 5 ton pada pembebanan lateral



Grafik Histerisis Hubungan Beban dengan Drift Benda Uji SD – 150 – 1.5

Visualisasi Eksperimental SD – 150

Drift 0.25%



Drift 0.5%



Drift 0.75%



Drift 1%



Drift 1.5%



Drift 2%



Drift 2.5%



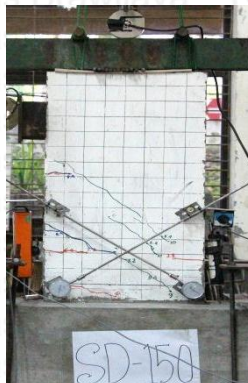
Drift 3%



Drift 3.5%



Drift 4%



Drift 4.5%



Drift 5%



LAMPIRAN 4

HASIL ANALISA DAKTILITAS DAN KEKAKUAN

4.1. Perhitungan Teoritis Metode Kurvatur

4.2. Perhitungan Daktilitas

4.3. Perhitungan Kekakuan



4.1 Perhitungan Teoritis Metode Kurvatur

Dikarenakan pada penelitian ini belum bisa diketahui penurunan beban yang terjadi sehingga belum bisa dipastikan perpindahan ultimit dan perpindahan lelehnya karena keterbatasan alat, maka untuk analisa digunakan perhitungan teoritis dengan metode kurvatur.

Perhitungan ini menggunakan bantuan program, dimana data yang diinput meliputi:

1. f'_c beton
2. f_y baja tulangan
3. f_u baja tulangan
4. Lebar dinding geser
5. Tinggi dinding geser
6. Diameter tulangan vertikal
7. Diameter tulangan horizontal
8. Jumlah lapisan baja tulangan
9. Jarak tulangan horizontal
10. Besar beban aksial
11. Letak beban aksial



A. Benda Uji SW – 50 (Aspek rasio 1.5)

Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

Kuat tekan beton : $f'_c = 27,00$ MPa

Tegangan leleh baja tulangan longitudinal : $f_y = 378,86$ MPa

Tegangan leleh baja tulangan transversal : $f_y = 378,86$ MPa

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

Lebar penampang dinding geser : $B = 80$ mm

Tinggi penampang dinding geser : $H = 400$ mm

Diameter baja tulangan longitudinal : $D = 8$ mm

Jumlah lapisan baja tulangan : 8

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

Lapisan ke-1 : $d_1 = 17,5$ mm

Lapisan ke-2 : $d_2 = 67,5$ mm

Lapisan ke-3 : $d_3 = 117,5$ mm

Lapisan ke-4 : $d_4 = 167,5$ mm

Lapisan ke-5 : $d_5 = 232,5$ mm

Lapisan ke-6 : $d_6 = 282,5$ mm

Lapisan ke-7 : $d_7 = 332,5$ mm

Lapisan ke-8 : $d_8 = 382,5$ mm

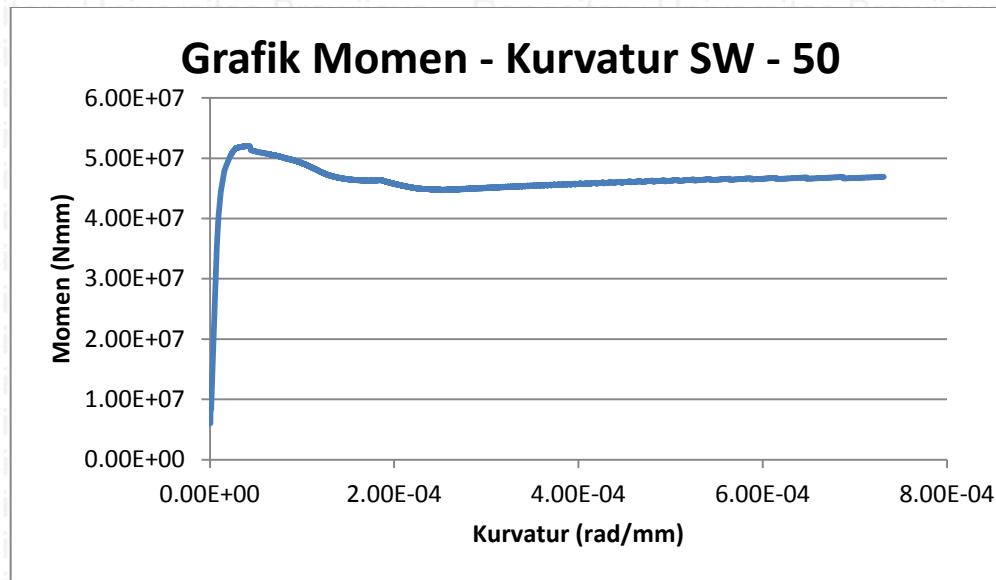
Diameter baja tulangan transversal : $D = 8,00$ mm

Jarak baja tulangan transversal : $s = 150$ mm

Besar beban aksial : $P = 30000$ N

Posisi beban aksial terhadap serat atas : 200 mm

Hasil perhitungan hubungan momen-kurvatur menggunakan program momen - kurvatur:



Grafik Momen – Kurvatur Benda Uji SW – 50 – 1.5

Dari grafik hubungan momen dan kurvatur diubah menjadi hubungan antara beban dan perpindahan agar grafik bisa dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen.

- Contoh Perhitungan Beban

- Beban saat *crack*

$$M_{cr} = 1.18 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_{cr}}{l} = \frac{(1.18)}{0.6} = 1.963473 \text{ ton}$$

- Beban saat leleh

$$M_y = 3.51 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_y}{l} = \frac{(3.51)}{0.6} = 5.85273 \text{ ton}$$

- Beban saat *ultimate*

$$M_u = 5.2 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_u}{l} = \frac{(5.2)}{0.6} = 8.66124 \text{ ton}$$

- Beban saat *fail*

$$M_f = 4.517658 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_f}{l} = \frac{(4.517658)}{0.6} = 7.52943 \text{ ton}$$



- Contoh perhitungan perpindahan

- Perpindahan saat *crack*

$$\phi_{cr} = 8.86 \times 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \times H \times \phi_{cr} = \frac{1}{2} \times 600 \times 8.86 \times 10^{-7} = 2.66 \times 10^{-4}$$

$$\Delta_{cr} = \theta_{cr} \times \frac{2}{3}H = 2.66 \times 10^{-4} \times \frac{2}{3} (600) = 0.106331 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *leleh*

$$\phi_y = 7.39 \times 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_y = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y = \frac{1}{2} \times 600 \times 7.39 \times 10^{-6} = 2.22 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_y = \theta_{cr} \times \frac{2}{3}H = 2.22 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) = 0.88732 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *ultimate*

$$\phi_u = 3.70 \times 10^{-5} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_u = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_u - \phi_y)(L_p)$$

$$= \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_u - \phi_y) \left(\frac{1}{2}H_y \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 600 \times 7.39 \times 10^{-6} + (3.70 \times 10^{-5} - 7.39 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2} \times 400 \right)$$

$$= 8.15 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_u = \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_u - \phi_y) \times L_p \times \left(H - \frac{L_p}{2} \right)$$

$$= 2.22 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (3.70 \times 10^{-5} - 7.39 \times 10^{-6}) \times 200 \times \left(600 - \frac{200}{2} \right)$$

$$= 3.851068 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *fail*

$$\phi_f = 2.18 \times 10^{-4} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_f = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_f - \phi_y)(L_p)$$

$$= \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_f - \phi_y) \left(\frac{1}{2}H_y \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 600 \times 7.39 \times 10^{-6} + (2.18 \times 10^{-4} - 7.39 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2} \times 400 \right)$$

$$= 4.42 \times 10^{-2}$$

$$\Delta_f = \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_f - \phi_y) \times L_p \times \left(H - \frac{L_p}{2} \right)$$

$$= 2.22 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (2.18 \times 10^{-4} - 7.39 \times 10^{-6}) \times 200 \times \left(600 - \frac{200}{2} \right)$$

$$= 4.42 \times 10^{-2}$$



$$= 21.89956 \text{ mm}$$

B. Benda Uji SD – 150 (Aspek rasio 1.5)

Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

Kuat tekan beton	:	f_c'	=	22,00	MPa
Tegangan leleh baja tulangan longitudinal	:	f_y	=	378,86	MPa
Tegangan leleh baja tulangan transversal	:	f_y	=	378,86	MPa
Tegangan ultimit baja tulangan	:	f_{su}	=	469,897	MPa
Lebar penampang dinding geser	:	B	=	80	mm
Tinggi penampang dinding geser	:	H	=	400	mm
Diameter baja tulangan longitudinal	:	D	=	8	mm
Jumlah lapisan baja tulangan	:	8			

Jarak baja tulangan masing-masing lapisan dari serat tekan:

Lapisan ke-1	:	d_1	=	17,5	mm
Lapisan ke-2	:	d_2	=	67,5	mm
Lapisan ke-3	:	d_3	=	117,5	mm
Lapisan ke-4	:	d_4	=	167,5	mm
Lapisan ke-5	:	d_5	=	232,5	mm
Lapisan ke-6	:	d_6	=	282,5	mm
Lapisan ke-7	:	d_7	=	332,5	mm
Lapisan ke-8	:	d_8	=	382,5	mm

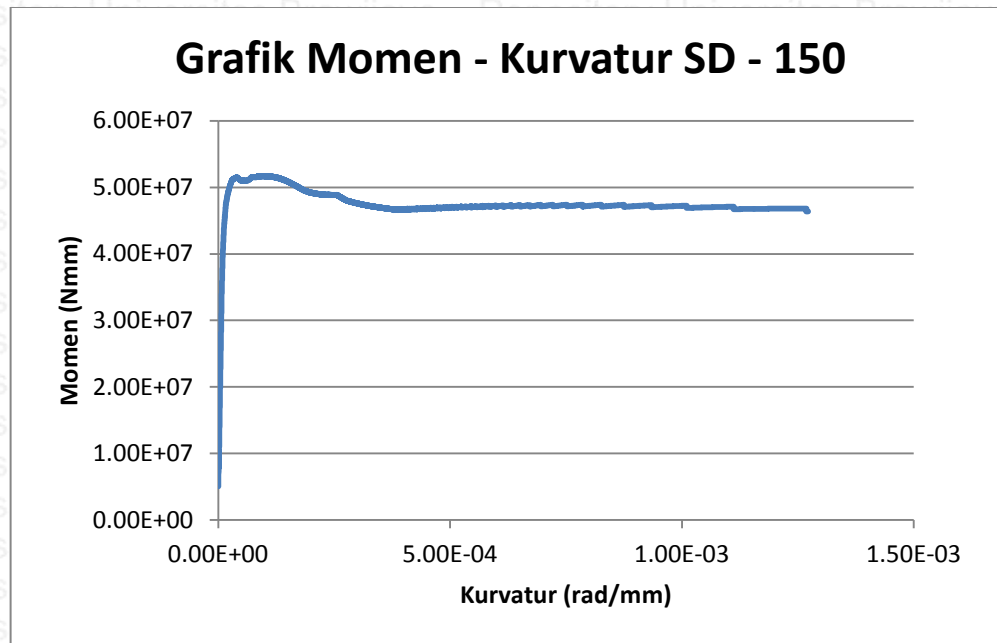
$$\text{Diameter baja tulangan transversal} : D = 11,314 \text{ mm}$$

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

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

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

Hasil perhitungan hubungan momen-kurvatur menggunakan program momen:



Grafik Momen – Kurvatur Benda Uji SD – 150 – 1.5

Dari grafik hubungan momen dan kurvatur diubah menjadi hubungan antara beban dan perpindahan agar grafik bisa dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen.

- Contoh Perhitungan Beban

- Beban saat *crack*

$$M_{cr} = 1.0387 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_{cr}}{l} = \frac{(1.0387)}{0.6} = 1.731167 \text{ ton}$$

- Beban saat *leleh*

$$M_y = 3.461654 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_y}{l} = \frac{(3.461654)}{0.6} = 5.769423 \text{ ton}$$

- Beban saat *ultimate*

$$M_u = 5.170839 \text{ tm}$$

$$\text{Beban (P)} = \frac{M_u}{l} = \frac{(5.170839)}{0.6} = 8.618065 \text{ ton}$$

- Beban saat *fail*

$$M_f = 4.638456 \text{ tm}$$



$$\text{Beban (P)} = \frac{Mf}{l} = \frac{(4.638456)}{0.6} = 7.73076 \text{ ton}$$

- Contoh perhitungan perpindahan

- Perpindahan saat *crack*

$$\phi_{cr} = 9.20 \times 10^{-7} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_{cr} = \frac{1}{2} \times H \times \phi_{cr} = \frac{1}{2} \times 600 \times 9.20 \times 10^{-7} = 2.76 \times 10^{-4}$$

$$\Delta_{cr} = \theta_{cr} \times \frac{2}{3}H = 2.76 \times 10^{-4} \times \frac{2}{3} (600) = 0.11036694 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *leleh*

$$\phi_y = 7.68 \times 10^{-6} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_y = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y = \frac{1}{2} \times 600 \times 7.68 \times 10^{-6} = 2.30 \times 10^{-3}$$

$$\Delta_y = \theta_y \times \frac{2}{3}H = 2.30 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) = 0.92102424 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *ultimate*

$$\phi_u = 9.56 \times 10^{-5} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_u = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_u - \phi_y)(L_p)$$

$$= \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_u - \phi_y) \left(\frac{1}{2}H_y \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 600 \times 7.68 \times 10^{-6} + (9.56 \times 10^{-5} - 7.68 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2} \times 400 \right)$$

$$= 1.99 \times 10^{-2}$$

$$\Delta_u = \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_u - \phi_y) \times L_p \times \left(H - \frac{L_p}{2} \right)$$

$$= 2.30 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (9.56 \times 10^{-5} - 7.68 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600$$

$$- \frac{200}{2})$$

$$= 9.71564904 \text{ mm}$$

- Perpindahan saat *fail*

$$\phi_f = 3.28 \times 10^{-4} \text{ 1/mm}$$

$$\theta_f = \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_u - \phi_y)(L_p)$$

$$= \frac{1}{2} \times H \times \phi_y + (\phi_f - \phi_y) \left(\frac{1}{2}H_y \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 600 \times 7.68 \times 10^{-6} + (9.56 \times 10^{-5} - 7.68 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2} \times 400 \right)$$

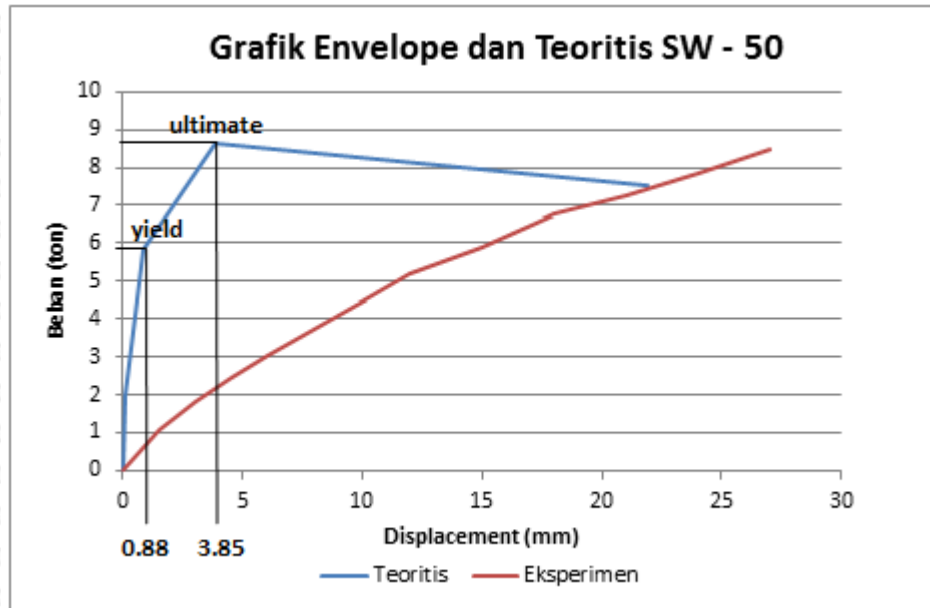
$$= 6.64 \times 10^{-2}$$

$$\Delta_f = \theta_y \times \frac{2}{3}H + (\phi_u - \phi_y) \times L_p \times \left(H - \frac{L_p}{2} \right)$$

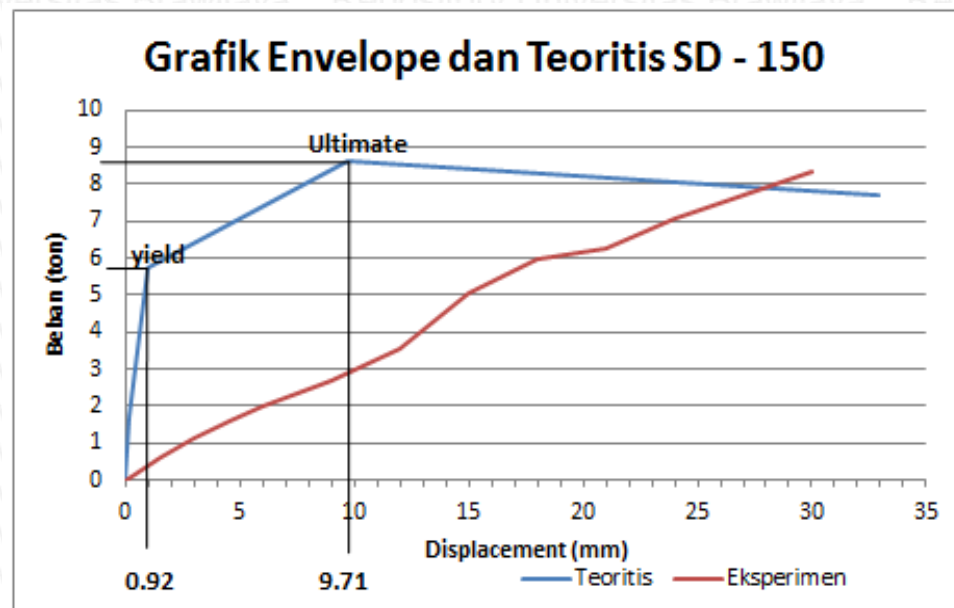


$$= 2.30 \times 10^{-3} \times \frac{2}{3} (600) + (3.28 \times 10^{-4} - 7.68 \times 10^{-6}) \times 200 \times (600 - \frac{200}{2})$$

$$= 32.953504 \text{ mm}$$



Grafik Perbandingan Momen – Kurvatur dan Eksperimen Benda Uji SW – 50 – 1.5



Grafik Perbandingan Momen – Kurvatur dan Eksperimen Benda Uji SD – 150 – 1.5



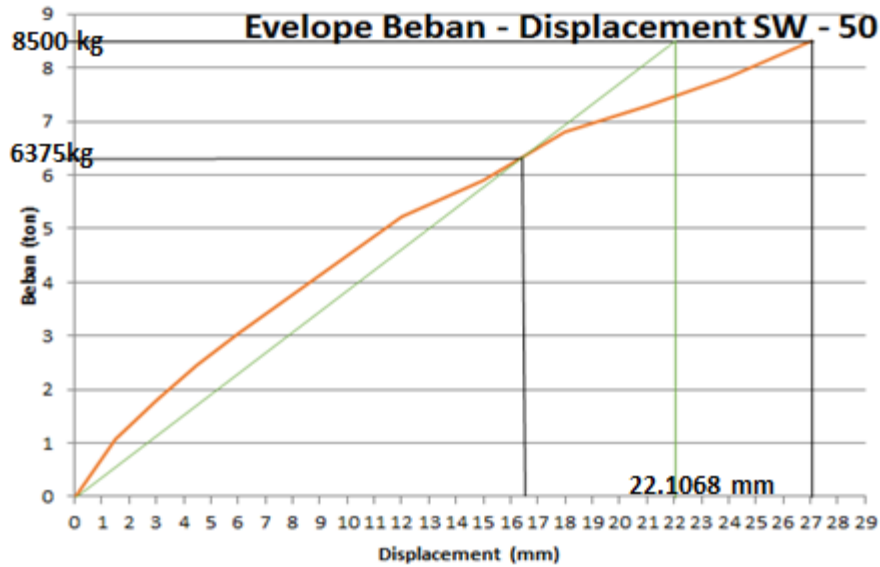
4.2 Perhitungan Daktilitas

Daktilitas perpindahan atau *displacement ductility* didapatkan dari grafik hubungan antara beban lateral dengan *displacement*. Daktilitas perpindahan didapatkan dengan analisis eksperimen dan analisis teoritis dengan menggunakan metode momen - kurvatur.

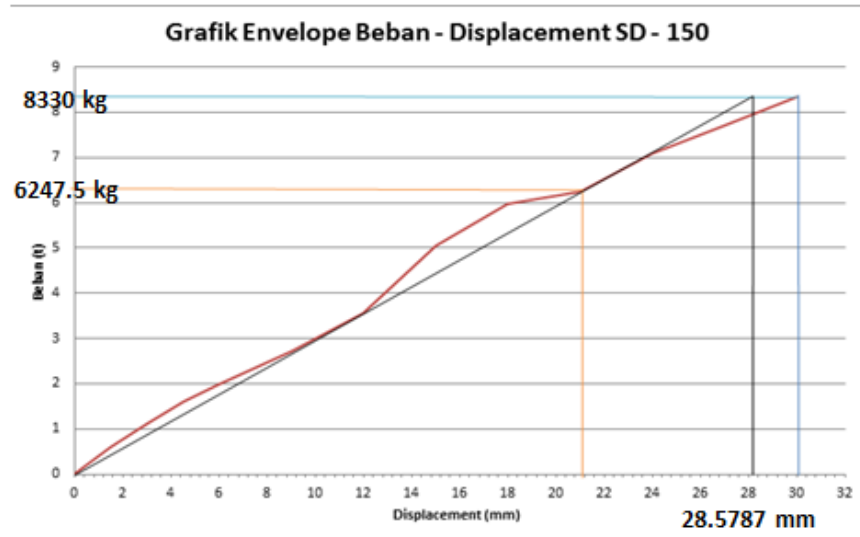
$$\Delta \mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Cara menentukan nilai dari daktilitas perpindahan:

1. Buatlah garis yang menyentuh titik pada saat beban max pada sumbu x dan sumbu y.
2. Nilai di sumbu x pada saat beban max adalah Δ_{maks} .
3. Buatlah garis yang menyentuh titik pada saat beban penetrasi leleh sebesar 75% beban maksimum pada sumbu x dan sumbu y.
4. Tarik garis dari (0,0) hingga bersinggungan dengan point II kemudian teruskan garis hingga bersinggungan dengan point I.
5. Tarik garis ke arah bawah hingga bersinggungan untuk menentukan Δy kemudian baca nilai perpindahannya.
6. Nilai daktilitas didapatkan dengan cara membagi nilai Δ_{maks} dengan nilai Δy .



Grafik Daktilitas Perpindahan Benda Uji SW – 50 – 1.5



Grafik Daktilitas Perpindahan Benda Uji SD – 150 – 1.5

Contoh perhitungan daktilitas perpindahan dari hasil eksperimen:

- Daktilitas perpindahan SW – 50 – 1.5

$$\Delta y = 22.1068 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 27 \text{ mm}$$



$$\Delta\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{27}{22.1068} = 1.2213$$

- Daktilitas perpindahan SD – 150 – 1.5

$$\Delta y = 28.5787 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 30 \text{ mm}$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{30}{28.5787} = 1.0497$$

Cara menentukan nilai dari daktilitas perpindahan dengan metode momen - kurvatur adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai perpindahan ultimit dan perpindahan leleh dari perhitungan teoritis metode momen - kurvatur.
2. Hitung nilai $\Delta\mu$

Contoh perhitungan daktilitas perpindahan metode momen - kurvatur:

- Daktilitas perpindahan SW – 50 (Aspek rasio 1.5)

$$\Delta y = 0.88732 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 3.851068 \text{ mm}$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{3.851068}{0.88732} = 4.340112$$

- Daktilitas perpindahan SD – 150 (Aspek rasio 1.5)

$$\Delta y = 0.92102424 \text{ mm}$$

$$\Delta u = 9.71564904 \text{ mm}$$

$$\Delta\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{9.71564904}{0.92102424} = 10.5487$$



4.3 Perhitungan Kekakuan

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan atau merupakan rasio antara beban dengan perpindahan kolom.

Rumus umum kekakuan adalah:

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

Dimana:

k = Kekakuan struktur (kg/m)

P = Beban yang terjadi (kg)

x = Deformasi searah beban (m)

Pada penelitian ini nilai kekakuan didapatkan dengan analisis menggunakan metode *secant stiffness* dan *tangential stiffness*.

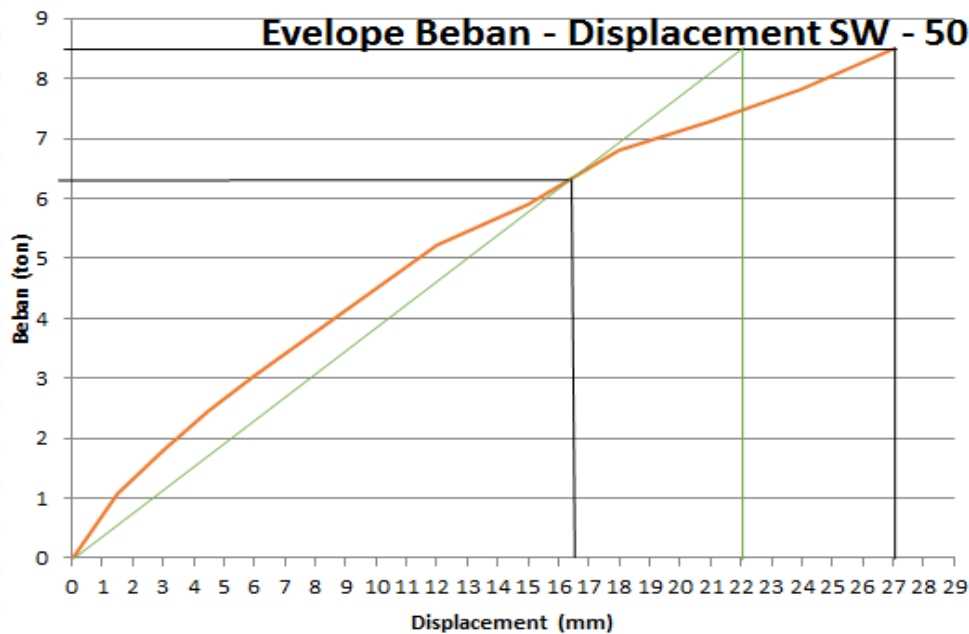
Cara menentukan nilai kekakuan dengan menggunakan metode *secant stiffness* adalah sebagai berikut:

1. Buatlah garis yang menyentuh titik pada saat beban max pada sumbu x dan sumbu y.
2. Buatlah garis yang menyentuh titik pada saat beban penetrasi leleh sebesar 75% beban maksimum pada sumbu x dan sumbu y.
3. Tarik garis dari (0,0) hingga bersinggungan dengan point II kemudian teruskan garis hingga bersinggungan dengan point I.
4. Tarik garis ke arah bawah hingga bersinggungan untuk menentukan Δ (perpindahan) kemudian baca nilai perpindahannya.
5. Secant stiffness adalah perbandingan antara garis miring dari proses di atas dan perpindahan.

1. Kekakuan SW – 50 (Aspek rasio 1.5)

$$\text{Sec } a = (8500/22.1068)$$

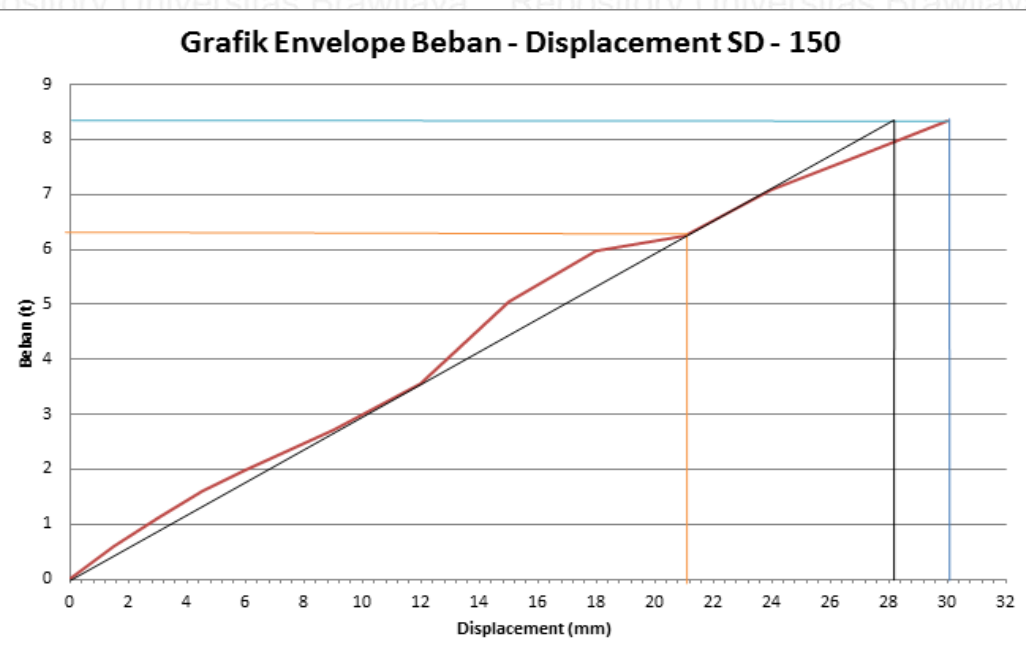
$$\text{Sec } a = 384.497 \text{ kg/mm}$$



2. Kekakuan SD – 150 (Aspek rasio 1.5)

$$\text{Sec } a = (8330/28.5787)$$

$$\text{Sec } a = 291.476 \text{ kg/mm}$$





Cara menentukan nilai kekakuan dengan menggunakan metode *tangential stiffness* adalah sebagai berikut:

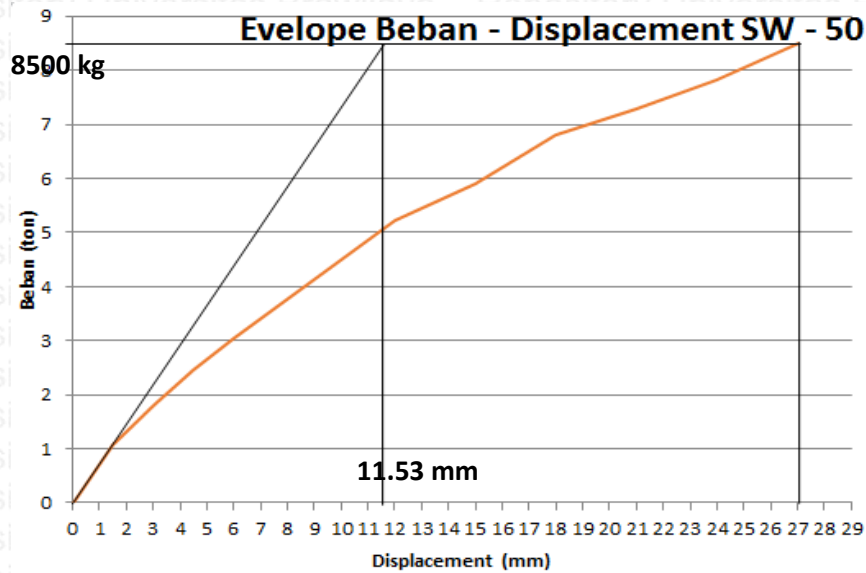
1. Buat garis yang menyentuh titik pada saat beban maksimum pada sumbu x dan sumbu y .
2. Tarik garis linear dari titik koordinat $(0,0)$ mengikuti bentuk garis diagram yang lurus tanpa ada pola garis lengkung yang tidak sejajar dengan garis mula-mula. Kemudian lanjutkan garis tersebut hingga bersinggungan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



1. Kekakuan SW – 50 (Aspek rasio 1.5)

$$tg a = (8500/11.53)$$

$$tg a = 737.2073 \text{ kg/mm}$$

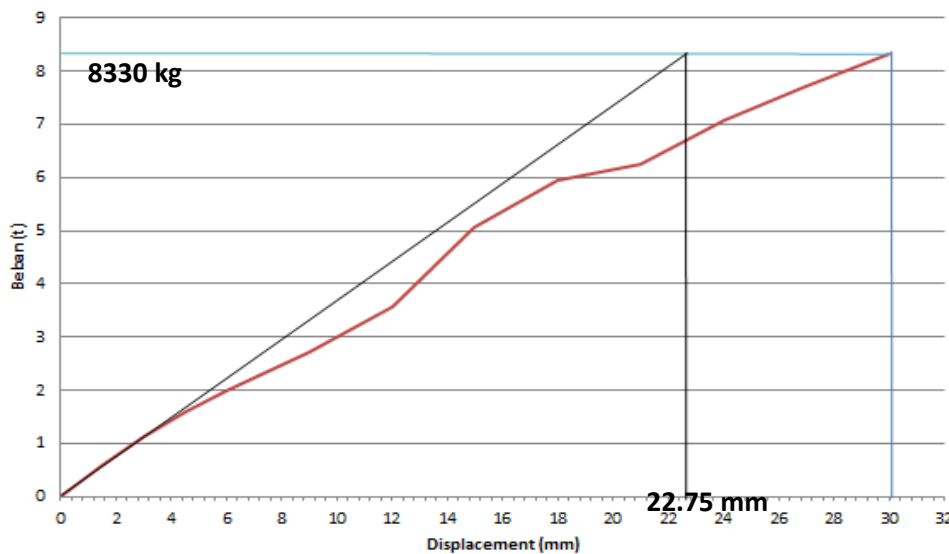


2. Kekakuan SD – 50 (Aspek rasio 1.5)

$$tg a = (8330/22.75)$$

$$tg a = 366.153 \text{ kg/mm}$$

Grafik Envelope Beban - Displacement SD - 150



LAMPIRAN 5

DOKUMENTASI PENGUJIAN

5.1. Gambar Alat dan Bahan

5.2. Pengujian Digital Hammer Test

5.3. Pengujian Siklik

5.1. Gambar Alat dan Bahan



Waterpass dan Meteran



Palu



Tali



Bor Listrik



Baja WF



Kunci inggris, mur, obeng, dan baut



Hydraulic Forklift



Baja Pengekang



Digital Hmmer Test



Loading Frame



Hydraulic Jack





Load Cell dan Pembacanya



LVDT dan Dial Gauge

5.2. Pengujian Digital Hammer Test



Pengujian Digital Hammer Test pada Dinding Geser

5.3. Pengujian Siklik



Pengujian Beban Siklik Benda Uji Dinding Geser