

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat serta kasih-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Aspek Rasio (H_w/L_w) Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar di bawah Pembebanan Siklik (Quasi-Static)”**. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada program S-1 di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk lebih menyempurnakan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan banyak pihak. Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Allah SWT segala kasih dan karunia-Nya yang telah diberikan, terutama kesehatan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- Teristimewa kepada Amir Hamzah Rangkuti, Poni Lastri, Novia Syaputri dan seluruh keluarga yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, serta dukungan materi kepada penulis.
- Ir. Sugeng P. Budio selaku ketua jurusan Teknik Sipil, MS dan Dr.Eng. Indradi W., ST., M.Eng.(Prac.) selaku ketua program studi S1.
- Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D dan Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang dengan sabar telah membimbing, membantu, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
- Teman seperjuangan skripsi *“Squat Shear Wall Team”* Vivi, Louce, Ayu Feb, Nida.
- Pak Indradi, Pak Nanda, Pak sugeng, Pak Hadi, Mas Dino dan seluruh staff laboratorium Bahan Konstruksi dan Struktur yang telah membantu selama penelitian dan juga seluruh staff *recording* yang telah membantu proses administrasi.
- Tim peneliti dinding geser sebelumnya, Mas Yehuda, Mas Jackson, Mas Aldi, Mas Jogi, Mas Andrew dan Mas Jonathan.

- “EZ” Louce, Hanna, Yiyin, Bondan, Dewa, Erick, Emil, Fachreza, Gunawan dan Iqbal yang bersedia membantu disegala kondisi dan menyemangati sampai akhir.
- Sahabat tersayang “PUFF” Cut, Chanti, Sarach, Kartika, Ovi, Dwi, Ladies, Lucky, Dhea.
- Idha, Syamira, Fiva, Chusna, Afni, Rini, AMED 37 IMPALA UB, serta senior-senior yang telah memberikan pengalaman berharga semasa perkuliahan.
- Teman 4 tahun seatap, Ike dan Meita atas dukungan serta perhatian yang diberikan.
- Ito, Radja, Akbar, Iwan, Chandra, Ridho, Surya, teman-teman sipil 2013 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu sipil dan bagi siapa saja yang memerlukan.

Malang, 21 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dinding Geser	5
2.1.1 Pengertian Dinding Geser	5
2.1.2 Jenis Dinding Geser	6
2.1.3 Parameter yang Mempengaruhi Dinding Geser	8
2.2 Beban Siklik	11
2.3 Retak pada Struktur Beton Bertulang	13
2.3.1 Pengertian Retak	13
2.3.2 Lebar Retak Izin	13
2.3.3 Pengendalian terhadap Lebar Retak	15
2.4 Keruntuhan Struktur Beton Bertulang	16
2.5 Momen Kapasitas	18
2.6 Pola Keruntuhan Dinding Geser	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan	23
3.3 Tahapan Penelitian	25
3.4 Rancangan Penelitian	26

3.4.1	Benda Uji	26
3.4.2	Jumlah Benda Uji	26
3.5	Prosedur Penelitian	27
3.5.1	Persiapan.....	27
3.5.2	<i>Setting Up</i>	27
3.5.3	Beban Rencana	28
3.5.4	Pelaksanaan Pengujian Siklik.....	28
3.6	Variabel Penelitian.....	29
3.7	Data Pengamatan	29
3.8	Analisis Hasil	30
3.9	Hipotesa Penelitian	32
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Hasil Pengujian Benda Uji.....	33
4.1.1	<i>Hammer Test</i>	33
4.2	Kapasitas Dinding Geser	34
4.3	Hasil Pengujian Semi Siklik	35
4.3.1	Benda Uji SW-50-1,5	35
4.3.2	Benda Uji SD-300-1,5.....	44
4.4	Panjang Retak	53
4.4.1	Benda Uji SW-50-1,5.....	53
4.4.2	Benda Uji SD-300-1,5.....	57
4.5	Perbandingan Benda Uji	59
4.5.1	Benda Uji SW-50-1,5 dengan SD-300 Aspek Ratio 1,5.....	59
4.5.2	Benda Uji SD-300 Aspek Ratio 1,5 dengan SD-300 Aspek Ratio 2,0	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
LAMPIRAN		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Lebar Retak Ijin Maksimum.....	15
Tabel 3.1 Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi.....	31
Tabel 3.2 Form Data Hasil Pengamatan Pola Retak	32
Tabel 4.1 Pembacaan Mutu Beton menggunakan <i>Digital Hammer Test</i>	33
Tabel 4.2 Kapasitas Teoritis Dinding menggunakan Analisis Diagram Interaksi	34
Tabel 4.3 Spesifikasi Benda Uji SW-50-1,5	36
Tabel 4.4 Kapasitas Benda Uji SW-50-1,5	36
Tabel 4.5 Spesifikasi Benda Uji SD-300-1,5	45
Tabel 4.6 Kapasitas Benda Uji SD-300-1,5	45
Tabel 4.7 Panjang dan Jenis Retak Sisi Depan Benda Uji SW-50-1,5.....	53
Tabel 4.8 Panjang dan Jenis Retak Sisi Belakang Benda Uji SW-50-1,5.....	55
Tabel 4.9 Panjang dan Jenis Retak Sisi Depan Benda Uji SD-300-1,5	57
Tabel 4.10 Panjang dan Jenis Retak Sisi Belakang Benda Uji SD-300-1,5.....	58
Tabel 4.11 Perbandingan Benda Uji SW-50-1,5 dengan SD-300-1,5.....	59
Tabel 4.12 Perbandingan Benda Uji SD-300-1,5 dengan SD-300-2,0.....	62

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1</i> Dinding Geser Beton Bertulang pada Bangunan	5
<i>Gambar 2.1</i> Diagram Kuat Tekan Beton terhadap Umur Beton.....	6
<i>Gambar 2.3</i> Jenis Dinding Geser Berdasarkan Geometrinya, (a) <i>Squat shear wall</i> ; (b) <i>Slender or flexural shear wall</i> ; (c) <i>Coupled shear wall</i>	7
<i>Gambar 2.4</i> Kurva Eksperimental dan Model yang Diusulkan dari <i>Hysteresis Loop</i> untuk <i>Failure Zone</i>	12
<i>Gambar 2.5</i> Diagram Momen-Kurvatur Balok Beton Bertulang yang mengalami Tarik ...	17
<i>Gambar 2.6</i> Diagram Interaksi pada Kolom	19
<i>Gambar 2.7</i> Model keruntuhan <i>squat wall</i>	22
<i>Gambar 3.1</i> Diagram Alir Penelitian	25
<i>Gambar 3.2</i> Tampak atas (a) SW-50-1,5 ; (b) benda uji SD-300-1,5	26
<i>Gambar 3.3</i> Tampak depan (a) SW-50-1,5 ; (b) SD-300-1,5.....	26
<i>Gambar 3.4</i> Skema pengujian	28
<i>Gambar 3.5</i> Siklus Pembebanan Lateral berdasarkan <i>Drift</i>	29
<i>Gambar 3.6</i> Hubungan Beban (P) dengan Deformasi (Δ)	31
<i>Gambar 4.1</i> <i>Hammer Test</i>	33
<i>Gambar 4.2</i> Analisis Kolom.....	34
<i>Gambar 4.3</i> <i>Envelope P-Drift</i> Benda Uji SW-50-1,5	36
<i>Gambar 4.4</i> Tahapan Retak Benda Uji SW-50-1,5.....	37
<i>Gambar 4.5</i> <i>Envelope P-Drift</i> Spesimen SD-300-1,5	45
<i>Gambar 4.6</i> Tahapan Retak Benda Uji SD-300-1,5.....	46
<i>Gambar 4.7</i> <i>Envelope P-Drift</i> Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5.....	60
<i>Gambar 4.8</i> Retak Akhir SW-50-1,5 dan SD-300-1,5	61
<i>Gambar 4.9</i> <i>Envelope P-Drift</i> Benda Uji SD-300-1,5 dan SD-300-2,0.....	63
<i>Gambar 4.10</i> Retak Akhir SD-300-1,5 dan SD-300-2,0.....	63

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I DESAIN AWAL	71
1.1 Uji Tarik Baja Tulangan	72
1.2 Perhitungan Teoritis Benda Uji SW-50-1,5.....	80
1.3 Perhitungan Teoritis Benda Uji SD-300-1,5.....	91
LAMPIRAN 2 DATA PENGUJIAN SIKLIK	102
2.1 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SW-50-1,5	103
2.2 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SD-300-1,5	110
LAMPIRAN 3 DOKUMENTASI PENELITIAN	116
3.1 Alat.....	117
3.2 Pengujian Beban Lateral Siklik	119

RINGKASAN

Ayu Saputri, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Pengaruh Aspek Rasio (H_w/L_w) terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar dibawah Pembebanan Siklik (Quasi-Statis)*, Dosen Pembimbing : Ari Wibowo dan Sugeng P. Budio.

Dinding geser adalah dinding yang berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai ke pondasi dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan dinding geser adalah aspek rasio. Aspek rasio yaitu perbandingan tinggi dan lebar pada dinding geser. Dengan aspek rasio yang lebih kecil diharapkan penelitian ini mendapat kekuatan yang lebih besar dengan biaya yang lebih murah.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dinding geser dengan pembebanan siklik. Dinding geser dibebani sampai pada *drift* yang ditentukan. Selama pengujian dinding geser diberikan beban aksial sebesar 3000 kg. *Drift* yang diinginkan adalah mulai dari 0-5%. Pada interval 0-1% *drift* dinaikkan sebesar 0,25%. Kemudian pada *drift* 1-5% dinaikkan sebesar 0,5%. Pengujian dilakukan 2 siklus setiap *drift*. Kemudian data-data yang dicatat adalah beban lateral, *drift* dan pola retak.

Hasil pengujian pada dinding geser SW-50-1,5 beban lateral maksimum yang dapat ditahan adalah sebesar 8500 kg dengan momen ultimate sebesar 5100 kgm dan momen retak sebesar 1390 kgm. Untuk dinding geser SD-300-1,5 beban lateral maksimum yang dapat ditahan adalah sebesar 6972 kg dengan momen ultimate sebesar 4183,20 kgm dan momen retak sebesar 2139 kgm. Tetapi beban lateral yang dapat ditahan bukan dalam keadaan beban maksimum dan hanya dari salah satu sisi saja yang dapat dicapai benda uji karena peralatan yang tidak memadai. Untuk selanjutnya demi mencapai hasil yang lebih maksimal dapat menggunakan alat yang memadai. Pola retak yang terjadi pada ketiga benda uji adalah retak lentur dan retak geser, yang membedakannya adalah penyebaran retak tersebut pada masing-masing benda uji.

Kata kunci: Dinding geser, *drift*, momen ultimate, momen retak, pola retak

SUMMARY

Ayu Saputri, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2017, *The Effect of Aspect Ratio (H_w/L_w) on Crack Pattern and Moment Capacity of Shear Wall with Widely Spaced Horizontal Reinforcement Subjected to Cyclic Loading (Quasi-Static)*, Academic Supervisor : Ari Wibowo dan Sugeng P.Budio

Shear wall is a wall that acts as a continuous stiffener to the foundation and is also the core wall for stiffener to entire buildings designed to withstand shear forces, lateral forces caused by earthquakes. One of the parameters that effect the strength of the shear wall is the aspect ratio. Aspect ratio is the ratio of height and width of the shear wall. With a smaller aspect ratio it is hoped that this study will gain greater strength at a cheaper cost.

In this research, shear wall tested with cyclic loading. The shear wall is loaded up to the specified drift. During testing an axial load of 3000 kg is given. The desired drift is ranging from 0-5%. At 0-1% drift interval increased by 0.25%. Then at 1-5% drift increased by 0.5%. The test is done 2 cycles per drift. Then the data recorded are lateral load, drift and crack pattern.

The test results on the SW-50-1.5 shear wall of the maximum lateral load that can be hold is 8500 kg with the ultimate moment of 5100 kgm and the crack moment of 1390 kgm. For SD-300-1.5 shear wall the maximum lateral load that can be hold is 6972 kg with the ultimate moment of 4183.20 kgm and crack moment of 2139 kgm. But the retained lateral load is not in the maximum load state and only from one side that the test specimen can attain because of inadequate equipment. For the next in order to achieve maximum results can use an adequate tool. Crack patterns that occur in all three specimens are flexible cracking and shear fracture, which distinguishes them from spreading the cracks on each specimen.

Keyword : Shearwall, drift, ultimate moment, crack moment, crack pattern

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu struktur bangunan bertingkat tinggi, bangunan tersebut harus mampu memikul beban-beban yang bekerja, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi meliputi beban mati dan beban hidup pada struktur, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa. Di Indonesia gempa bumi cukup sering terjadi, hal ini disebabkan karena secara geologis Indonesia terletak pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik besar yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik dan lempeng Hindia-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng Philipina (Setyonegoro et al., 2012).

Tujuan desain tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut (UBC, 1997) :

1. Pada gempa kecil, tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada bangunan;
2. Pada gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan non-struktural, tetapi bukan merupakan kerusakan struktural;
3. Pada gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non-struktural, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Dinding geser (*shear wall*) adalah dinding yang berfungsi sebagai pengaku yang menerus sampai ke pondasi dan juga merupakan dinding inti untuk memperkaku seluruh bangunan yang dirancang untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dinding geser pada umumnya bersifat kaku, sehingga *deformasi* (lendutan) horizontal menjadi kecil (Agus, 2002). Pada aplikasi di lapangan *shear wall* sering ditempatkan dibagian ujung dalam fungsi suatu ruangan, ataupun memanjang di tengah searah tinggi bangunan berfungsi untuk menahan beban angin ataupun beban gempa yang ditransfer melalui struktur portal ataupun struktur lantai. Sehingga, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser pada bangunan.

Dinding geser adalah sistem yang direncanakan sebagai ketahanan lateral yang efektif terhadap gempa dan beban angin. Pada gedung-gedung bertingkat hingga rumah untuk

meningkatkan keamanan, kestabilan dan kekokohan, dinding geser mampu berfungsi sebagai sistem tahanan lateral. Pada saat beban lateral diterapkan pada dinding geser, dengan adanya struktur dinding geser yang kuat dan kaku dapat menahan beban pelat yang ada diatas sehingga apabila struktur runtuh dapat secara bertahap dan dapat dilakukan evakuasi terhadap pengguna bangunan.

Salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan dinding geser adalah aspek rasio. Aspek rasio yaitu perbandingan tinggi dan lebar pada dinding geser. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terhadap variasi aspek rasio, pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar yang berkaitan dengan pola retak dan momen kapasitas pada dinding geser.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada perencanaannya, dinding geser harus memiliki sifat yang kuat dalam menahan beban lateral. Semakin kaku dinding geser yang direncanakan maka jumlah dan diameter tulangan semakin banyak sehingga mempengaruhi biaya pembuatan struktur dinding geser. Sebelumnya penelitian mengenai dinding geser telah dilakukan oleh Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dengan judul "*Seismic Performance Of Lightly Reinforces Walls Of Design Purposes*", yang kemudian dilanjutkan penelitian oleh Yehuda, dkk tentang variasi dalam pembuatan dinding geser terhadap jumlah dan diameter tulangan agar mendapat kekuatan maksimal namun tetap efisien. Pada penelitian kali ini lebih ditekankan pada variasi aspek rasio, yaitu perbedaan pada rasio tinggi dan lebar pada dinding geser. Dimana pada penelitian sebelumnya menggunakan aspek rasio 2 yang akan dibandingkan dengan aspek rasio 1,5 dengan uji pembebanan siklik pada penelitian ini.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah penelitian ini, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perbandingan aspek rasio pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar terhadap pola retak dan momen kapasitas?
2. Bagaimana pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser beraspek rasio sama terhadap pola retak dan momen kapasitas?

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan luar diabaikan;
2. Benda uji berupa dinding geser tinggi (H_w) 600 mm dari tinggi keseluruhan (H) 750 mm; tinggi pondasi 350 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 vertical (ρ_v) sebesar 2,44%; rasio tulangan horizontal (ρ_h) sebesar 0,21%;
3. Mutu beton yang digunakan $f'_c = 20$ MPa;
4. Semen yang digunakan adalah PPC tipe 1;
5. Pengujian dilakukan pada saat beton pada dinding geser telah berumur 28 hari atau lebih;
6. Dinding geser diasumsikan terjepit penuh pada bagian bawah dan ujung bebas (dinding kantilever);
7. Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perbandingan aspek rasio pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar terhadap pola retak dan momen kapasitas
2. Mengetahui pengaruh jarak tulangan horizontal pada dinding geser beraspek rasio sama terhadap pola retak dan momen kapasitas

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dari hasil penelitian dapat memberikan gambaran terhadap perilaku yang akan terjadi pada dinding geser dengan pembebanan siklik;
2. Dengan diketahuinya kemampuan elemen struktur terhadap variasi aspek rasio, sehingga dapat dijadikan pertimbangan terhadap pembangunan dengan *cost* yang besar;
3. Dapat digunakan sebagai referensi oleh penulis, pembaca, dan pengusaha maupun pengembang sebagai bahan pertimbangan untuk perencanaan dinding geser pada pembangunan gedung dan rumah;

4. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang akan meneliti lebih lanjut tentang penelitian ini.

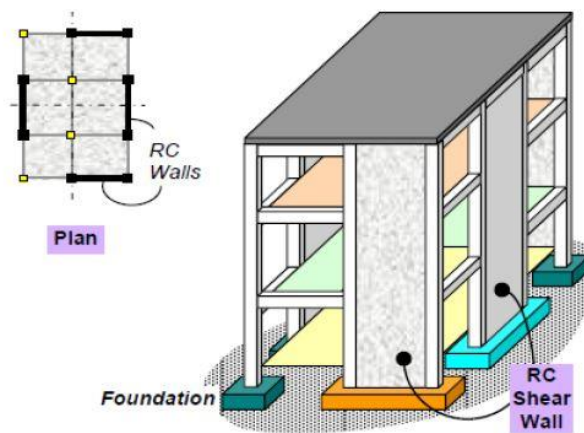
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Geser

2.1.1 Pengertian Dinding Geser

Dinding geser merupakan bagian dari struktur bangunan yang berfungsi sebagai penahan lateral bangunan bertingkat tinggi. Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.



Gambar 2.1 Dinding Geser Beton Bertulang pada Bangunan

Sumber: C.V.R Murty (2005)

Dinding geser (*shearwall*) adalah unsur pengaku vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan. Dinding geser dengan lebar yang besar akan menghasilkan daya tahan lentur dan geser yang sangat tinggi dan merupakan sistem struktur yang paling rasional dengan memanfaatkan sifat-sifat beton bertulang. Dinding geser adalah dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar, yang ditempatkan pada lokasi tertentu (ruang lift atau tangga) untuk menyediakan tahanan gaya/beban horizontal (Pranata dan Yunizar, 2011).

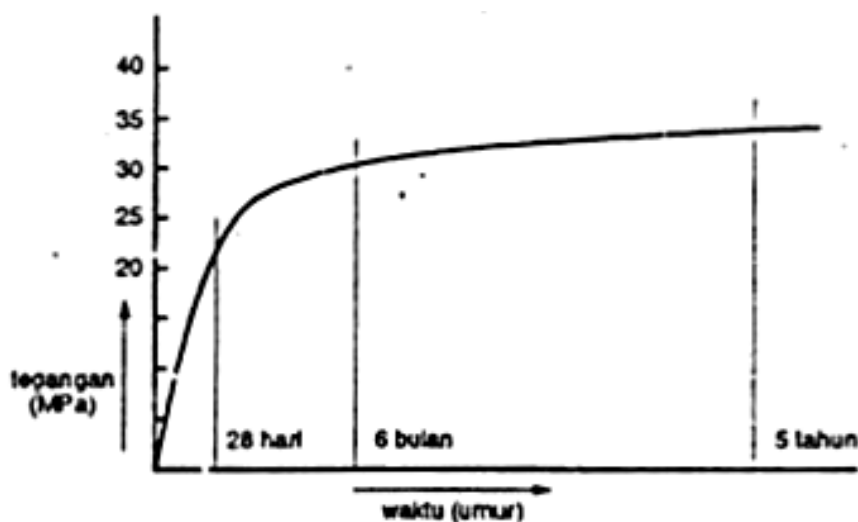
Berdasarkan SNI 03-2847-2002, dinding geser adalah komponen struktur yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya-gaya lateral.

Dinding geser sebagai dinding struktural dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu dinding struktural beton biasa dan dinding struktural beton khusus.

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

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

Beton sebagai bahan pembentuk dinding geser perlu memperhatikan kuat tekan dari beton. Kuat tekan merupakan kekuatan maksimum yang dapat dipikul beton persatuan luas. Kuat tekan beton normal berkisar antara 20-40 Mpa. Kuat tekan beton dianggap mencapai sempurna setelah beton berumur 28 hari. Saat mencapai umur 28 hari kuat tekan beton akan bertambah secara linear dan setelah 28 hari akan mengalami kenaikan yang relatif kecil secara konstan.



Gambar 2.1 Diagram Kuat Tekan Beton terhadap Umur Beton

Sumber: Dipohusodo (1994)

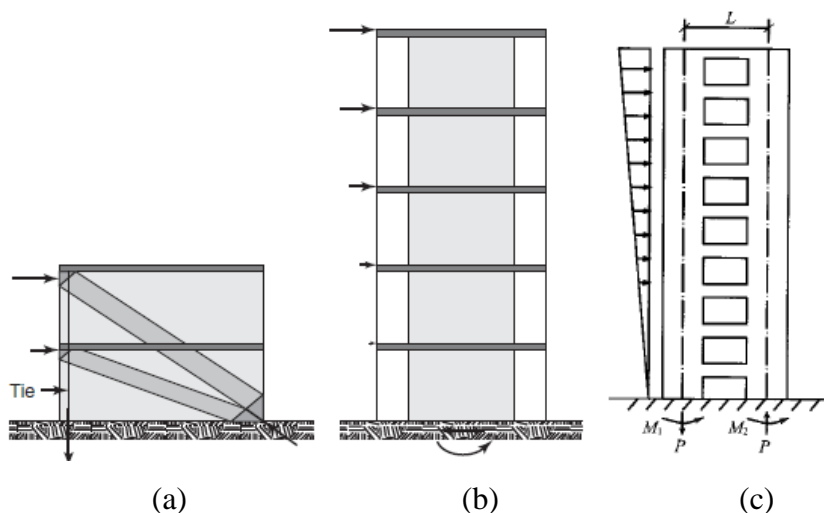
2.1.2 Jenis Dinding Geser

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

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

Berdasarkan geometrinya, dinding geser dapat dikategorikan sebagai berikut:

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



Gambar 2.3 Jenis Dinding Geser Berdasarkan Geometrinya, (a) *Squat shear wall*; (b) *Slender or flexural shear wall*; (c) *Coupled shear wall*

Sumber: Wight dan MacGregor (2012) & Lu dan Chen (2005)

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

1. Dinding geser kantilever

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

2. Dinding geser berangkai

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

2.1.3 Parameter yang Mempengaruhi Dinding Geser

Parameter yang mempengaruhi kekuatan-deformasi dinding geser secara umum terdiri dari rasio beban aksial (n), aspek rasio (α), rasio tulangan horizontal (ρ_s) dan rasio tulangan vertikal (ρ_v).

1. Rasio Beban Aksial (n)

Beban tekan aksial pada umumnya dapat mengurangi kapasitas keruntuhan daktilitas karena peningkatan kedalaman daerah tekan pada struktur. Hal tersebut dapat menyebabkan peningkatan keruntuhan leleh dan penurunan keruntuhan ultimit. Dalam beberapa penelitian terdahulu tingginya beban aksial dapat mengurangi kekuatan dan daktilitas kolom, namun di sisi lain dapat meningkatkan kekuatan geser dinding geser. Peningkatan kekuatan geser terjadi karena beban aksial dapat membuat dinding geser lebih kaku yang menghasilkan penundaan retak dan peningkatan efek *shear friction*. Merupakan perbandingan dari beban aksial (P) terhadap kapasitas beban aksial ($A_g f'_c$):

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

Keterangan:

P = Beban aksial

A_g = Luas bruto penampang dinding geser

f_c' = Kuat tekan beton

2. Aspek Rasio (a)

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

$$a = \frac{hw}{lw} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

hw = tinggi penampang dinding geser

lw = panjang dinding geser

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

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

3. Rasio Tulangan Horizontal

Tulangan horizontal disebut juga tulangan geser, karena memiliki fungsi utama untuk menahan geser. Berikut ini adalah dua jenis rasio tulangan horizontal yang sering digunakan pada penelitian :

a) Rasio volumetrik (ρ_s)

Merupakan rasio antara volume tulangan horizontal dengan volume inti beton yang diukur hingga di bagian luar tulangan horizontal (Park & Paulay, 1975) :

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

Keterangan:

A_v = luas penampang tulangan horizontal

s = jarak antara titik pusat tulangan horizontal

b_s dan h_s = dimensi terhadap garis tengah tulangan horizontal

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

b) Rasio luas (ρ_h)

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

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

dengan minimal penampang tulangan horizontal yang diperlukan adalah:

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

Keterangan:

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

b_w = tebal dinding geser

s_2 = jarak antara tulangan horizontal

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

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

Jarak dan rasio minimum tulangan horizontal untuk dinding geser tersebut telah diatur dalam SNI. Berdasarkan SNI 2847-2013, spasi tulangan horizontal tidak boleh melebihi yang terkecil dari $l_w/5$, $3b_w$ dan 18 in (450 mm), sedangkan rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas beton bruto adalah:

- a) 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa.
- b) 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya.

- c) 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari Ø-16 atau D16.

4. Rasio Tulangan Vertikal (ρ_v)

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

$$\rho_v = \frac{A_{st}}{b_w \times l_w} \dots\dots\dots (2-6)$$

atau

$$\rho_v = \frac{A_{v, vert}}{b_w \times s_1} \dots\dots\dots (2-7)$$

Keterangan:

A_{st} = luas total tulangan vertikal

$A_{v, vert}$ = luas penampang tulangan vertikal

b_w = tebal dinding geser

l_w = panjang dinding geser

s_1 = jarak antara tulangan vertikal

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

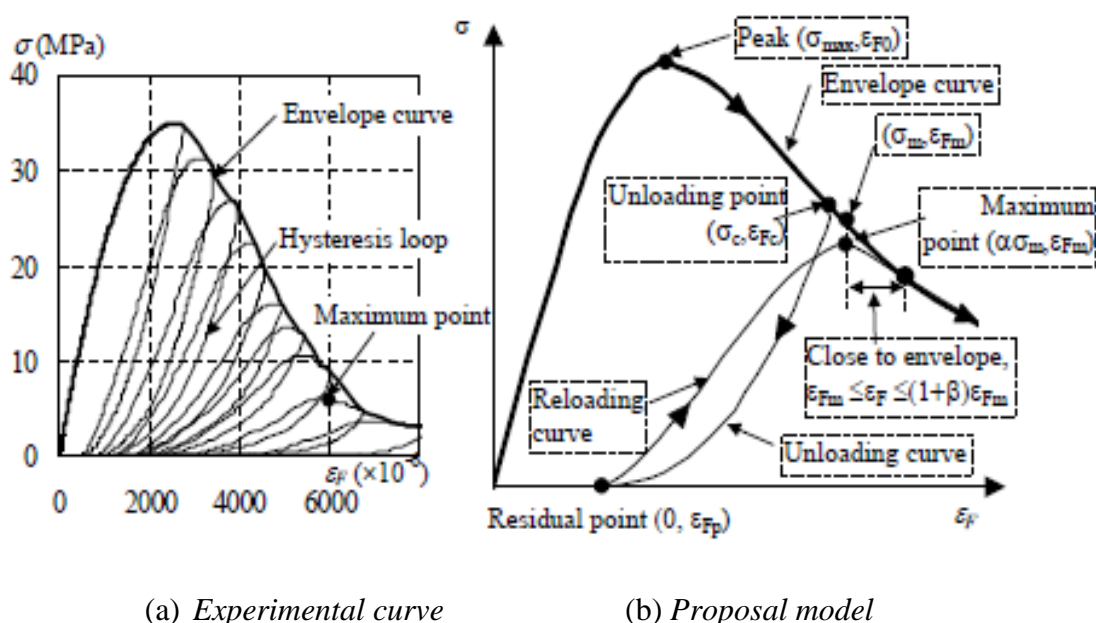
- a) 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan f_y tidak kurang dari 420 MPa.
- b) 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya.
- c) 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari Ø-16 atau D16.

2.2 Beban Siklik

Beban siklik atau *cyclic load* adalah pembebanan berulang yang teratur pada suatu bagian struktur yang dapat menyebabkan fraktur kelelahan (*fatigue*). Mengingat Indonesia berada pada daerah wilayah gempa intensitas gempa tinggi, gempa bumi merupakan salah satu penyebab runtuhnya sebuah bangunan terlebih pada bangunan bertingkat. Beban siklik dapat di artikan sebagai beban gempa yang bekerja pada gedung bertingkat secara bolak balik (2 arah). Karena dalam kondisi

nyata sebagian besar sistem struktur bersifat nonlinear sampai taraf tertentu. Sehingga, dalam analisa beban siklik dilakukan dengan analisa dinamis nonlinear.

Kegagalan *fatigue* merupakan fenomena dimana beton pecah ketika mengalami beban berulang pada tegangan lebih kecil daripada kekuatan tekan maksimum dan kekuatan *fatigue* yang didefinisikan sebagai kekuatan yang dapat didukung untuk sejumlah siklus tertentu. Kekuatan *fatigue* dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, tingkat pembebanan, *load history*, dan sifat material. Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton.



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

Sumber: Watanabe *et al.* (2004)

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

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

2.3 Retak pada Struktur Beton Bertulang

2.3.1 Pengertian Retak

Retak diakibatkan penurunan yang tidak seragam, susut, beban bertukar arah, perbedaan unsur kimia dan perbedaan suhu. Pada kondisi di lapangan, variasi pola retak berbeda satu dengan lainnya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan tegangan tarik yang ditimbulkan oleh beban, momen dan geser.

Retak dimulai dari retak permukaan yang tidak dapat terlihat secara kasat mata. Apabila pembebanan diberikan secara terus menerus maka akan mengakibatkan retak rambut yang merambat hingga pada akhirnya terjadi kegagalan atau keruntuhan pada struktur (Restian,2008).

Retak struktural terjadi akibat pembebanan yang mengakibatkan munculnya tegangan lentur, geser dan tarik. Menurut Triwiyono (2004), retak struktural terdiri dari: retak lentur yang berupa garis lurus sejajar dengan arah gaya yang bekerja; retak geser lentur berupa retak miring lanjutan dari retak lentur sebelumnya, dan retak geser berupa retak diagonal membentuk sudut 45^0 terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut.

2.3.2 Lebar Retak Izin

Secara umum penyebab retak pada beton dikarena kekuatan tarik beton yang rendah. Pada suatu batang yang tegangan tulangnya rendah kemudian dibebani, maka retak yang terjadi akan sangat kecil dan hampir tidak terlihat. Retak pada kondisi ini disebut retak mikro yang disebabkan oleh tegangan lentur.

Apabila tulangan mempunyai kapasitas tegangan yang tinggi, pada saat menerima beban layan maka retak akan terlihat. Besarnya retak tersebut juga mempunyai suatu batasan yakni sampai ukuran maksimum tertentu sehingga penampilan struktur tidak rusak dan tidak terjadi korosi pada baja tulangan.

Keretakan pada beton tidak dapat dihindari sehingga perlu adanya kontrol terhadap retak. Ukuran retak harus dibatasi dengan distribusi tulangan. Penggunaan beberapa tulangan kecil dengan jarak yang sedang akan menghasilkan retak yang lebih kecil daripada penggunaan tulangan diameter besar dengan jarak lebih lebar.

Adanya kontrol terhadap retak lentur pada dasarnya bertujuan untuk penggunaan detail tulangan yang lebih masuk akal (sesuai pengalaman di lapangan maupun di laboratorium) sehingga akan menjaga terjadinya retak pada kisaran nilai yang masuk akal.

Perhitungan lebar retak maksimum pada suatu struktur beton bertulang menurut SNI 03-2847-2002 adalah :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \times \beta \times f_s \times \sqrt[3]{d_c \times A} \dots\dots\dots (2-8)$$

Keterangan :

ω = lebar retak maksimum (inch)

$$\beta = \frac{h - c}{d - c}$$

harga rata-rata faktor tinggi atau perbandingan jarak dari serat tarik terluar beton ke sumbu netral dengan jarak dari titik berat tulangan tarik ke sumbu netral (ditentukan oleh metode tegangan kerja)

$$f_s = 0,6 f_y$$

tegangan maksimum pada tulangan untuk taraf beban kerja

d_c = tebal selimut beton sampai pusat tulangan (inch)

$$A = \frac{bt}{\gamma_b c}$$

luas beton yang tertarik dibagi dengan banyaknya tulangan pada sisi yang tertarik (inch²)

2.3.3 Pengendalian terhadap Lebar Retak

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari keadaan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulangan baja, rusaknya permukaan beton, dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak, khususnya retak lentur, perlu mendapatkan perhatian secukupnya. Sehingga, perkiraan lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampuan kelayakan komponen struktur untuk kondisi pembebanan jangka panjang (Dipohusodo, Istimawan, 1994).

Tabel 2.1

Lebar Retak Ijin Maksimum

Batang yang bersentuhan dengan	Lebar retak yang diizinkan	
	inch	mm
Udara kering	0,016	0,41
Udara lembab, tanah	0,012	0,30
Larutan bahan kimia	0,007	0,18
Air laut dan percikan air laut	0,006	0,15
Untuk struktur penahan air	0,004	0,10

Sumber: Beton Bertulang suatu Pendekatan Dasar (Nawy, 1998)

Menurut SNI 03-2847-2002, lebar retak tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Sedangkan menurut ACI Code, lebar retak yang diizinkan untuk konstruksi yang berada di laut atau daerah basah adalah 0,2 mm dan konstruksi yang tahan terhadap cuaca lebar retak izin adalah 0,41 mm.

Pada pengendalian retak untuk struktur beton bertulang perlu diperhatikan secara saksama permasalahannya adalah pada lebar retak yang terjadi bukan pada jumlah retakan yang terjadi. Dimana lebih baik hanya terjadi retak rambut meskipun mungkin dalam jumlah yang banyak, daripada terjadi retak dengan celah besar walaupun hanya beberapa.

Beberapa metode yang digunakan saat ini mengenai retak didasarkan atas percobaan sebelumnya yang membuktikan bahwa :

1. Lebar retak dapat diminimalisir dengan menggunakan tulangan ulir.
2. Lebar maksimum retak yang disebabkan oleh bekerjanya beban kurang lebih berbanding lurus dengan besar tegangan yang terjadi pada tulangan.
3. Lebar retak lentur dapat dibuat sekecil mungkin apabila tulangan tersusun dengan baik pada daerah tarik beton.
4. Lebar retak pada permukaan beton berbanding lurus dengan jumlah selimut beton.

2.4 Keruntuhan Struktur Beton Bertulang

Apabila sebuah elemen struktur beton diberikan suatu beban secara bertahap hingga mencapai keruntuhan, adapun tiga tahapan pada elemen tersebut sebelum mengalami keruntuhan yaitu:

1. Tahapan beton tanpa retak

Apabila beton diberikan beban awal dengan kapasitas kecil, maka tegangan tarik yang terjadi masih lebih rendah daripada modulus keruntuhan (tegangan tarik lentur pada saat beton mulai retak). Pada kondisi ini seluruh penampang melintang menahan lentur, dengan tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi lainnya.

2. Tahapan beton mulai terjadi retak (tegangan elastis)

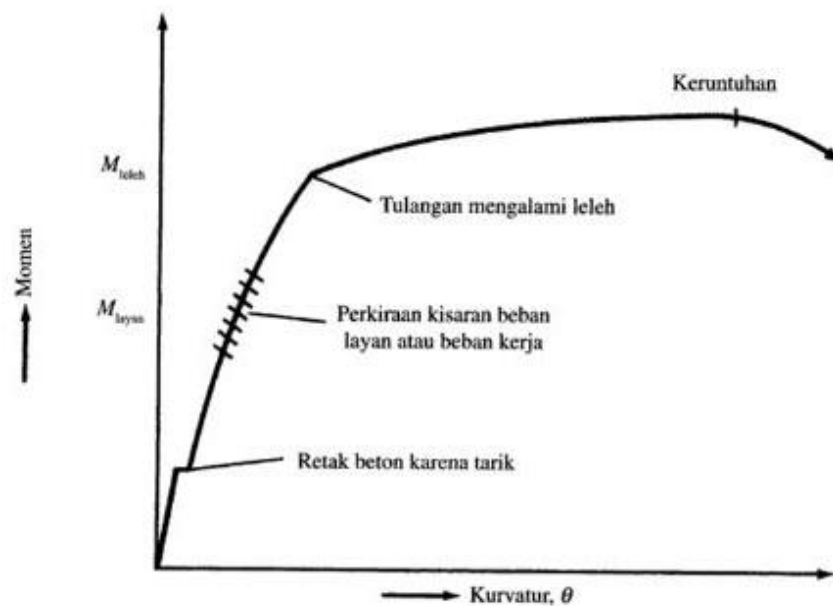
Setelah melalui tahapan pertama, beban terus ditingkatkan sehingga melampaui modulus keruntuhan beton. Akibatnya adalah retak mulai terjadi di bagian bawah. Ketika tegangan tarik pada bagian bawah beton sama dengan modulus keruntuhan, terbentuklah momen retak M_{cr} . Apabila beban yang diberikan terus ditambah, maka retak akan menyebar menuju garis netral. Penyebaran retak terjadi pada penampang beton yang momen aktualnya lebih besar dari momen retak. Pada tahap selanjutnya, baja yang menahan tegangan tarik karena beton telah mengalami retak pada bagian bawah beton.

Kondisi ini berlanjut selama tegangan tekan pada serat atas lebih kecil daripada $0,5 f_c'$ dan selama tegangan baja lebih kecil dari titik lelehnya. Pada kondisi ini tegangan tekan berubah secara linear terhadap jarak dari sumbu netral sebagai sebuah garis lurus. Adapun variasi tegangan regangan garis lurus

terjadi pada beton bertulang pada kondisi beban layan normal karena pada tingkat beban tersebut tegangan yang terjadi lebih kecil dari $0,5 f_c'$ (McCormac, 2003).

3. Tahapan keruntuhan (tegangan ultimit)

Tahap keruntuhan dimulai ketika beban yang diberikan semakin besar hingga tegangan tekannya lebih besar daripada $0,5 f_c'$. Keretakan tarik akan semakin merambat ke atas sehingga tegangan beton yang terjadi tidak berbentuk garis lurus lagi.



Gambar 2.5 Diagram Momen-Kurvatur Balok Beton Bertulang yang mengalami Tarik

Sumber : McCormac (2003).

Penjelasan diagram dimulai pada tahap pertama, yaitu pada saat momen-momen kecil yang lebih kecil dari momen retak, seluruh penampang melintang balok mampu menahan lentur. Kondisi ini digambarkan dalam diagram sebagai garis vertikal menyerupai garis lurus.

Pada saat momen bertambah melebihi momen retak, kemiringan kurva sedikit berkurang karena beton tidak cukup kaku seperti tahap sebelumnya. Tahapan ini digambarkan sebagai garis yang hampir lurus dari M_{cr} hingga pada suatu titik dimana baja tulangan telah mencapai titik lelehnya. Supaya baja

tulangan mencapai kondisi leleh, maka beban yang diberikan harus lebih besar hingga lendutan beton membesar pula.

Apabila tulangan telah leleh, beton mempunyai kapasitas momen tambahan yang sangat kecil sehingga hanya sedikit beban tambahan yang diperlukan untuk meningkatkan putaran sudut dan lendutan. Pada kondisi ini, kemiringan pada diagram adalah sangat datar.

2.5 Momen Kapasitas

Menurut Siddiq S. (1992), benda uji yang dibebani dengan beban kombinasi tekan N, beban lateral Q dan momen lentur Q x H, secara teoritis besarnya kapasitas kolom pada saat mengalami retak dapat dianalisis dari momen retak penampang benda uji tersebut. Besarnya momen retak dihitung dengan persamaan berikut:

1. Momen Retak

Pada saat mengalami retak, momen kapasitas retak dapat dianalisis dari momen retak penampang benda uji tersebut. Besarnya momen retak dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_{retak} = \frac{f_r I_b}{Y_b} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$f_r = 0,75\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2-10)$$

$$I_b = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (2-11)$$

$$Q_{max} = \frac{M_{retak}}{l_n} \dots\dots\dots (2-12)$$

2. Momen Leleh

Momen leleh My dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_y = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{A_s}{0,85 f_c' b} \right) \dots\dots\dots (2-13)$$

$$Q_{leleh} = \frac{M_{leleh}}{\text{Panjang bersih kolom}} \dots\dots\dots (2-14)$$

Untuk menentukan besarnya Q_{leleh} berdasarkan hasil pengukuran tegangan pada baja tulangan, dihitung dengan menentukan tegangan leleh. Besarnya tegangan leleh adalah 464/200000 = 0,018 (=2300 x 10⁻⁶). Bila tegangan baja

tulangan mencapai atau melebihi 2300×10^{-6} , maka baja telah leleh atau komponen telah mencapai atau melampaui momen leleh.

3. Momen Ultimit

Momen Ultimit merupakan momen batas keruntuhan dari elemen struktur. Perkuatan lentur dari dinding geser persegi panjang berkaitan dengan tulangan vertikal dan beban aksial. Jika kontribusi perkuatan dalam daerah elastis diabaikan, maka pendekatan konservatif yang sesuai berupa persamaan berikut (Park & Paulay, 1974) :

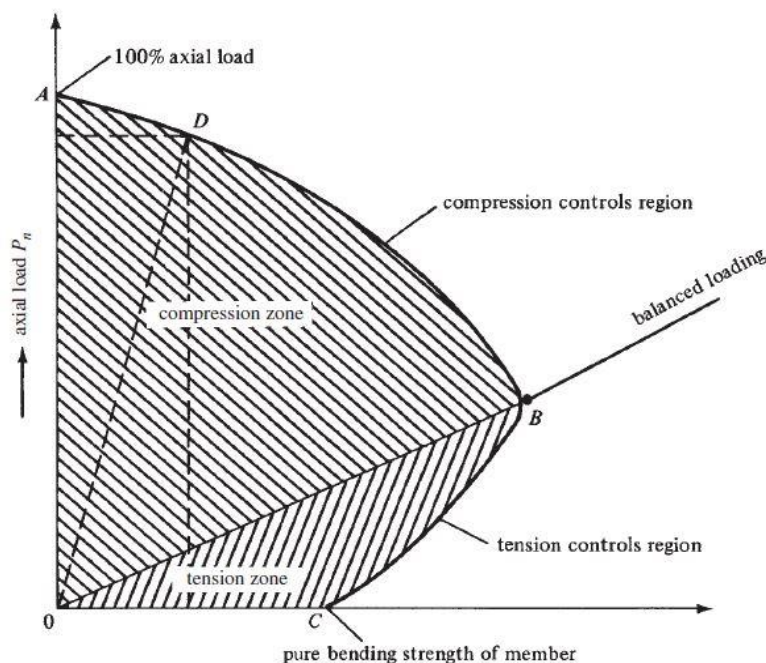
$$Mu = 0,5 \times A_s \times f_y \times l_w \times \left(1 + \frac{N_u}{A_s \times f_y} \right) \times \left(1 - \frac{c}{l_w} \right) \dots\dots\dots(2-15)$$

Keterangan :

N_u = beban aksial

c = garis netral

Kapasitas penampang beton bertulang untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen lentur dapat digambarkan dalam bentuk suatu kurva interaksi antara kedua gaya dalam tersebut.



Gambar 2.6 Diagram Interaksi pada Kolom

Sumber: McCormac & Brown (2014)

Setiap titik dalam kurva menunjukkan kombinasi kekuatan gaya nominal P_n dan kekuatan momen nominal M_n yang sesuai dengan lokasi sumbu netralnya. Diagram interaksi tersebut dapat dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tarik dan daerah yang ditentukan oleh keruntuhan tekan, dengan pembatasnya adalah titik *balanced* (titik B).

2.6 Pola Keruntuhan Dinding Geser

Dinding geser sebagai elemen penahan gaya vertikal memiliki keuntungan utama karena menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem lateral struktur gedung. Struktur gedung dengan dinding geser sebagai elemen penahan gaya lateral pada umumnya memiliki *performance* yang cukup baik pada saat gempa. Hal ini terbukti dari sedikitnya kegagalan yang terjadi pada sistem struktur dinding geser dikejadi-an-kejadian gempa yang lalu (Fintel, 1991). Beberapa kerusakan yang terjadi akibat gempa pada umumnya berupa *cracking*, yang terjadi pada dasar dinding dan juga pada bagian *coupling beam*, khususnya untuk sistem dinding berangkai.

Perilaku batas yang terjadi pada dinding geser dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Pantozopoulou dan Imran, 1992):

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

Untuk dinding geser yang tergolong *flexural wall* dimana rasio, $h_w/l_w \geq 2$, kegagalan lain yang sering terjadi adalah berupa *fracture* (*patah/putus*) pada tulangan yang menahan tarik (Fintel, 1991). Hal ini biasanya diamati pada dinding yang memiliki jumlah tulangan longitudinal yang sedikit, sehingga regangan terkonsentrasi dan terakumulasi pada bagian yang mengalami *crack* akibat pembebanan siklik yang berulang, yang dapat berujung pada terjadinya *fracture* pada tulangan.

Pada dinding geser yang tergolong *squat walls* terdapat 3 model kegagalan yang biasanya terjadinya yaitu :

1. *Diagonal tension* (gambar 2.7 (a) dan (b))

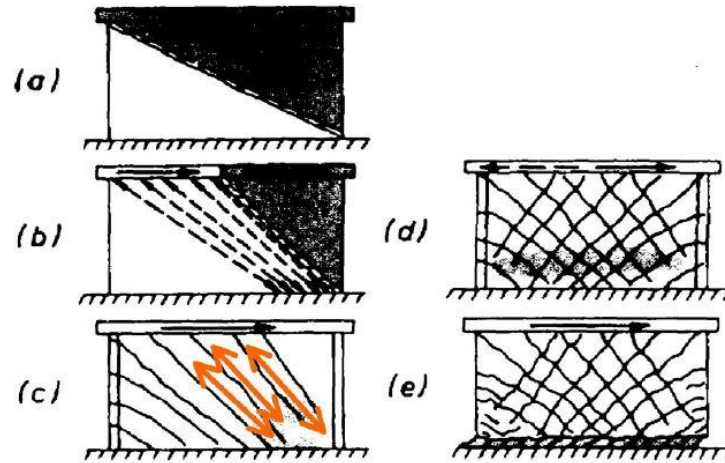
Retak sudut ke sudut yang terjadi pada *diagonal tension failure* merupakan kondisi yang paling kritis tetapi kemungkinan kecil untuk terjadi. Retak sudut yang kemungkinan besar terjadi dapat dilihat pada gambar 2.7(b) dimana retak berbentuk pada sudut yang lebih curam terhadap horizontal misalnya 45°

2. *Diagonal compression* (gambar 2.7 (c) dan (d))

Saat tegangan geser yang terjadi pada dinding saat besar dan tulangan horizontal yang didesain untuk menahan tarik arah vertical mengalami kegagalan, beton dapat mengalami kegagalan, beton dapat mengalami keruntuhan tkan pada bidang diagonal seperti terlihat pada gambar 2.7(c). Jika terjadi pembebanan siklik bolak balik retak diagonal geser yang terjadi dapat berupa bentuk pada gambar 2.7 (d).

3. *Sliding shear* (gambar 2.7 (e))

Dibawah pembebanan siklik bolak balik, retak geser bisa terjadi seperti gambar 2.7(e) dimana *flexural cracks* terjadi terbuka dan tertutup dan tulangan vertikal leleh bergantian saat tarik dan tekan terjadi.



Gambar 2.7 Model keruntuhan *squat wall*

Sumber: Paulay dan Priestley (1992).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Aspek Rasio terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas pada Dinding Geser Bertulangan Horizontal Berjarak Lebar dibawah Pembebanan Siklik (Quasi-Static)” ini termasuk dalam penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Pembuatan benda uji serta pengujian siklik dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi dan Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang. Pembuatan benda uji telah dilakukan oleh tim peneliti sebelumnya pada bulan September-November 2016. Selanjutnya pengujian siklik dilakukan dibulan Maret-April 2017.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Peralatan

a. Alat Pemotong

Digunakan untuk memotong benda uji sesuai dengan aspek rasio yang dibutuhkan.

b. *Digital Hammer Test*

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

c. *Loading Frame*

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

d. *Hydraulic Jack*

Digunakan untuk memberikan beban aksial dan lateral ke benda uji dinding geser.

e. *Hydraulic Pump*

Digunakan untuk memompa *hydraulic jack*.

f. *Load Cell*

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

g. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*

Digunakan untuk mengukur *displacement* pada benda uji.

h. *Dial Gauge*

Digunakan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi pada kolom.

i. Alat Tulis dan Mistar

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

j. Kamera

Digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan selama penelitian dan gambar-gambar yang diperlukan.

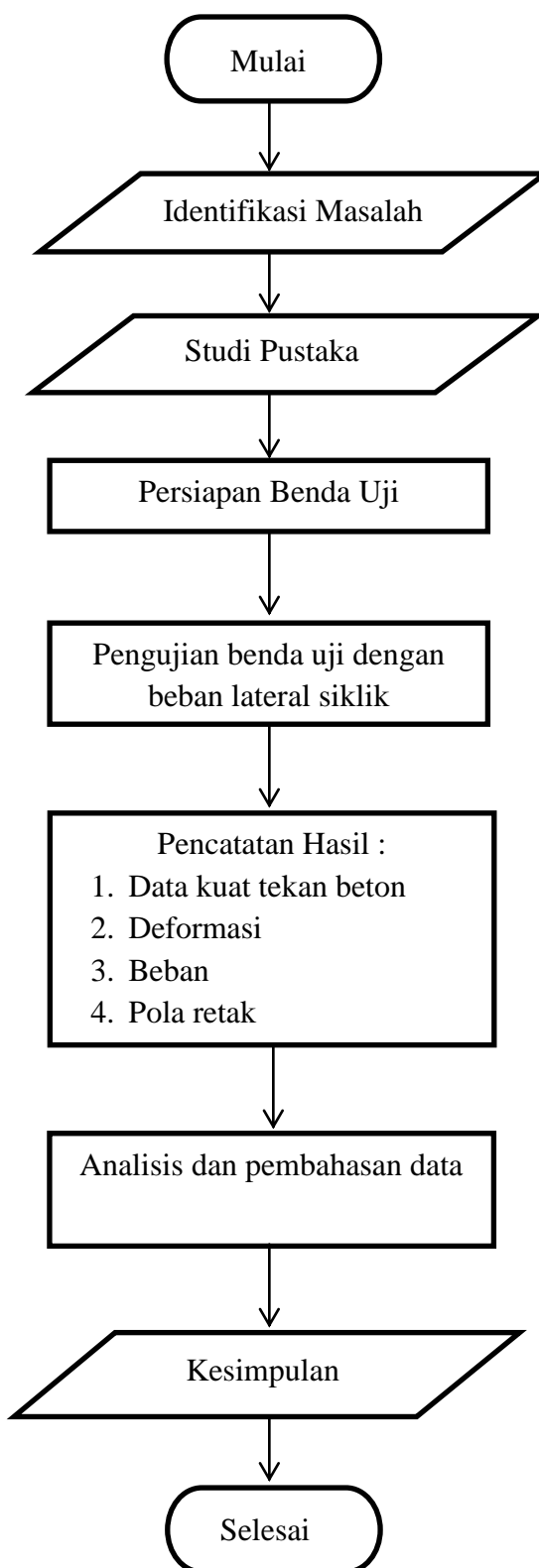
k. Alat Pendukung Lain

2. Bahan

Pada penelitian ini menggunakan 2 buah benda uji dengan aspek rasio 1,5, yaitu:

- a. SW-50-1,5, benda uji dinding geser tanpa variasi dengan jarak tulangan horizontal 150 mm yang dijadikan acuan dalam penelitian.
- b. SD-300-1,5, benda uji dinding geser dengan variasi penulangan horizontal ganda berjarak lebar dengan jarak 300 mm

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Rancangan Penelitian

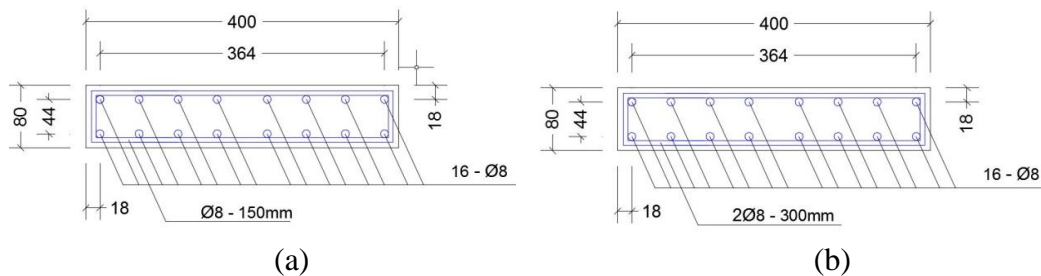
3.4.1 Benda Uji

Beton pada dinding geser direncanakan dengan kuat tekan beton persegi rata-rata f'_c yakni sebesar 20 MPa yang akan diuji menggunakan *hammer test*.

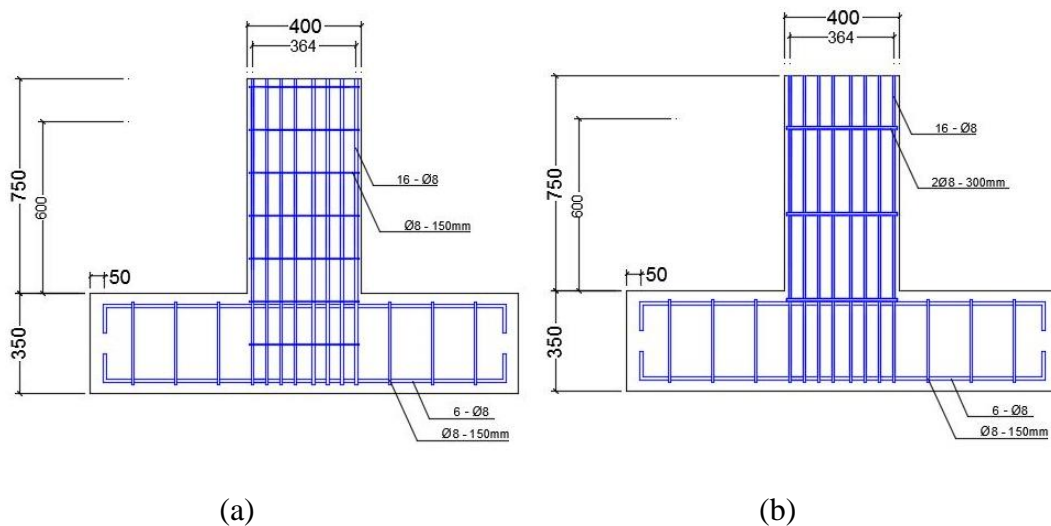
3.4.2 Jumlah Benda Uji

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

1. Dinding geser SW-50-1,5 dengan dimensi 80 mm x 400 mm, tinggi 600 mm. Memakai tulangan vertikal 16- \varnothing 8 dengan variasi tulangan horizontal \varnothing 8-150 mm
2. Dinding geser SD-300-1,5 dengan dimensi 80 mm x 400 mm, tinggi 600 mm. Memakai tulangan vertikal 16- \varnothing 8 dengan variasi tulangan horizontal 2 \varnothing 8-300 mm.



Gambar 3.2 Tampak atas (a) SW-50-1,5 ; (b) benda uji SD-300-1,5



Gambar 3.3 Tampak depan (a) SW-50-1,5 ; (b) SD-300-1,5

3.5 Prosedur Penelitian

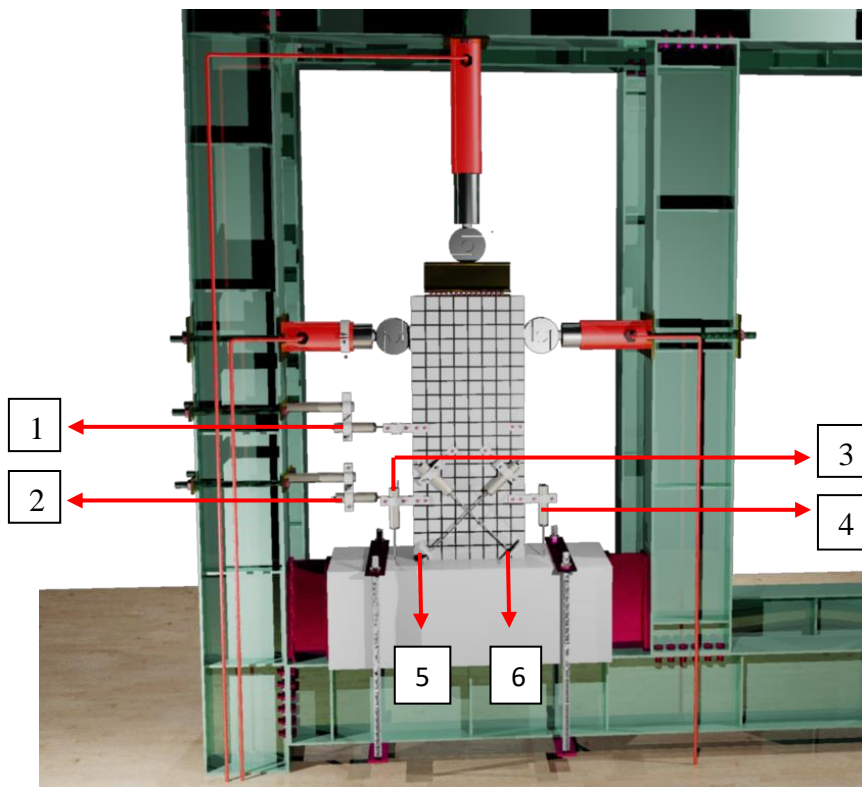
3.5.1 Persiapan

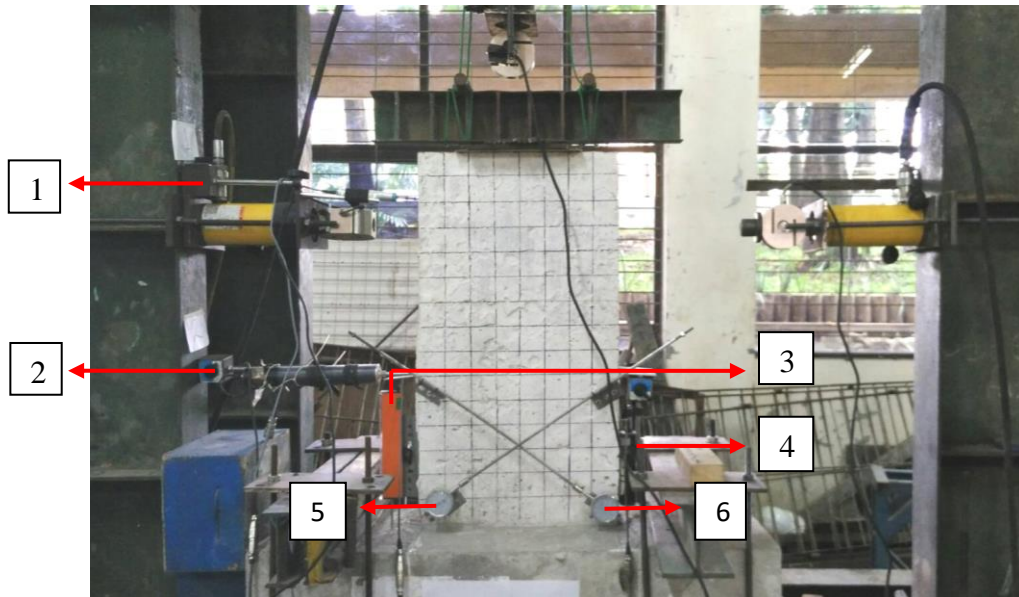
Pekerjaan persiapan berupa memotong benda uji sesuai dengan rasio tinggi lebar yang dibutuhkan, yaitu 1,5.

3.5.2 Setting Up

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji dinding geser berdiri tegak pada 2 buah rangka baja (*loading frame*). Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah *load cell*, *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 perpindahan yang terjadi:

1. Perpindahan lateral total, LVDT 1 dan 2
2. Perpindahan lentur, LVDT 3 dan 4
3. Perpindahan geser, *Dial gauge* 5 dan 6





Gambar 3.4 Skema pengujian

3.5.3 Beban Rencana

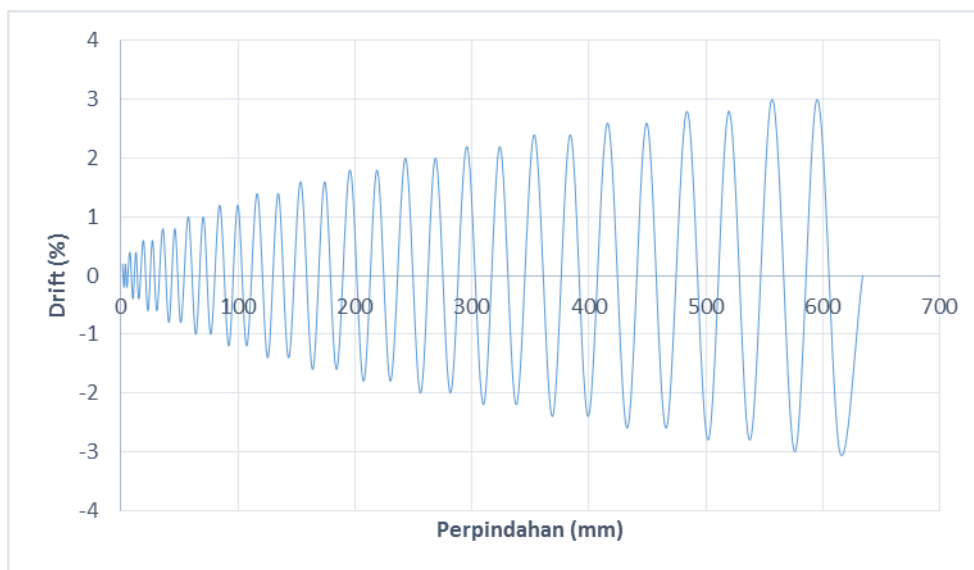
Beban aksial yang digunakan adalah 5% dari beban aksial tekan sentris (P_{no}). Pada penelitian menggunakan beban aksial 3000 kg. Sedangkan beban lateral maksimum yang digunakan didapat dari nilai M_u/h , dimana tinggi dinding geser adalah $h=60\text{cm}$

3.5.4 Pelaksanaan Pengujian Siklik

Pengujian spesimen dilakukan setelah benda uji dinding geser berumur di atas 28 hari. Hal ini terkait dengan kesiapan alat pengujian yang akan digunakan. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dinding geser diberi beban kecil untuk mengontrol bahwa *dial gauge* dan *load cell* yang akan digunakan berfungsi seperti yang direncanakan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial sebesar 5% dari beban aksial ultimit yang bernilai tetap selama pengujian dilakukan dan beban lateral yang dikenakan sesuai dengan siklus lateral *drift* tanpa melebihi beban lateral maksimum yang diijinkan, yaitu M_u/h .

Pembacaan beban dan perpindahan dilakukan secara bertahap, mulai pembebanan nol sampai terjadi kegagalan dinding geser dengan asumsi keadaan ultimit dicapai ketika terjadi penurunan beban 15% dari beban lateral maksimum. Sedangkan besarnya tahap pembacaan beban pada tiap-tiap pembebanan (*loading step*) disesuaikan dengan akurasi dan jumlah data yang diinginkan, dimana dalam hal ini digunakan 4 titik untuk membentuk bunga siklik pada masing-masing

siklusnya. Selama pengujian, seluruh data dicatat dan direkam untuk dilakukan analisa. Termasuk di dalamnya adalah fenomena yang terjadi selama pengujian seperti retak awal, leleh tulangan vertikal, perpanjangan retak, *spalling*, dan beban untuk setiap perpindahan.



Gambar 3.5 Siklus Pembebanan Lateral berdasarkan *Drift*

3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas (*independent variable*), adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah aspek rasio, letak dan diameter horizontal.
2. Variabel Terikat (*dependent variable*), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah momen kapasitas dan pola retak.

3.7 Data Pengamatan

Pada penelitian ini dilakukan pembacaan data, yang meliputi pembacaan data kuat tarik baja, kuat tekan silinder beton, dan data beban *displacement* pada saat pengujian siklik benda uji dinding geser. Penelitian ini juga melakukan pengamatan perambatan retak, baik mengenai retak awal, lokasi, ukuran, dan juga *spalling* yang terjadi.

a. Data mutu beton

Data ini diperoleh dari pengujian menggunakan *hammer test*.

b. Data pengamatan retak

Data ini diperoleh dengan mencatat 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.

c. Data *Lateral Load-Displacement*

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

3.8 Analisis Hasil

Dalam penelitian ini akan dianalisis hasil yang meliputi :

a. Mutu beton

Untuk mendapatkan kuat tekan beton, diperoleh dengan membagi beban maksimum terhadap luas penampang silinder beton, serta ditentukan juga standar deviasi yang terjadi.

c. Momen kapasitas

Momen Retak, Momen Ultimit didapatkan dari perhitungan menggunakan program analisis momen kurvatur. Data-data yang digunakan telah tersedia pada saat perencanaan model benda uji.

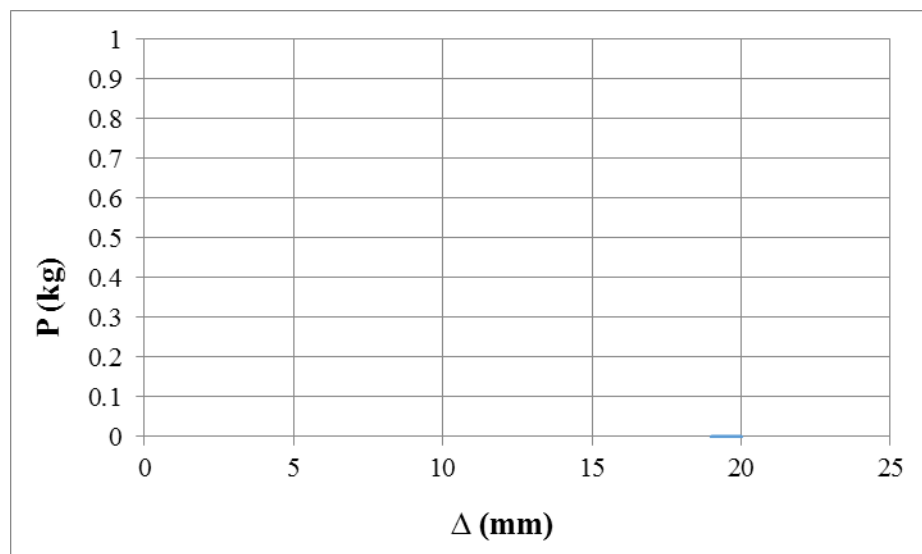
d. Beban lateral, perpindahan, dan pola retak

Pencatatan beban lateral dan perpindahan dinding geser saat pengujian diperlukan untuk dibuatkan grafik beban-perpindahan. Untuk pola retak diamati pola retak, letak retak, sehingga diketahui keruntuhan yang mendominasi kegagalan dinding geser.

Tabel 3.1

Form Data Hasil Pengujian Beban dengan Deformasi

Drift (%)	Δ_{tot} mm	P kg	$\Delta 1$ mm	$\Delta 2$ mm	$\Delta 3$ mm	$\Delta 4$ mm	$\Delta 5$ mm	$\Delta 6$ mm	$\Delta 7$ mm	$\Delta 8$ mm	$\Delta 9$ mm
0,25%											
-0,25%											
0,50%											
-0,50%											
0,75%											
-0,75%											
1%											
-1%											
1,50%											
-1,50%											
2%											
-2%											
2,50%											
-2,50%											
3%											
-3%											
-											
-											
-											

Gambar 3.6 Hubungan Beban (P) dengan Deformasi (Δ)

Tabel 3.2

Form Data Hasil Pengamatan Pola Retak

<i>Drift</i> %	Δ_{tot} mm	P kg	Retak yang Terjadi
0,20%	1,28		
-0,20%	1,28		
0,20%	1,28		
-0,20%	1,28		
0,40%	2,56		
-0,40%	2,56		
0,40%	2,56		
-0,40%	2,56		
0,60%	3,84		
-0,60%	3,84		
0,60%	3,84		
-0,60%	3,84		
0,80%	5,12		
-0,80%	5,12		
0,80%	5,12		
-0,80%	5,12		
.	.		
.	.		
.	.		

3.9 Hipotesa Penelitian

Hipotesa pada penelitian ini adalah :

1. Pola retak yang terjadi pada benda uji adalah retak geser dan lentur. Pada benda uji SD-300-1,5 akan dominan mengalami retak geser dibanding dengan benda uji SD-300-2,0. Momen kapasitas akan sama, namun beban lateral yang terjadi SD-300-1,5 akan lebih besar dibanding SD-300-2,0.
2. Pola retak yang terjadi pada benda uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 cenderung sama, yaitu retak lentur dan geser. Momen kapasitas benda uji akan sama.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Benda Uji

4.1.1 *Hammer Test*

Pengujian mutu beton dilakukan dengan menggunakan *digital hammer test*. Pada saat pengambilan data menggunakan *hammer test*, pengujian didampingi oleh dosen ahli untuk mengoperasikan alat. Permasalahan teknis di pelaksanaan juga diperhatikan dalam menentukan mutu benda uji tersebut. Hasil pengujian dapat dipengaruhi oleh kerataan permukaan, kelembaban beton, sifat dan jenis agregat kasar. Pada pengujian *hammer test* hasil mutu beton yang diambil dari rata-rata 10 titik yang di test.



Gambar 4.14 *Hammer Test*

Berikut merupakan hasil pembacaan mutu beton benda uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5.

Tabel 4.1

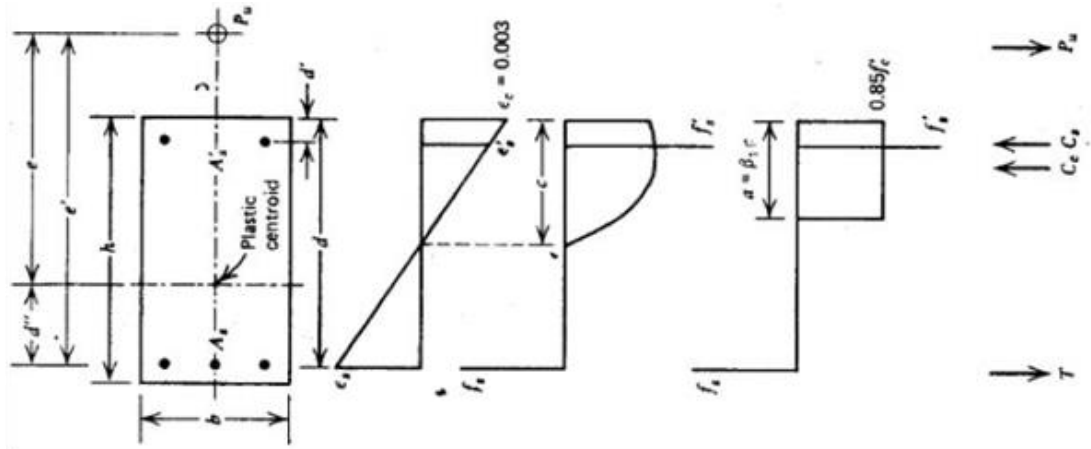
Pembacaan Mutu Beton menggunakan *Digital Hammer Test*

Benda Uji	Hammer Test (MPa)
SW-50-1,5	27
SD-300-1,5	21.75

Dari tabel 4.1, didapatkan nilai mutu beton untuk benda uji SW-50-1,5-1,5, dan SD-300-1,5 dari hasil pembacaan *digital hammer test* berturut-turut adalah sebesar 27,0 MPa dan 21,75 MPa. Mutu beton dari masing-masing benda uji tersebut yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

4.2 Kapasitas Dinding Geser

Perhitungan kapasitas dinding geser secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai beban lateral maksimum (P_h) dan momen ultimit (M_u) yang terjadi apabila dinding geser diberi beban aksial sebesar 5 % P_u . Perhitungan dilakukan dengan rasio tulangan vertikal (ρ_v) sebesar 2,44% dan rasio tulangan horizontal 0,167% dan 0,21 % dengan f'_c yang didapatkan dari *Hammer Test* dan f_y didapatkan dari data uji tarik tulangan pada penelitian sebelumnya.



Gambar 4.2 Analisis Kolom

Perhitungan dinding geser secara teoritis menggunakan analisa kolom segi empat bertulangan 2 sisi dengan asumsi tumpuan jepit bebas. Hasil perhitungan dinding geser teoritis dengan menggunakan perhitungan diagram interaksi yang terlampir pada lampiran. Selain menggunakan perhitungan kapasitas teoritis menggunakan dinding geser, dilakukan juga perhitungan menggunakan program analisis momen kurvatur.

Tabel 4.2
Kapasitas Teoritis Dinding menggunakan Analisis Diagram Interaksi

Keterangan	Diagram Interaksi		Momen Kurvatur	
	SW-50-1,5	SD-300-1,5	SW-50-1,5	SD-300-1,5
f'_c (Mpa)	27	21.75	27	21.75
P_u (kg)	3000	3000	3000	3000
M_u (kgm)	4897.08	4671.51	5205.23	5027.840
P_h (kg)	8161.79	7785.85	8675.38	8378.93

Dari tabel 4.2 diatas terlihat perbandingan variasi jarak tulangan horizontal memberikan pengaruh terhadap momen ultimit (M_u) serta beban lateral maksimum

(Ph). Untuk perbandingan analisis kapasitas teoritis memiliki selisih beban lateral (Ph) sekitar 500 kg.

4.3 Hasil Pengujian Semi Siklik

Pengujian dinding geser terhadap beban lateral semi siklik dilakukan dengan menggunakan *hydraulic jack* dengan dua beban lateral dan satu beban aksial. Dinding geser berdimensi 40 x 8 x 60 cm, yang telah berumur lebih dari 28 hari dan diletakan di atas *loading frame*. Kemudian dilakukan *setting* peralatan pengujian untuk membaca *displacement* dan beban lateral yang terjadi.

Penggunaan *displacement control* pada pengujian ini membagi pengujian dalam beberapa siklus dengan kenaikan *drift* sebesar 0,25% sampai *drift* mencapai 1% dan dilanjutkan dengan kenaikan *drift* 0,5 % sampai *drift* mencapai 5%. Karena keterbatasan alat *load cell* yang digunakan pada saat pengujian yaitu 5 ton dan 10 ton, maka apabila beban pada *load cell* 5 ton sudah mencapai batas, dinding hanya dibebani pada salah satu sisi dengan *load cell* 10 ton.

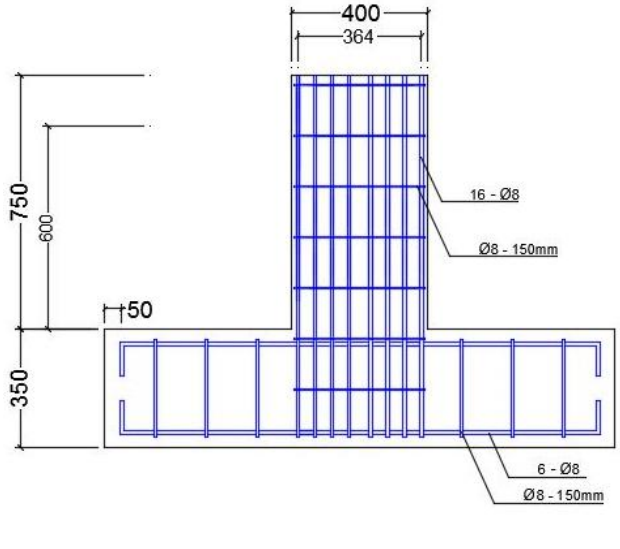
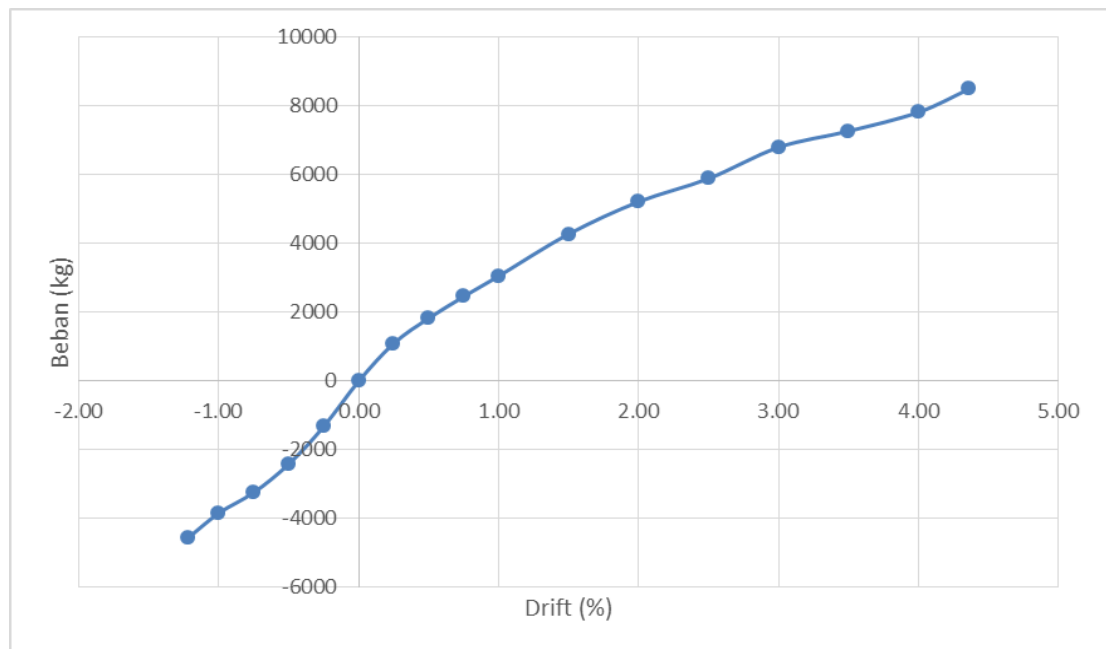
Pada analisis hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan kurva positif lainnya, begitu juga dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif lainnya. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah perpindahan yang terjadi dan beban lateral yang dialami oleh dinding geser uji.

4.3.1 Benda Uji SW-50-1,5

Benda uji SW-50-1,5 merupakan benda uji dengan rasio tulangan vertikal 2,44% tanpa adanya variasi. Spesifikasi dinding geser secara detail seperti pada tabel 4.3. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 4,5%. Hasil pengujian semi siklik benda uji SW-50-1,5 ditunjukkan dengan grafik envelope pada gambar 4.3 dan momen kapasitas ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.3
Spesifikasi Benda Uji SW-50-1,5

Benda Uji SW-50-1,5	
Dimensi (mm)	400 x 80 x 600
Rasio vertikal (%)	2,44
Sengkang	Ø8-150
$f'c$ (Mpa)	27

Gambar 4.3 Envelope P-Drift Benda Uji SW-50-1,5

Tabel 4.4
Kapabilitas Benda Uji SW-50-1,5

SW-50-1,5	Arah	M_{cr} (kgm)	P_{cr} (kg)	M_u (kgm)	P_u (kg)
Teoritis	/+	1178.893	1964.822	5205.230	8675.383
Aktual	-	1390.20	2317.00	-	-
	+	-	-	5100.00	8500.00
Selisih (%)		15.200	15.200	2.022	2.022

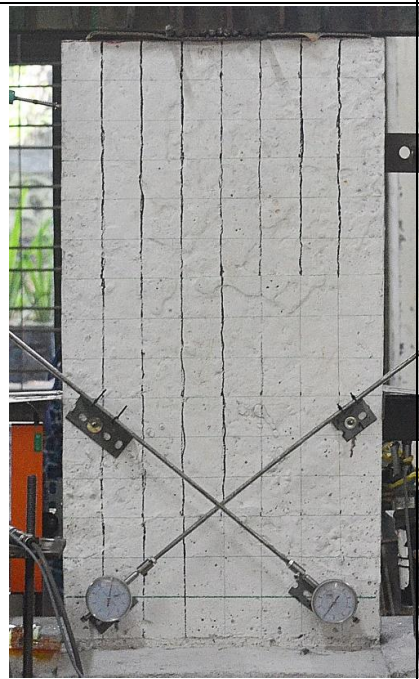
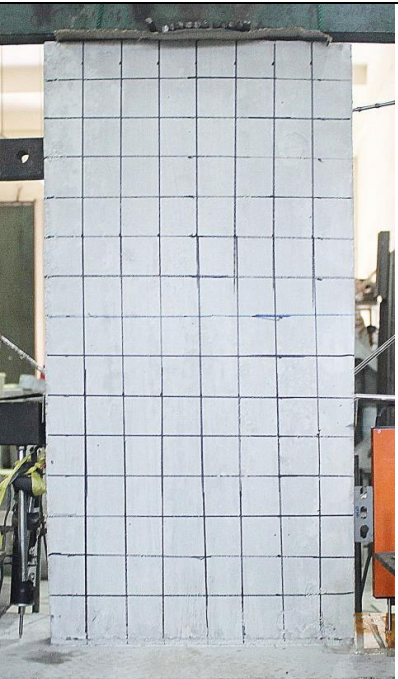
- Tahap Beban Maksimum

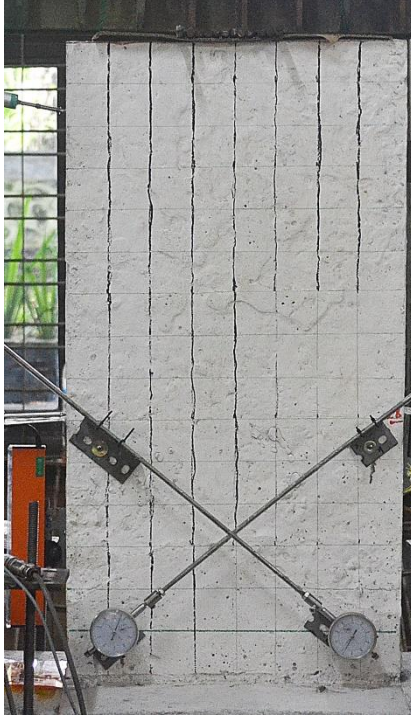
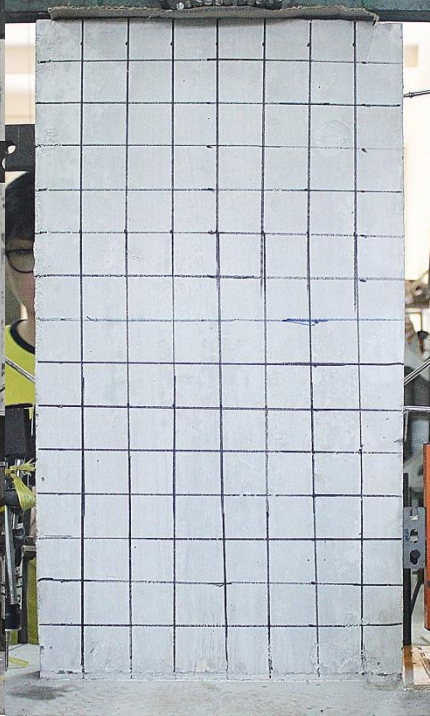

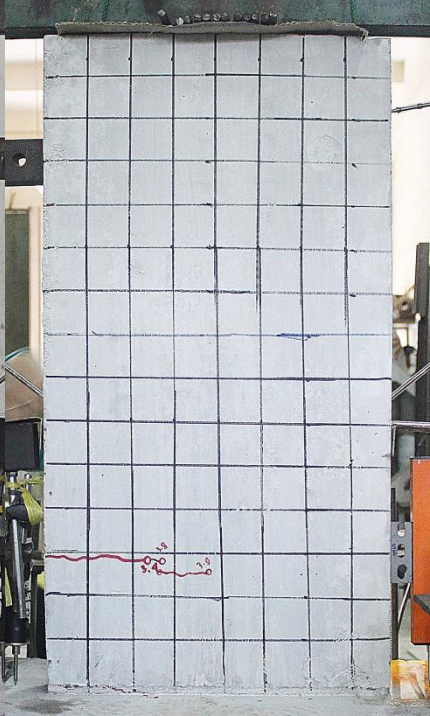
Beban lateral terbesar yang didapat dari eksperimen adalah 8500 kg pada *drift* 4.5%. Beban lateral maksimum yang didapat bukan beban maksimum sesungguhnya. Momen ultimate tidak dapat dicapai karena keterbatasan alat yang ada. Pembebanan juga hanya dari satu sisi karena kondisi alat yang tidak memadai. Berdasarkan perhitungan teoritis beban lateral maksimum yang didapatkan sebesar 8675,383 kg. Dengan demikian, beban lateral maksimum aktual lebih kecil dari pada perhitungan teoritis. Maka, nilai momen ultimit yang didapatkan dari aktual juga lebih kecil dari perhitungan teoritis, yaitu sebesar 5100 kgm.


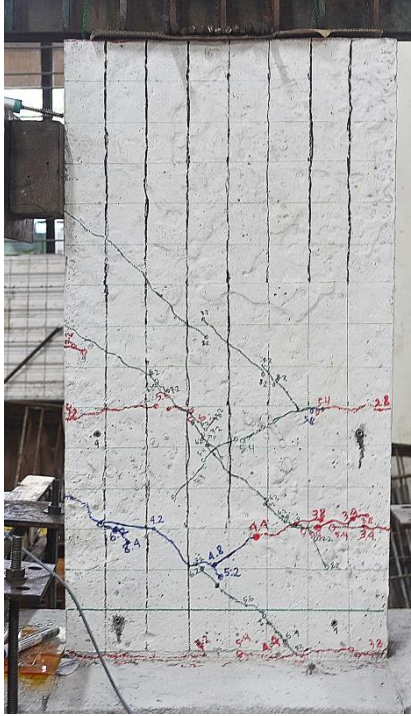
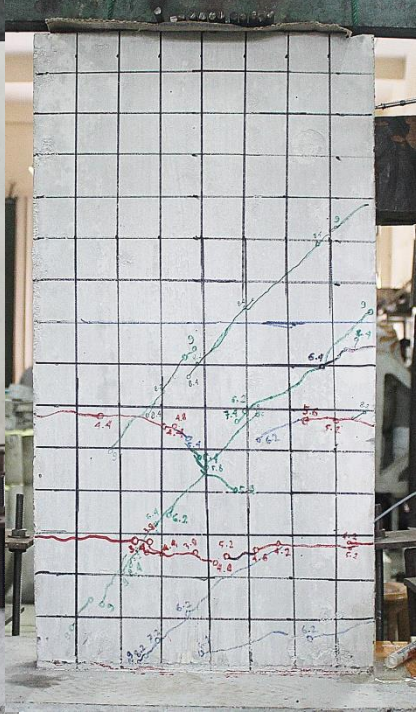
- Tahap Retak

Pada benda uji SW-50-1,5 retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,5% (-) dengan beban lateral sebesar 2317 (-) kg. Sedangkan pada kondisi positif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 1 % (+) dengan beban lateral 2964 (+) kg

Gambar 4.4 Tahapan Retak Benda Uji SW-50-1,5

<i>Drift</i> (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
-0.25		

Drift (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
-0.5		
-0.75		

Drift (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
3	 The image shows the front view of a concrete specimen. A grid is drawn on the surface. Several lines are drawn across the grid, representing drift paths. These lines are color-coded: red, blue, and green. The red lines are the most prominent, showing a complex pattern of drift. Blue and green lines also cross the grid. There are various numerical annotations in red and blue ink scattered across the grid, likely representing drift measurements at specific points. The specimen is mounted on a test rig with some mechanical components visible on the left and right sides.	
3.5	 This image is similar to the one above, showing the front view of a concrete specimen with a grid and drift lines. The red drift lines are more extensive and form a dense network across the grid. Blue and green lines are also present. Numerical annotations are visible throughout the grid. The specimen is mounted on a test rig.	
	 This image shows the back view of the concrete specimen. It features a grid and drift lines similar to the front view. The red drift lines are clearly visible, showing a pattern of drift. Blue and green lines are also present. Numerical annotations are scattered across the grid. The specimen is mounted on a test rig.	

Pada benda uji SW-50-1,5 beban lateral maksimum yang di dapat sebesar 8500 kg saat *drift* mencapai 4,5%. Retak pertama terjadi pada *drift* 0,5 % (-) adalah retak lentur, retak terjadi pada ketinggian sekitar 30 cm. Pada *drift* 0,75 % (-) terdapat retak-retak lentur baru di ketinggian sekitar 17 cm, di bagian samping dinding geser dan bagian dasar dinding geser.

Pada *drift* 1 % (+) siklus 4.2 muncul retak lentur baru di ketinggian 29 cm dan sekitar 14 cm dan retak lentur geser yang cukup panjang di ketinggian sekitar 20 cm yang menyatu dengan retak lentur geser di samping dinding geser. Pada *drift* 1 % (-) siklus 4.4 terdapat beberapa perpanjangan retak lentur dan retak lentur baru di ketinggian sekitar 14 cm serta retak lentur yang cukup panjang di dasar dinding geser. Pada *drift* 1 % (+) siklus 4.6 terdapat perpanjangan retak lentur di ketinggian sekitar 14 cm. Pada *drift* 1 % (-) siklus 4.8 retak lentur dari siklus sebelumnya mengalami perpanjangan retak menjadi retak lentur geser di ketinggian sekitar 12 cm. Pada siklus ini retak lentur geser menyatu dari sisi kanan dan kiri dinding geser. Retak lentur di bagian dasar dinding geser mengalami perpanjangan dari siklus sebelumnya.

Pada *drift* 1.5 % (+) siklus 5.2 terjadi perpanjangan retak lentur di ketinggian sekitar 13 cm dan retak lentur geser mengalami perpanjangan dari retak lentur geser yang menyatu siklus dari sebelumnya. Pada siklus ini muncul retak geser di bagian tengah dinding geser di ketinggian sekitar 24 cm. Pada *drift* 1.5 % (-) siklus 5.4 retak lentur yang terjadi pada siklus ini merupakan perpanjangan dari retak-retak lentur pada siklus sebelumnya dan terdapat juga perpanjangan retak lentur di bagian dasar dinding geser. Retak geser yang muncul pada siklus ini cukup banyak terjadi ditengah-tengah dinding geser. Pada *drift* 1.5 % (+) siklus 5.6 terjadi perpanjangan retak lentur di ketinggian sekitar 28 cm. Pada *drift* 1.5 % (-) siklus 5.8 terdapat retak lentur geser di ketinggian sekitar 30 cm yang menyatu dengan retak geser dari siklus sebelumnya dan muncul retak geser baru di ketinggian sekitar 29 cm.

Seiring meningkatnya beban lateral pada tiap siklusnya mengakibatkan bertambahnya retak-retak baru atau retak sebelumnya yang mengalami perpanjangan. Pada penelitian ini untuk *drift* selanjutnya pembebanan hanya diberikan satu sisi saja (sisi +) karena keterbatasan alat yang dimiliki. Pada *drift* 2 % (+) siklus 6.2 terjadi geser yang cukup banyak dan panjang pada ketinggian 40 cm dan menuju ke dasar

dinding. Terjadi percabangan retak lentur geser di ketinggian 15 cm. Pada bagian samping dinding geser juga terjadi retak lentur. Pada *drift* 2 % (+) siklus 6.4 terjadi perpanjangan retak geser dari siklus sebelumnya. Terjadi penyatuan retak geser dan lentur dari sisi samping dinding geser, sehingga terjadi retak lentur geser pada ketinggian sekitar 37 cm. Pada *drift* 2 % ini menunjukkan dinding geser mulai mengalami keruntuhan geser yang cukup signifikan.

Pada *drift* 2.5 % (+) siklus 7.2 terjadi perpanjangan retak geser dari siklus sebelumnya dan perpanjangan retak lentur geser menuju ke dasar dinding geser. Pada bagian dasar dan samping dinding geser terjadi penambahan panjang retak lentur. Pada *drift* 2.5 % (+) siklus 7.4 terjadi perpanjangan retak geser dari siklus sebelumnya dan terjadi penambahan panjang retak lentur di bagian samping dinding geser. Pada *drift* 3 % (+) siklus 8.2 dan 8.4 terjadi beberapa retak geser yang cukup panjang di sepanjang ketinggian 30 cm sampai ketinggian 59 cm. Terjadi retak lentur geser menuju ke dasar dinding geser. Pada siklus ini retak lentur pada dasar dinding geser sudah menyatu dari kedua sisi. Pada *drift* ini terjadi keruntuhan lentur dan geser yang cukup besar di sepanjang dinding geser.

Pada *drift* 3.5 % (+) terjadi retak lentur disisi samping dinding geser dan terjadi beberapa retak geser baru atau perpanjangan retak pada ketinggian 10 cm dan disepanjang ketinggian 30 cm - 55 cm. Retak lentur geser pada *drift* ini menyatu ke dasar dinding geser dan di bagian samping dinding geser juga terjadi retak lentur geser yang menyatu.

Pada *drift* 4 % (+) retak lentur terjadi di ketinggian sekitar 7 cm yang menyatu ke bagian samping dinding geser. Beberapa retak geser terjadi berupa penambahan panjang dari siklus sebelumnya. Terjadi penambahan retak lentur geser di ketinggian 24 cm. Pada akhir pengujian yaitu *drift* 4.5 % (+) retak yang terjadi berupa tambahan retak geser menuju ke dasar dinding geser.

4.3.2 Benda Uji SD-300-1,5

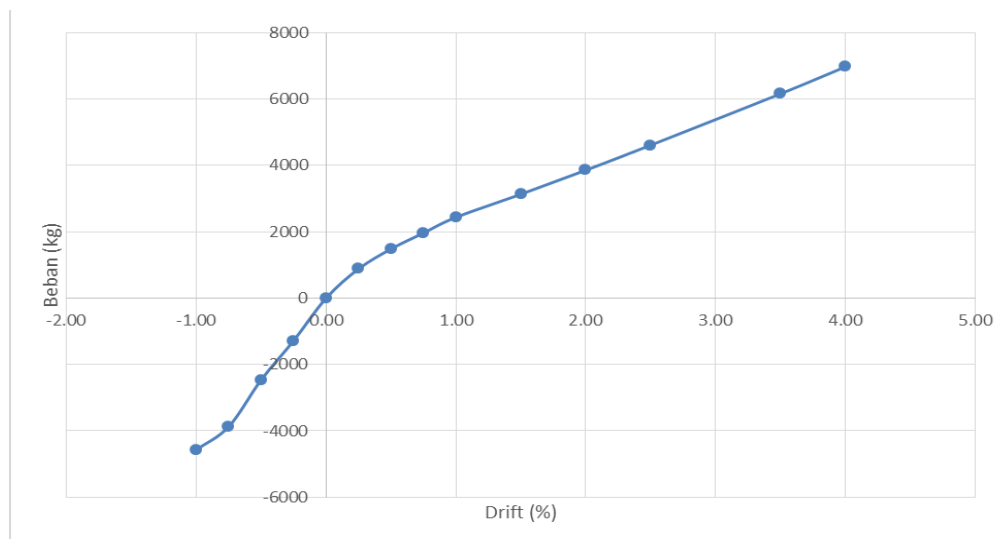
Pada benda uji SD-300-1,5 merupakan benda dengan rasio tulangan vertikal 2,44% dengan variasi tulangan horizontal yang dipasang double dengan jarak 300mm. Spesifikasi dinding geser secara detail seperti pada tabel 4.5. Pengujian benda uji ini dilakukan hingga *drift* 4%. Hasil pengujian semi siklik benda uji SD-

300-1,5 ditunjukkan dengan grafik *envelope* pada gambar 4.4 dan momen kapasitas ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.5

Spesifikasi Benda Uji SD-300-1,5

Benda Uji SD-300-1,5	
Dimensi (mm)	400 x 80 x 600
Rasio vertikal (%)	2,44
Sengkang	Ø8-300
f'c (Mpa)	21,75



Gambar 4.5 Envelope P-Drift Spesimen SD-300-1,5

Tabel 4.6

Kapasitas Benda Uji SD-300-1,5

SD-300-1,5	Arah	Mcr (kgm)	Pcr (kg)	Mu (kgm)	Pu (kg)
Teoritis	/+	1025.792	1709.653	5027.840	8378.933
Aktual	-	2139	3565.00	-	-
	+	-	-	4183.20	6972.00
Selisih (%)		52.043	52.043	16.799	16.791


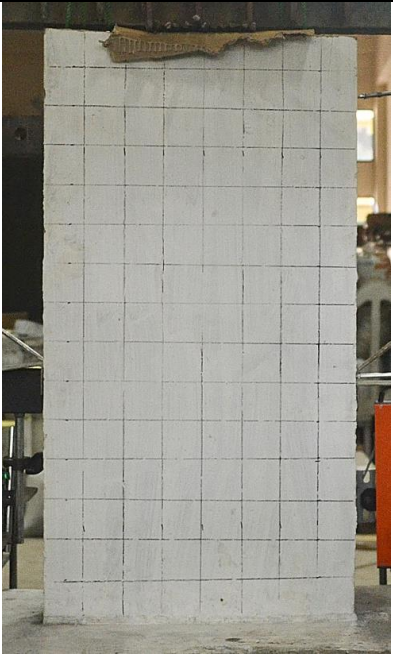
- Tahap Beban Maksimum

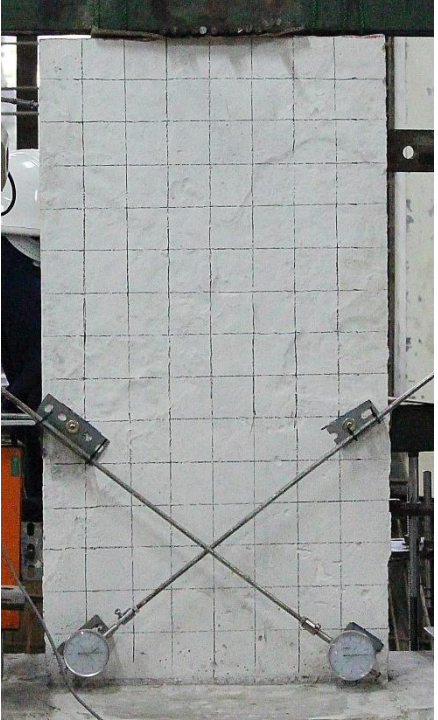
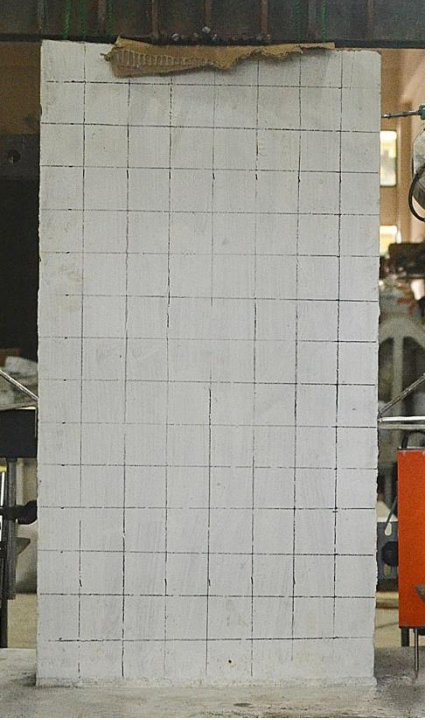
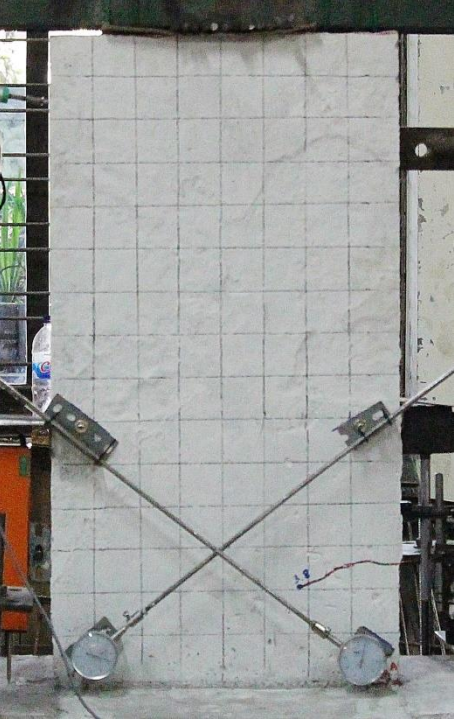
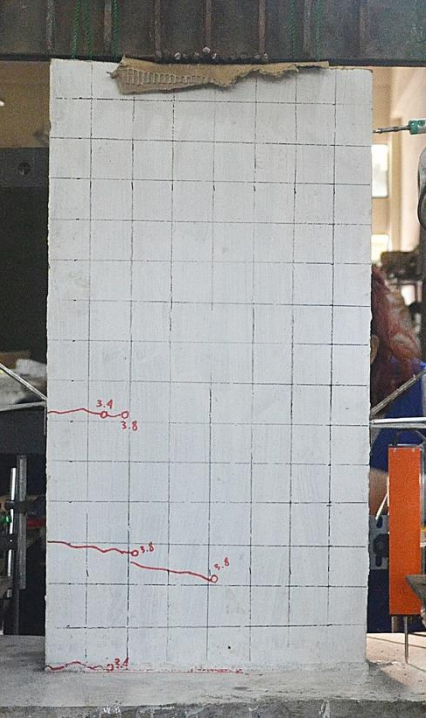
Beban lateral terbesar yang di dapat dari hasil penelitian sebesar 6972 kg pada *drift* 4%. Beban tersebut bukan merupakan beban lateral maksimum, karena keterbatasan kapasitas beban maksimum dari *load cell*, maka tidak didapatkan nilai beban lateral maksimum. Pembebanan juga hanya dari satu sisi karena kondisi alat yang tidak memadai. Berdasarkan perhitungan teoritis beban lateral maksimum yang didapatkan sebesar 8378,933 kg. Dengan demikian, beban lateral maksimum yang terjadi lebih kecil dari pada perhitungan teoritis. Maka, nilai momen ultimit yang didapatkan dari aktual juga lebih kecil dari perhitungan teoritis, yaitu sebesar 4183,2 kgm.

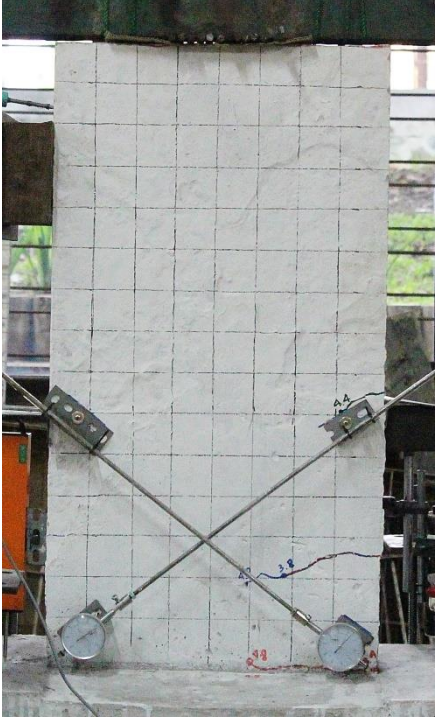
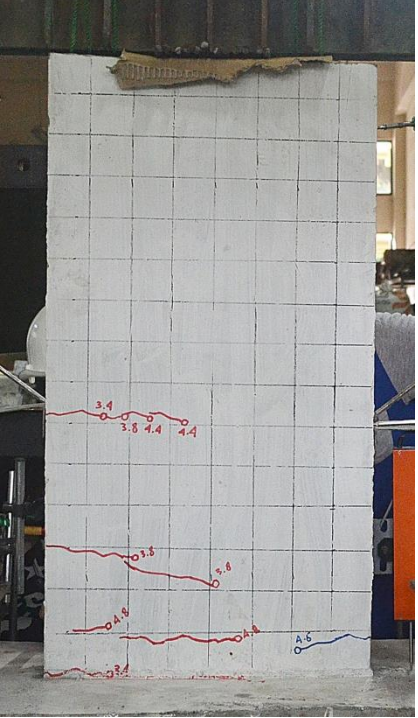
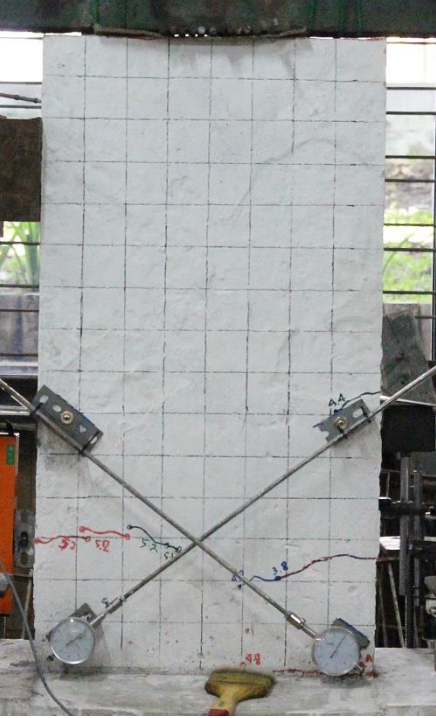
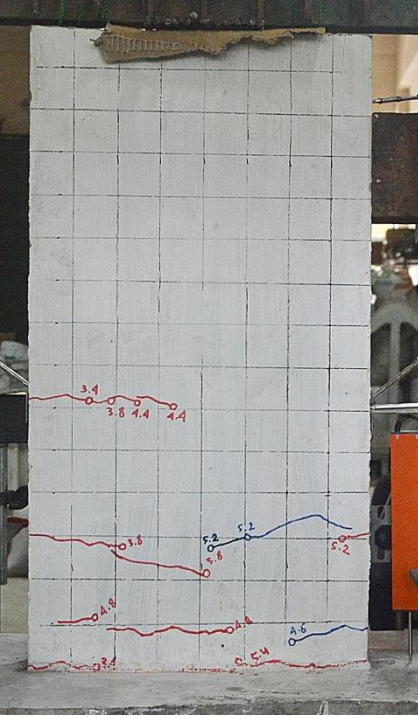
- Tahap Retak

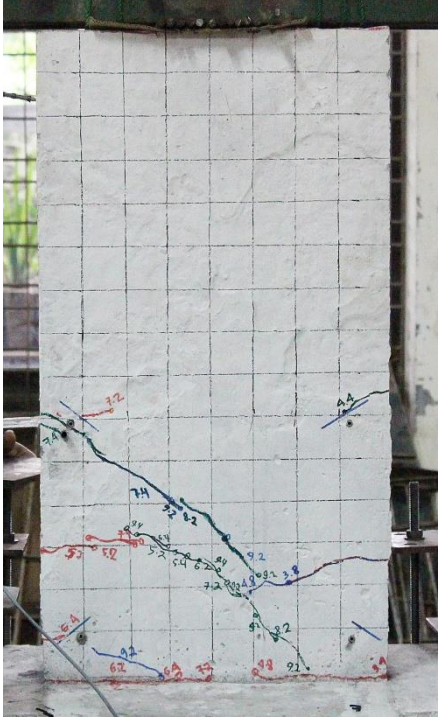
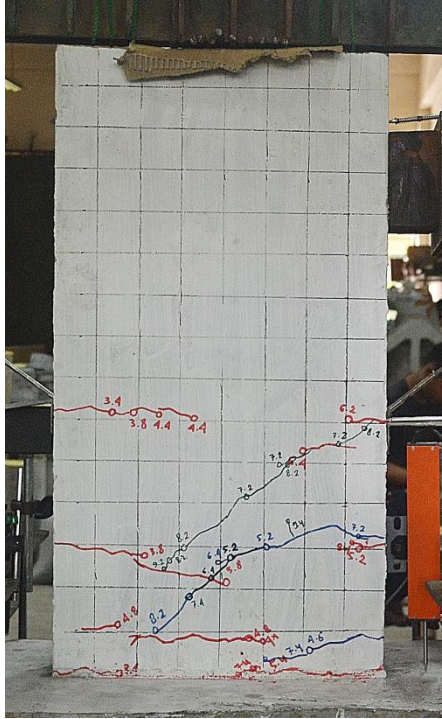
Pada benda uji SD-300-1,5, retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% (-) dengan beban lateral sebesar 3565 (-) kg. Sedangkan pada kondisi positif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 1% (+) dengan beban lateral 2436 (+) kg.

Gambar 4.6 Tahapan Retak Benda Uji SD-300-1,5

<i>Drift</i> (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
0.25		

Drift (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
0.5		
0.75		

<p><i>Drift</i> (%)</p>	<p>Tampak Depan</p>	<p>Tampak Belakang</p>
<p>1</p>		
<p>1.5</p>		

<i>Drift</i> (%)	Tampak Depan	Tampak Belakang
4		

Pada benda uji SD-300-1,5, beban maksimum yang didapat pada saat pengujian 6972 kg saat *drift* mencapai 4 %. Retak pertama terjadi pada *drift* 0.75 % (-) di siklus 3.4, retak yang terjadi adalah retak lentur. Pada siklus 3.8, masih pada *drift* 0.75 % (-) terjadi perpanjangan retak yaitu retak lentur dan lentur geser. Pada bagian samping dinding geser juga mengalami retak lentur.

Pada *drift* 1 % (-) siklus 4.4 terjadi perpanjangan retak lentur dari siklus sebelumnya dan terdapat retak lentur yang baru di ketinggian sekitar 5 cm dari dasar dinding geser. Terdapat retak lentur dibagian samping dinding geser. Pada *drift* 1 % (+) siklus 4.6 terjadi retak baru yaitu retak lentur geser di ketinggian sekitar 5 cm. Pada *drift* 1 % (-) siklus 4.8 terjadi perpanjangan retak dari siklus 3.8 menjadi retak lentur geser dan terdapat retak lentur di dasar dinding geser.

Beban lateral yang terus meningkat pada tiap siklusnya mengakibatkan terjadinya banyak retak baru dan perpanjangan retak dari retak yang sebelumnya. Untuk *drift* selanjutnya pembebanan hanya diberikan satu sisi saja (sisi +) karena

keterbatasan alat yang dimiliki. Pada *drift* 1.5 % siklus 5.2 terjadi retak baru yaitu retak lentur pada ketinggian sekitar 16 cm dan retak geser pada ketinggian sekitar 17 cm, terdapat juga perpanjangan retak lentur geser. Pada *drift* 1.5 % siklus 5.4 terjadi retak lentur baru di dasar dinding geser, dan terjadi perpanjangan retak geser dari siklus sebelumnya.

Pada *drift* 2 % siklus 6.2 terjadi retak baru, yaitu retak lentur pada ketinggian sekitar 30 cm dan terjadi perpanjangan retak geser pada ketinggian sekitar 14 cm, terdapat juga perpanjangan retak lentur di dasar dinding geser. Pada *drift* 2 % siklus 6.4 terjadi retak lentur baru di ketinggian 27 cm dan terjadi perpanjangan retak geser dan lentur geser dari siklus sebelumnya di ketinggian sekitar 13 cm dan juga perpanjangan retak lentur di dasar dinding geser. Pada bagian samping dinding geser terdapat retak lentur yang menyatu dari lentur dibagian depan dinding geser.

Pada *drift* 2.5 % siklus 7.2 terdapat retak lentur baru pada ketinggian sekitar 30 cm dan perpanjangan retak lentur di dasar dinding geser. Retak geser pada siklus ini juga bertambah dari siklus yang sebelumnya dan perpanjangan retak lentur geser. Pada bagian samping dinding geser terdapat retak lentur. Pada siklus 7.4 terdapat retak lentur baru pada ketinggian sekitar 16 cm dan perpanjangan retak lentur di dasar dinding geser. Terdapat retak geser baru di ketinggian sekitar 12 cm serta perpanjangan retak lentur geser. Pada siklus ini terdapat retak lentur di samping bagian bawah dan ditengah dinding geser.

Pada *drift* 3 % siklus 8.2 terdapat perpanjangan retak geser yang cukup panjang di ketinggian sekitar 10cm dan 20 cm. Retak lentur geser juga semakin bertambah panjang dari retak lentur geser yang sebelumnya. Pada bagian samping dinding geser terdapat retak lentur yang menyatu. Pada siklus 8.4 terdapat perpanjangan retak lentur.

Pada akhir pengujian yaitu *drift* 3.5 % siklus 9.2 retak geser memanjang menuju ke dasar dinding geser. Terdapat retak lentur geser yang cukup panjang diketinggian sekitar 15-20 cm. Pada siklus 9.4 terdapat pertambahan panjang retak geser dan lentur geser dari siklus sebelumnya.

4.4 Panjang Retak

Salah satu variabel untuk mengetahui pola retak satu benda uji adalah panjang retak. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui proses terjadinya retak dalam menentukan perilaku retak yang terjadi pada dinding geser. Saat pengujian berlangsung, pengamatan retak dilakukan pada setiap peningkatan *drift* seiring dengan peningkatan beban lateral yang diberikan. Tiap retak yang terjadi diberi tanda dengan spidol mengikuti pola retak, serta diberi penomoran pembebanan pada siklus *drift* tertentu. Selain diberi tanda dan penomoran pada retak, dilakukan juga dokumentasi pola retak pada tiap *drift*nya. Setelah dilakukan dokumentasi, pengujian dilanjutkan dengan pembebanan selanjutnya. Pengukuran langsung terhadap panjang retak tidak dilakukan pada saat pengujian. Hal ini dikarenakan pola retak masih terjadi sampai terjadi beban lateral ultimate. Berdasarkan hasil panjang retak, maka dilakukan identifikasi jenis retak yang terjadi pada dinding geser.

4.4.1 Benda Uji SW-50-1,5

Analisa panjang retak benda uji dinding geser dibatasi pada retak dominan yang terjadi pada sisi depan dan belakang dinding geser. Berikut adalah tabel panjang retak dan jenis retak dari benda uji SW-50-1,5.

Tabel 4.7
Panjang dan Jenis Retak Sisi Depan Benda Uji SW-50-1,5

Nomor Siklus Retak	<i>Drift</i> (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
2.8	-0.50	-3.0	-2317	2.70	Lentur
3.4-1	-0.75	-4.5	-3244	5.30	Lentur
3.4-2	-0.75	-4.5	-3244	3.00	Lentur
3.8-1	-0.75	-4.5	-2900	3.00	Lentur
3.8-2	-0.75	-4.5	-2900	2.00	Lentur
4.2-1	1.00	6.0	3056	12.00	Lentur
4.2-2	1.00	6.0	3056	6.70	Lentur Geser
4.4	-1.00	-6.0	-3762	5.70	Lentur
4.8	-1.00	-6.0	-3844	6.40	Lentur Geser
5.2	1.50	9.0	4270	11.30	Lentur Geser
5.4-1	-1.50	-9.0	-4465	6.80	Lentur
5.4-2	-1.50	-9.0	-4465	10.60	Geser
5.4-3	-1.50	-9.0	-4465	5.20	Geser

Nomor Siklus Retak	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
5.8	-1.50	-9.0	-4565	1.30	Lentur Geser
6.2-1	2.00	12.0	5218	13.90	Geser
6.2-2	2.00	12.0	5218	8.30	Geser
6.2-3	2.00	12.0	5218	5.80	Geser
6.2-4	2.00	12.0	5218	8.40	Geser
6.2-5	2.00	12.0	5218	8.00	Lentur Geser
6.4-1	2.00	12.0	5046	1.30	Lentur
6.4-2	2.00	12.0	5046	3.20	Geser
7.2-3	2.5	15.0	5892	4.80	Geser
7.2-4	2.5	15.0	5892	3.20	Geser
7.2-5	2.5	15.0	5892	1.00	Geser
7.2-6	2.5	15.0	5892	2.70	Geser
7.2-7	2.5	15.0	5892	6.50	Geser
8.2-1	3	18.0	6766	24.40	Geser
8.2-2	3	18.0	6766	10.20	Geser
8.2-3	3	18.0	6766	5.00	Geser
8.2-4	3	18.0	6766	3.00	Geser
8.2-5	3	18.0	6766	4.00	Geser
8.2-6	3	18.0	6766	1.80	Geser
8.2-7	3	18.0	6766	2.70	Geser
8.4	3	18.0	6802	2.20	Lentur Geser
9-1	3.5	21.0	7274	2.60	Lentur
9-2	3.5	21.0	7274	4.60	Geser
9-3	3.5	21.0	7274	2.60	Geser
10	4	24.0	7822	4.50	Lentur
11-1	4.5	27.0	8500	2.40	Geser
11-2	4.5	27.0	8500	5.6	Geser

Retak terpanjang sisi depan SW-50-1,5 = 24,4 cm

Rata-rata retak sisi depan SW-50-1,5 = 5,35 cm

Tabel 4.8
Panjang dan Jenis Retak Sisi Belakang Benda Uji SW-50-1,5

Nomor Siklus Retak	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
3.4	0.75	-4.50	-3244	12.40	Lentur
3.8-1	0.75	-4.50	-2900	1.60	Lentur
3.8-2	0.75	-4.50	-2900	6.60	Lentur
4.2-1	1	6.00	3056	2.60	Lentur
4.2-2	1	6	3056	8.10	Lentur
4.4-1	1	-6	-3762	7.90	Lentur
4.4-2	1	-6	-3762	8.00	Lentur
4.4-3	1	-6	-3762	2.00	Lentur
4.4-4	1	-6	-3762	2.60	Lentur
4.6	1	6	2964	2.90	Lentur
4.8	1	-6	-3844	1.20	Lentur
5.2-1	1.5	9	4270	4.70	Lentur
5.2-2	1.5	9	4270	1.30	Lentur
5.2-3	1.5	9	4270	10.90	Lentur Geser
5.4-1	1.5	-9	-4465	2.40	Lentur Geser
5.4-2	1.5	-9	-4465	2.40	Geser
5.6	1.5	9	4278	3.80	Lentur
5.8-1	1.5	-9	-4565	2.00	Geser
5.8-2	1.5	-9	-4565	5.00	Geser
6.2-1	2	12	5218	6.30	Lentur Geser
6.2-2	2	12	5218	11.00	Geser
6.2-3	2	12	5218	15.80	Geser
6.2-4	2	12	5218	14.30	Lentur Geser
6.2-5	2	12	5218	8.10	Lentur Geser
6.4-1	2	12	5046	7.20	Lentur Geser
6.4-2	2	12	5046	3.00	Geser
7.2-1	2.5	15	5892	4.80	Lentur Geser
7.2-2	2.5	15	5892	6.70	Lentur
7.4	2.5	15	5780	1.50	Geser
8.2-1	3	18	6766	1.90	Geser
8.2-2	3	18	6766	4.60	Geser
8.2-3	3	18	6766	10.10	Geser
8.2-4	3	18	6766	2.30	Lentur Geser
8.2-5	3	18	6766	4.00	Geser
8.4-1	3	18	6802	3.40	Geser
8.4-2	3	18	6802	1.90	Geser

Nomor Siklus Retak	<i>Drift</i> (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
9-1	3.5	21	7274	8.00	Geser
9-2	3.5	21	7274	1.80	Geser
9-3	3.5	21	7274	4.90	Geser
9-4	3.5	21	7274	8.50	Geser
9-5	3.5	21	7274	2.20	Lentur Geser
9-6	3.5	21	7274	1.30	Geser
9-7	3.5	21	7274	9.20	Geser
9-8	3.5	21	7274	4.70	Geser
10-1	4	24	7822	6.00	Lentur Geser
10-2	4	24	7822	2.80	Geser
10-3	4	24	7822	3.50	Geser
10-4	4	24	7822	2.20	Geser
11-1	4.5	27	8500	2.20	Geser
11-2	4.5	27	8500	3.7	Geser

Retak terpanjang sisi belakang SW-50-1,5 = 15,8 cm

Rata-rata retak sisi belakang SW-50-1,5 = 5,03 cm

Pada tabel diatas diketahui panjang retak maksimum untuk sisi depan adalah 24.40 cm dan sisi belakang adalah 15.80 cm. Sedangkan rata-rata retak untuk sisi depan adalah 5.35 cm dan sisi belakang adalah 5.03 cm. Retak awal terjadi pada *drift* -0.5 % dengan beban -2317 kg. Retak pertama yang terjadi adalah berupa retak lentur berbentuk garis horizontal, yang terletak di grid ke 6 dari dasar dinding geser. Pada *drift* 0,75% retak yang terjadi adalah retak lentur baru pada kedua sisi. Pada *drift* 1% cenderung terjadi perpanjangan retak dari retak sebelumnya. Pada *drift* 1,5 % sudah terjadi peralihan dari retak lentur ke retak geser.

Pada benda uji SW-50-1,5 retak geser terjadi pertama kali pada *drift* -1.5% dengan panjang retak 10,60 cm dengan pembebanan 4465 kg. Retak geser ini terletak dari grid 6 sampai ke grid ke 4. Pada *drift* 2% dengan pembebanan 5218 kg cenderung terjadi retak geser. Retak terpanjang sisi belakang dengan panjang retak 15,80 cm berupa retak geser terjadi pada *drift* 2%. Pada *drift* 2,5 % masih cenderung terjadi retak geser berupa pertambahan dari retak yang sebelumnya. Pada *drift* 3% ini cenderung terjadi retak geser, retak yang terjadi berupa perpanjangan retak geser dari retak sebelumnya dan terdapat retak baru. Pada sisi depan terjadi retak geser yang

menjadi retak terpanjang dengan panjang 24,40 cm pada pembebanan 6766 kg. Pada *drift* 3,5 % retak yang terjadi berupa perpanjangan retak geser dari retak sebelumnya. Pada *drift* 4 dan 4,5 % cenderung terjadi retak geser, berupa perpanjangan retak geser dari retak sebelumnya.

4.4.2 Benda Uji SD-300-1,5

Analisa panjang retak benda uji dinding geser dibatasi pada retak dominan yang terjadi pada sisi depan dan belakang dinding geser. Berikut adalah tabel panjang retak dan jenis retak dari benda uji SD-300-1,5.

Tabel 4.9

Panjang dan Jenis Retak Sisi Depan Benda Uji SD-300-1,5

Nomor Siklus Retak	<i>Drift</i> (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
3.8	-0.75	-4.50	-3872	12.8	Lentur Geser
4.4	-1.00	-6.00	-4430	6.3	Geser
4.8	-1.00	-6.00	-4572	4.7	Lentur Geser
5.2-1	1.50	9.00	3132	6.3	Lentur
5.2-2	-1.50	-9.0	3132	1.8	Geser
5.4	1.50	9.00	3050	4.8	Geser
6.2	2.00	12.00	3856	1.8	Geser
7.2	2.50	15.00	4610	4.1	Geser
7.4-1	2.50	15.00	4602	6.7	Lentur
7.4-2	2.50	15.00	4602	2.8	Geser
8.2-1	3.00	18.00	5108	17.7	Geser
8.2-2	3.00	18.00	5108	2.7	Geser
9.2-1	3.50	21.00	6160	6.2	Geser
9.2-2	3.50	21.00	6160	18.8	Geser
9.2-3	3.50	21.00	6160	5.9	Geser
9.2-4	3.50	21.00	6160	10.2	Geser
9.2-5	3.50	21.00	5998	9	Lentur Geser
9.4-1	3.50	21.00	5998	1.4	Geser
9.4-2	4.50	27.00	5998	4.3	Geser

Retak terpanjang sisi depan SD-300-1,5 = 18,8 cm

Rata-rata retak sisi depan SD-300-1,5 = 6,43 cm

Tabel 4.10

Panjang dan Jenis Retak Sisi Belakang Benda Uji SD-300-1,5

Nomor Siklus Retak	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Panjang Retak (cm)	Jenis Retak
3.4-1	-0.75	-4.50	-3565	6.80	Lentur
3.8-1	-0.75	-4.50	-3872	11.70	Lentur
3.8-2	-0.75	-4.5	-3872	2.80	Lentur
3.8-3	-0.75	-4.5	-3872	11.50	Lentur
4.4-1	-1.00	-6.00	-4430	3.50	Lentur
4.4-2	-1.00	-6.0	-4430	4.50	Lentur
4.6	1.00	6.00	2436	9.10	Lentur Geser
4.8-1	-1.00	-6.00	-4572	4.30	Lentur Geser
4.8-2	-1.00	-6.00	-4572	14.90	Lentur
5.2-1	1.50	9.00	3132	17.00	Lentur Geser
5.2-2	1.50	9.00	3132	2.80	Lentur
6.2	2.00	12.00	3856	5.00	Lentur
6.4-1	2.00	12.00	3834	6.50	Lentur
6.4-2	2.00	12.00	3834	1.50	Lentur Geser
6.4-3	2.00	12.00	3834	3.50	Lentur Geser
7.2-1	2.50	15.00	4610	4.50	Geser
7.2-2	2.50	15.0	4610	3.90	Geser
7.2-3	2.50	15.00	4610	6.90	Geser
7.2-4	2.50	15.0	4610	3.50	Lentur Geser
7.4-1	2.50	15.00	4602	2.80	Lentur Geser
7.4-2	2.50	15.00	4602	5.50	Lentur Geser
8.2-1	3.00	18.00	5108	1.70	Geser
8.2-4	3.00	18.0	5108	6.00	Lentur Geser
8.4	3.00	18.00	5192	1.10	Lentur
9.2	3.50	21.00	6160	3.60	Geser
9.4-1	3.50	21.00	5998	2.80	Geser
9.4-2	3.50	21.0	5998	2.00	Lentur

Retak terpanjang sisi depan SD-300-1,5 = 17,0 cm

Rata-rata retak sisi depan SD-300-1,5 = 5,58 cm

Pada tabel diatas diketahui panjang retak maksimum untuk sisi depan adalah 18,8 cm dan sisi belakang adalah 17,0 cm. Sedangkan rata-rata retak untuk sisi depan adalah 6,43 cm dan sisi belakang adalah 5.58 cm. Retak awal terjadi pada *drift* -0,75 % dengan beban -3872 kg. Pada *drift* 1% retak baru yang terjadi dominan retak-retak lentur. Pada *drift* 1,5 % terjadi retak lentur geser yang menjadi retak terpanjang pada

sisi belakang sepanjang 17 cm pada pembebanan 3132 kg. Pada *drift* 2 % terjadi peralihan retak menjadi retak-retak geser. Pada *drift* 2,5 % dengan pembebanan 4610 kg, retak yang terjadi sudah dominan retak geser. Pada *drift* 3 % retak geser yang terjadi cenderung perpanjangan dari retak geser yang sebelumnya. Pada *drift* 3,5 % terjadi retak terpanjang pada sisi depan yaitu retak geser dengan panjang 18,8 cm pada pembebanan 6160 kg. selebihnya retak-retak yang terjadi merupakan perpanjangan dari retak yang sebelumnya.

4.5 Perbandingan Benda Uji

Perbandingan benda uji dilihat dari perbedaan aspek rasio dindig geser. Pada pembahasan akan dibandingkan data penelitian dinding geser aspek rasio 1,5 dengan data penelitian dari peneliti sebelumnya yang mana dinding geser tersebut memiliki aspek rasio 2. Sehingga dapat diketahui pengaruh variabel tersebut terhadap momen kapasitas serta pola retak

4.5.1 Benda Uji SW-50-1,5 dengan SD-300 Aspek Ratio 1,5

Tabel14.11

Perbandingan Benda Uji SW-50-1,5 dengan SD-300-1,5

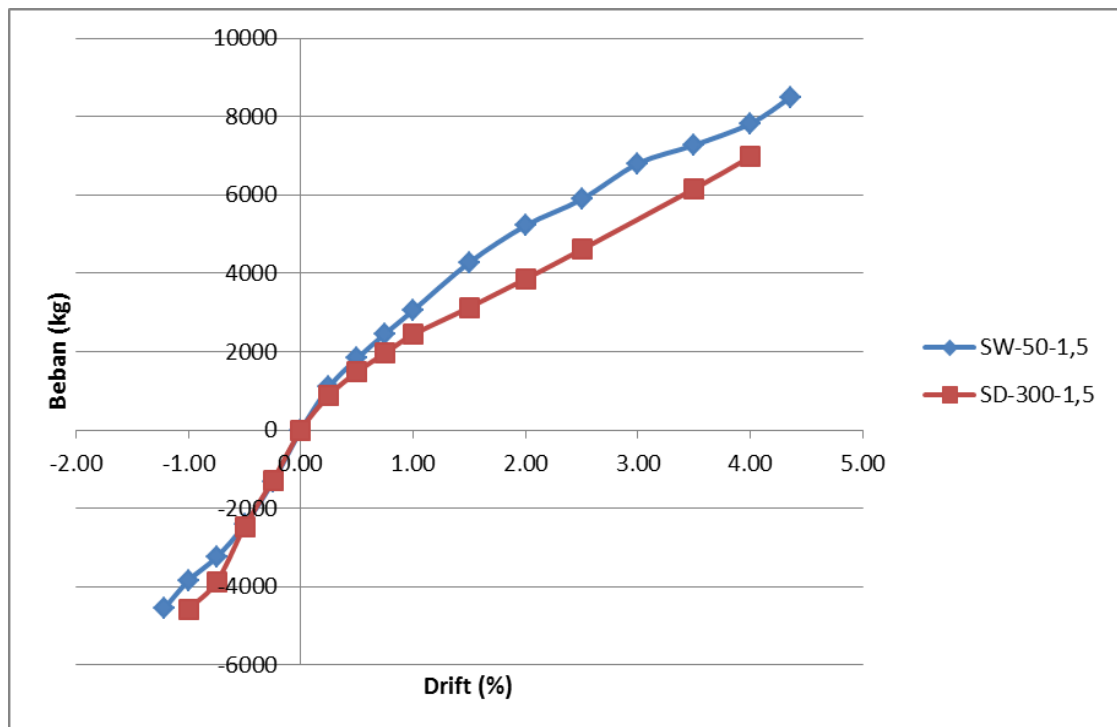
Ket	Dinding Geser			
	SW-50-1,5		SD-300-1,5	
	Mu (kgm)	Pu (kg)	Mu (kgm)	Pu (kg)
Teoritis	5205.230	8675.383	5027.84	8378.933
Aktual	5100	8500	4183.20	6972.00
Selisih (%)	2.022	2.022	16.799	16.791

Benda uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 merupakan dua benda uji yang memiliki aspek rasio yang sama yaitu 1,5 dengan rasio tulangan vertikal dan horizontal yang sama, tetapi memiliki perbedaan jarak antar tulangan horizontal. SW-50-1,5 menggunakan tulangan horizontal dengan perletakan normal dengan jarak 150 mm, sedangkan SD-300-1,5 menggunakan tulangan horizontal yang didobel dengan jarak 300 mm.

- Momen Kapasitas Dinding Geser

Perbedaan pada kedua benda uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5 terletak pada pemasangan dan jarak tulangan horizontal. Pada perhitungan teoritis, perbedaan

ini berpengaruh terhadap besarnya beban lateral yang mampu ditahan dinding geser. Berdasarkan perhitungan teoritis, beban lateral maksimum yang diperoleh SW-50-1,5 adalah 8675,383 kg sedangkan SD-300-1,5 adalah 8378,933 kg. Pada saat pengujian beban lateral maksimum yang didapat oleh SW-50-1,5 adalah 8500 kg dan SD-300-1,5 adalah 6972,0 kg. Pada benda uji SW-50-1,5 terdapat selisih sebesar 2,022%, sedangkan untuk benda uji SD-300-1,5 terdapat selisih yang cukup besar yaitu 16,791 %. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat, sehingga tidak didapatkan nilai beban lateral aktual maksimum untuk masing-masing benda uji. Pada saat pengujian juga terjadi masalah teknis lainnya seperti tidak konstannya pembebanan serta kondisi *loading frame* yang kurang memadai.

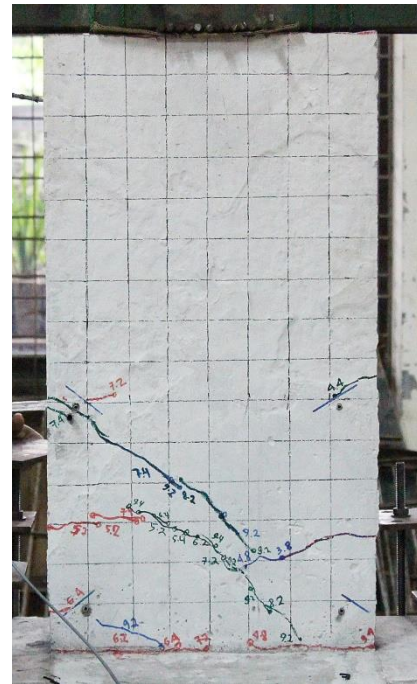


Gambar 4.7 Envelope P-Drift Benda Uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5.

- Mekanisme Retak



(a) SW-50-1,5 drift 4,5%



(b) SD-300-1,5 drift 4%

Gambar 4.8 Retak Akhir SW-50-1,5 dan SD-300-1,5

Pada benda uji SW-50-1,5, retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,5% (-) dengan beban lateral sebesar 2317 (-) kg. Pada kondisi positif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 1 % (+) dengan beban lateral 2964 (+) kg. Sedangkan, pada benda uji SD-300-1,5, retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% (-) dengan beban lateral sebesar 3565 (-) kg. Pada kondisi positif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 1 % (+) dengan beban lateral 2436 (+) kg.

Jenis retak pertama yang terjadi pada kedua benda uji adalah sama, yaitu retak lentur. Untuk benda uji SW-50-1,5 retak terfokus pada bagian dasar dinding geser sampai grid ke-6, sedangkan untuk benda uji SD-300-1,5 pola retak yang terjadi menyebar di grid 3 dan 6. Retak terpanjang benda uji SW-50-1,5 adalah 24,4 cm, sedangkan untuk benda uji SD-300-1,5 adalah 18,8 cm.

4.5.2 Benda Uji SD-300 Aspek Ratio 1,5 dengan SD-300 Aspek Ratio 2,0

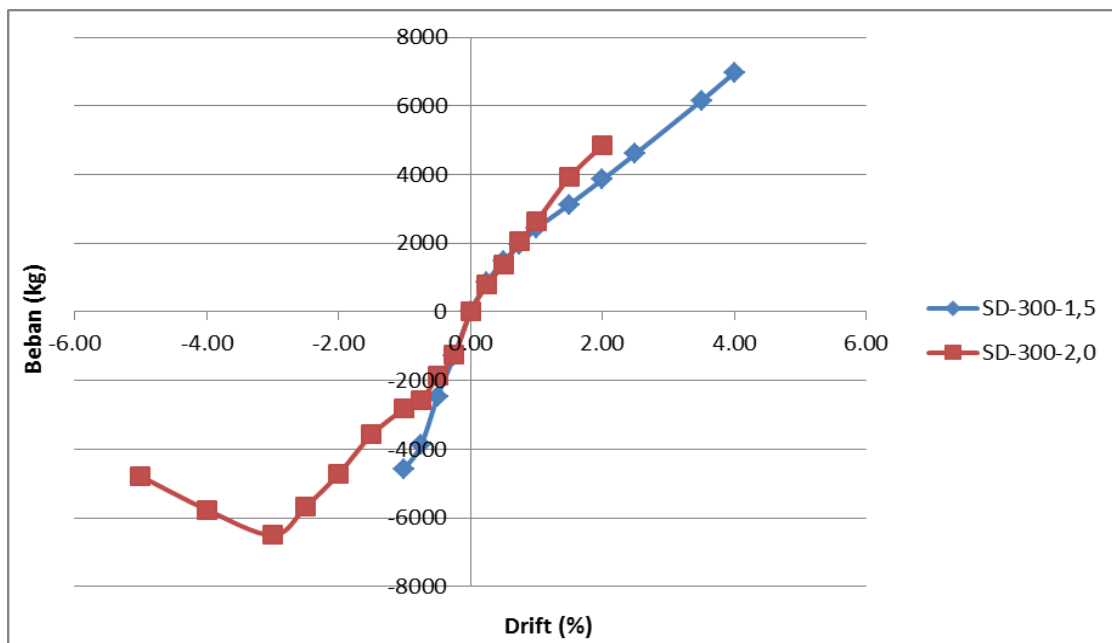
- Momen Kapasitas Dinding Geser

Tabel 4.12

Perbandingan Benda Uji SD-300-1,5 dengan SD-300-2,0

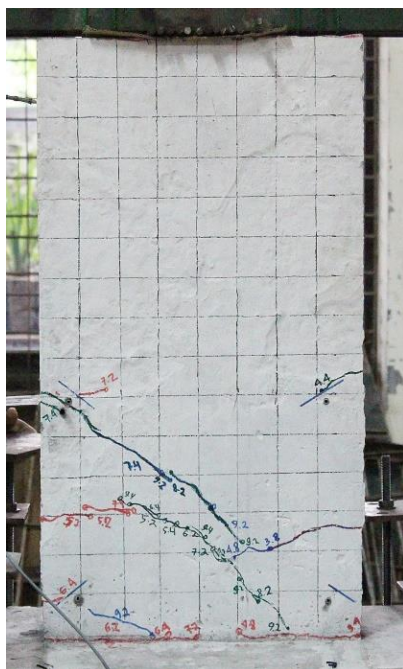
SD-300	Aspek Rasio			
	1.5		2	
	Mu (kgm)	Pu (kg)	Mu (kgm)	Pu (kg)
Teoritis	5027.84	8378.933	4744.079	5930.098
Aktual	4183.20	6972	5200.8	6501
Selisih (%)	16.799	16.791	8.782	8.782

Perbedaan pada kedua benda uji SD-300 ini adalah perbedaan aspek rasio tinggi dan lebar dinding geser. Pada perhitungan teoritis, perbedaan ini berpengaruh terhadap besarnya beban lateral yang mampu ditahan dinding geser. Berdasarkan perhitungan teoritis, beban lateral maksimum yang diperoleh SD-300-1,5 adalah 8378.933 kg sedangkan SD-300-2,0 adalah 5930.098 kg. Pada saat pengujian beban lateral maksimum yang didapat oleh SW-50-1,5 aspek rasio 1,5 adalah 6972 kg dan SD-300-2,0 adalah 6501 kg. Pada benda uji SD-300-1,5 terdapat selisih yang cukup besar sebesar 16,791%, sedangkan untuk benda uji SD-300-2,0 terdapat selisih yaitu 8,782 %. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat, sehingga tidak didapatkan nilai beban lateral aktual maksimum untuk benda uji aspek rasio 1,5. Pada saat pengujian juga terjadi masalah teknis lainnya seperti tidak konstannya pembebanan serta kondisi *loading frame* yang kurang memadai.

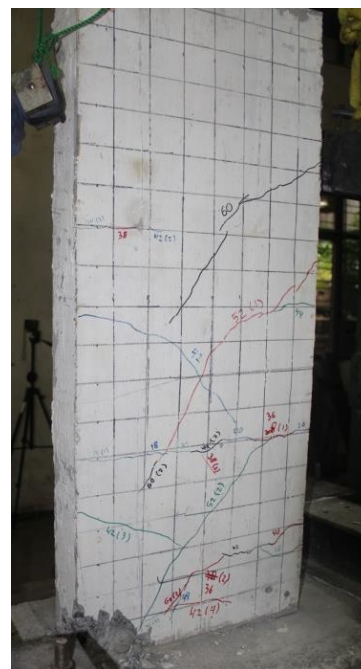


Gambar 4.9 Envelope P-Drift Benda Uji SD-300-1,5 dan SD-300-2,0.

- Mekanisme Retak



(a) SD-300-1,5 drift 4%



(b) SD-300-2,0 drift 5%

Gambar 4.10 Retak Akhir SD-300-1,5 dan SD-300-2,0.

Pada benda uji SD-300-1,5 retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% (-) dengan beban lateral sebesar 3565 (-) kg. Pada kondisi positif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 1 % (+) dengan beban lateral 2436 (+) kg. Sedangkan pada benda uji SD-300-2,0, retak pertama kali terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,5% (+) dengan beban lateral sebesar 1380 (+) kg. Pada kondisi negatif, retak terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% (-) dengan beban lateral 2296 (-) kg. Jika dibandingkan beban lateral yang terjadi pada retak pertama kali, pada benda uji SD-300-2,0 beban lateral yang terjadi lebih kecil dibandingkan SD-300-1,5. Untuk retak pertama yang terjadi kedua benda uji sama, yaitu retak lentur. Retak yang terjadi pada kedua benda uji SD-300 menyebar pada grid 3 dan 6.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan pengaruh aspek rasio terhadap pola retak dan momen kapasitas pada dinding geser bertulangan horizontal berjarak lebar dibawah pebebanan siklik (Quasi-Static) adalah sebagai berikut:

1. Perbandingan aspek rasio terhadap pola retak benda uji SD-300 aspek rasio 1,5 dan 2 adalah sama dimulai dari retak lentur kemudian menjadi retak geser. Pada benda uji SD-300-1,5 retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% dengan beban lateral sebesar 3565 kg. Sedangkan pada benda uji SD-300-2, retak pertama kali terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,5% dengan beban lateral sebesar 1380 kg. Jika dibandingkan beban lateral yang terjadi pada retak pertama kali, pada benda uji SD-300-1,5 beban lateral yang terjadi lebih besar dibandingkan benda uji SD-300-2. Untuk nilai Mu SD-300-1,5 didapatkan 4183,2 kgm dengan beban lateral 6972 kg saat mencapai *drift* 4%, sedangkan untuk nilai Mu SD-300-2,0 didapatkan 5200,8 kgm dengan beban lateral 6501 kg saat mencapai *drift* 5%. Nilai Mu yang didapatkan pada benda uji SD-300-1,5 bukan Mu yang sesungguhnya, karena keterbatasan alat, maka nilai Mu tidak dapat dicapai.
2. Perbandingan benda uji SW-50-1,5 dan SD-300-1,5. Pada kedua benda uji ini membandingkan jarak tulangan horizontal dinding geser pada aspek rasio yang sama. Pada benda uji SW-50-1,5, retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,5% dengan beban lateral sebesar 2317 kg. Sedangkan, pada benda uji SD-300-1,5, retak pertama terjadi pada siklus pertama untuk *drift* 0,75% dengan beban lateral sebesar 3565 kg. Dari hasil tersebut didapatkan momen retak SD-300-1,5 lebih besar dari SW-50-1,5. Untuk nilai Mu SW-50-1,5 didapatkan 5100 kgm dengan beban lateral sebesar 8500 kg saat mencapai *drift* 4,5%, sedangkan nilai Mu SD-300-1,5 didapatkan 4183,2 kgm dengan beban lateral 6972 kg saat mencapai *drift* 4%. Nilai Mu yang didapatkan bukan Mu yang sesungguhnya, karena keterbatasan alat, maka nilai Mu tidak dapat dicapai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan serta kesimpulan yang telah dikemukakan, berikut adalah beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan untuk penelitian serupa kedepannya, yaitu:

1. Dalam mendesain benda uji diharap mengukur terlebih dahulu *frame* yang akan digunakan serta kapasitas alat di laboratorium agar didapatkan data yang maksimal. Perlunya peninjauan pada kekakuan *frame* baja karena umur alat yang sudah lama sehingga bisa terjadi pelelehan pada beberapa bagian yang bisa menyebabkan perpindahan yang tak terduga di beberapa sisi *frame*.
2. Diperlukan *anchor* (tambatan) yang stabil agar pengujian dapat kekakuratan data.
3. Perlunya pembebanan aksial yang dapat bergerak dinamis mengikuti arah pembebanan pada benda uji sehingga kekakuratan data dapat dipertahankan.
4. Pastikan peralatan yang akan digunakan di laboratorium dalam keadaan baik sebelum pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI-318. (2002). *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*. Michigan : American Concrete Institute.
- Al-Sulayfani,B & Al-Tae, H. (2008). *Modeling of Stress-Strain Relationship for Fibrous Concrete Under Cyclic Loads*. Eng. Tech. Vol.26, No.1, pp. 45-53.
- Allo, Jonathan. (2017). *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Statik)*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Agus. (2002). *Rekayasa Gempa untuk Teknik Sipil*. Padang : Institut Teknologi Padang.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 2847:2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 1726:2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 Tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN.
- C.V.R. Murty. (2005). *IITK-BMTPC Earthquake Tip 23 Learning Earthquake Design and Construction*. Indian Institute of Technology Kanpur, India.
- Dini, Restian. (2008). *Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal Terhadap Lebar Retak Pada Bangunan*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Univeritas Brawijaya Malang.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : PT. Gramedia.
- Fintel, M. (1991). *Shearwalls-An Answer for Seismic Resistance*. Point of View: 30 Years of observation on the Performance of Buildings with Shearwalls in Earthquake, Concrete International, Vol. 13, No.7.
- 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.
- Lu, X.L. & Chen, Y.T. (2005). Modeling of Coupled Shear Walls and Its Experimental Verification. *ASCE Journal of Structural Engineering*. Vol 131, No. 1: 75-84.
- McCormac, C. Jack. (2004). *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- McCormac, C. Jack & Brown, Russel H. (2014). *Design Reinforced Concrete 9th* . United States of America : John Wiley and Sons.
- Nawy, Edward. (1990). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : PT. Refika Aditama.
- Pantazopoulou, S.J & Imran, I. (1992). *Slab-Wall Connections Under Lateral Forces*. ACI Structural Journal, V.89, No.5, pp. 515-527.

- Park, R & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. Canada : John Wiley and Sons.
- Paulay, T. & Priestley, M.J.N. (1994). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: Wiley Interscience.
- Pranata, Yosafat Aji & Yunizar. (2011). *Pemodelan Dinding Geser Sebagai Elemen Kolom Ekivalen Pada Gedung Beton Bertulang Bertingkat Rendah*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 7 No.1. Bandung : Universitas Kristen Maranatha.
- Randha, Yehuda Keyzia. (2017). *Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Ganda Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Randha, Y.K., Wibowo A., Wijaya, M.N. (2017). *Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Ganda terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas pada Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil 1 (1), pp. 59-67.
- Sembiring, Aldi Efrata. (2017). *Pengaruh Variasi Letak Tulangan Horizontal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Siddiq. S. (1992). *Pengaruh Sistem Perkuatan Terhadap Kekuatan dan Daktilitas Dinding Struktur Pasangan Bata Polos yang Telah Rusak Geser*. Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan II. Yogyakarta
- Silalahi, Andrew Timothy. (2017). *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekakuan Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Silalahi, Jogi. (2017). *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal dan Kekakuan Terhadap Pola Retak dan Momen Kapasitas Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Laporan Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Simanjuntak, Jackson Bernath. (2017). *Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Vertikal Terhadap Daktilitas dan Kekakuan Dinding Geser dengan Pembebanan Siklik (Quasi-Static)*. Laporan Skripsi, Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Triwiyono, A. (2004). *Perbaikan dan Perkuatan Bangunan Beton*. Bahan Ajar Program Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Uniform Bulding Code. (1997). *Structural Engineering Design Provisions*. International Conference of Building Officials.
- W. Setyonegoro, B., Sunardi., Sulastrri, J., Nugraha, P & Susilanto. (2012). *Analisis Sumber Gempabumi Pada Segmen Mentawai (Studi Kasus: Gempabumi 25 Oktober 2010)*. Jurnal Meterology dan Geofisika. 139-149.
- Watanabe, K., Niwa, J., Yokota, H & Iwanami, M. (2004). *Stress-Strain Relationship for the Localized Compressive Failure Zone of Concrete under Cyclic Loading*. Japan.

- Wibowo, A. (2012). *Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Buildings*. Tesis. Tidak dipublikasikan. Hawthorn: Swinburne University of Technology.
- 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.L., Lam, N.T.K. & Gad, E.F. (2013). *Seismic Performance of Lightly Reinforced Structural Walls for Design Purposes*. Magazine of Concrete Research. Vol. 65, No. 13: 809-828.
- Wibowo, A., Wilson, J.L., Lam, N.T.K. & Gad, E.F. (2014). *Discussion: Seismic performance of lightly reinforced structural walls for design purposes*. Magazine of Concrete Research. Vol. 66, Issue 20, April 2014 pages 1073-1074.
- Wibowo, A., Wilson, J.L., Lam, N.T.K. & Gad, E.F. (2014). *Drift Performance of Lightly Reinforced Concrete Coloumns*. Engineering Structure Journal, Elsevier. Vol. 59, February 2014, Pages 522-535.
- Wight, J.K. & MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete Mechanics and Design, Sixth Edition*. New Jersey: Pearson Education.
- Wilson JL., Wibowo A., Lam NTK, Gad EF., (2015). *Drift Behaviour of Lightly Reinforced Concrete Coloumns and Structural Walls for Seismic Design Applications*. Australian Journal of Structural Engineering, Vol. 16, No. 1, pp 62-74.

LAMPIRAN 1
DESAIN AWAL

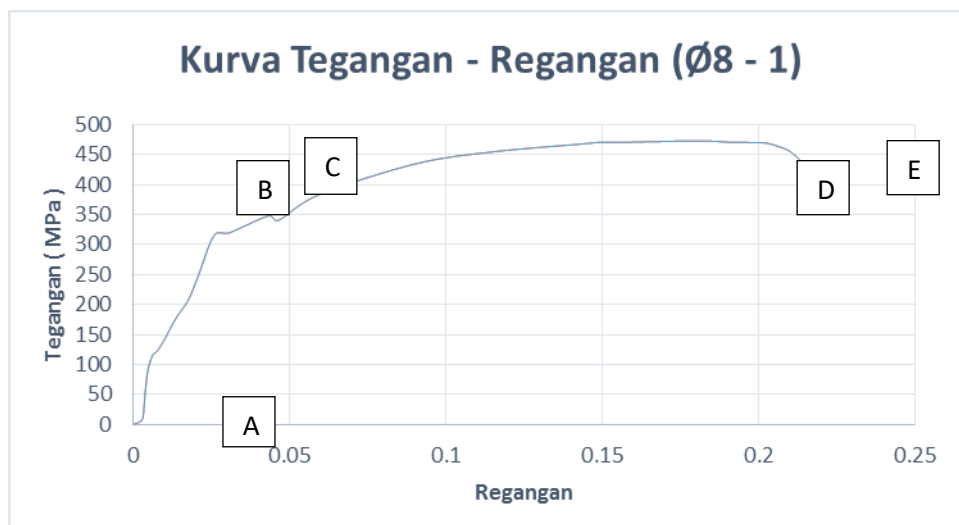
- 1.1 Uji Tarik Baja Tulangan
- 1.2 Perhitungan Teoritis Benda Uji SW-50-1,5
- 1.3 Perhitungan Teoritis Benda Uji SD-300-1,5

1.1 Uji Tarik Tulangan Baja

No Tulangan	Diameter (mm)	Diameter Aktual (mm ²)	A (mm ²)	P (N)	fy (Mpa)	
1	Ø8	7.88	48.744104	16406	336.57	
2	Ø8	7.88	48.744104	19660	403.33	
3	Ø8	7.88	48.744104	19335	396.66	
					fy	378.86

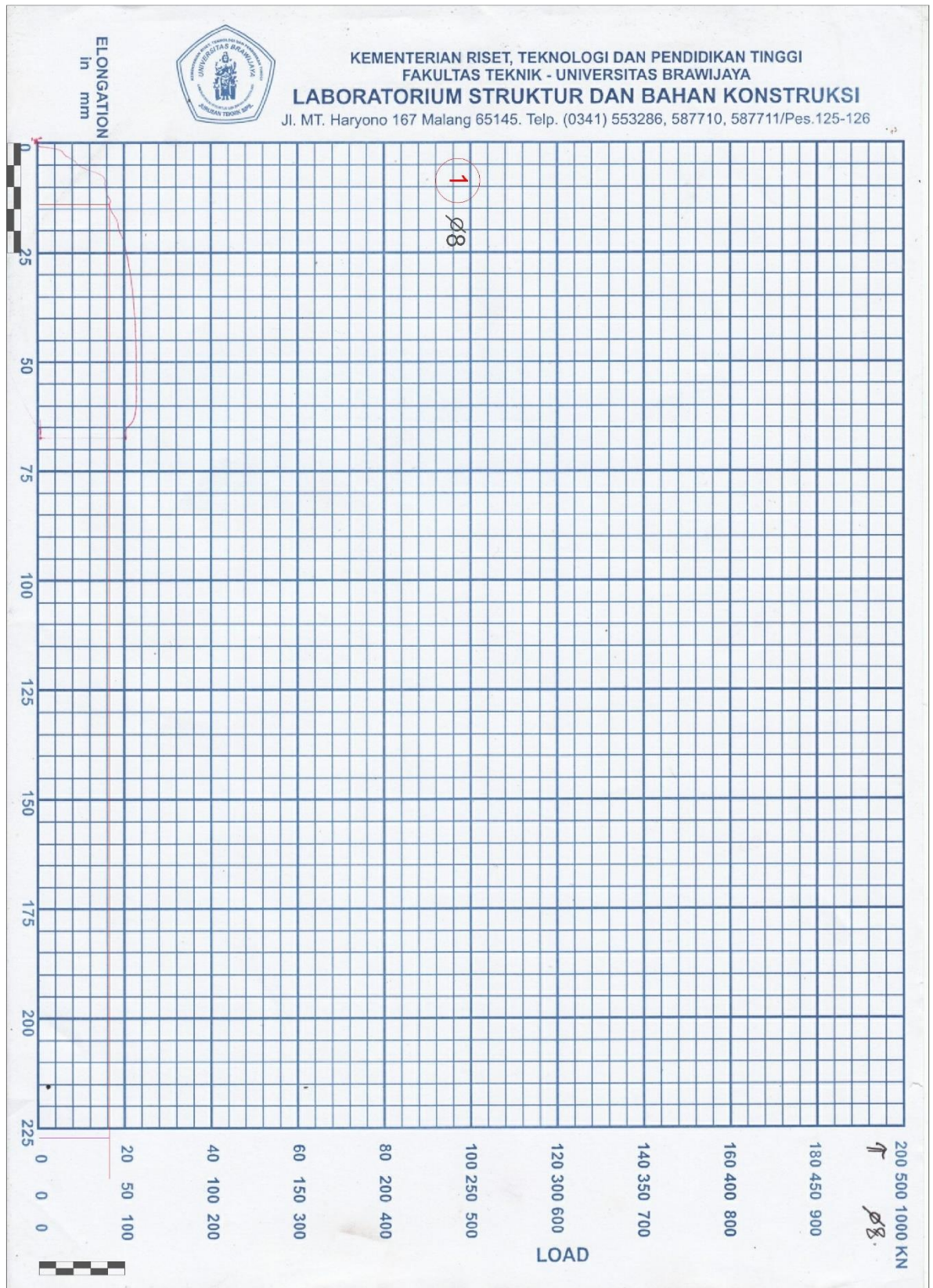
1. Tulangan Ø8 (1)

Berikut ini adalah hubungan tegangan-regangan dari masing-masing tulangan yang digunakan dalam pengujian.



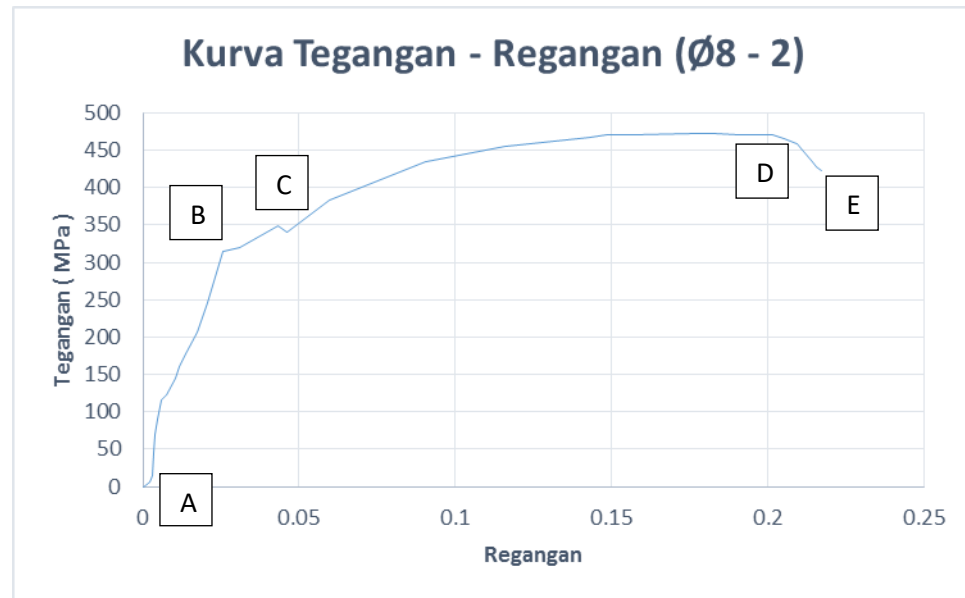
Dari grafik hubungan tegangan regangan baja tersebut, Titik A-B menunjukkan daerah elastis dari baja. Titik B-C menunjukkan daerah plastis dari baja, titik B merupakan besaran f_y (*yield stress*) tegangan dimana terbentuk daerah leleh. Dari grafik didapatkan nilai f_y sebesar 336,57 MPa. Titik C-D menunjukkan daerah *strain hardening*, titik D merupakan tegangan tarik maksimum dari baja tersebut. Setelah itu grafik menunjukkan penurunan, hingga pada titik E baja tersebut mengalami putus.

Elongasi (mm)	Beban (N)	Regangan	Tegangan (Mpa)
0	0	0	0
0.386	264.715	0.002	5.431
0.494	718.821	0.003	14.747
0.569	2182.288	0.004	44.770
0.647	3376.735	0.004	69.275
0.727	4405.466	0.005	90.379
0.965	5617.131	0.006	115.237
1.212	5967.933	0.008	122.434
1.643	7067.685	0.010	144.996
1.891	7846.766	0.012	160.979
2.254	8856.128	0.014	181.686
2.791	10093.619	0.017	207.074
3.283	11983.213	0.021	245.839
4.120	15372.861	0.026	315.379
4.921	15598.838	0.031	320.015
6.915	16976.219	0.043	348.272
7.407	16593.135	0.046	340.413
9.519	18706.553	0.059	383.771
14.477	21220.273	0.090	435.340
18.510	22195.201	0.116	455.341
22.850	22802.109	0.143	467.792
23.718	22937.695	0.148	470.574
24.817	22948.456	0.155	470.795
28.000	23049.607	0.175	472.870
29.396	23058.216	0.184	473.046
30.622	22950.608	0.191	470.839
32.288	22905.413	0.202	469.911
32.868	22683.740	0.205	465.364
33.484	22317.874	0.209	457.858
33.867	21874.529	0.212	448.763
34.257	21256.860	0.214	436.091
34.514	20880.232	0.216	428.364
34.730	20634.886	0.217	423.331



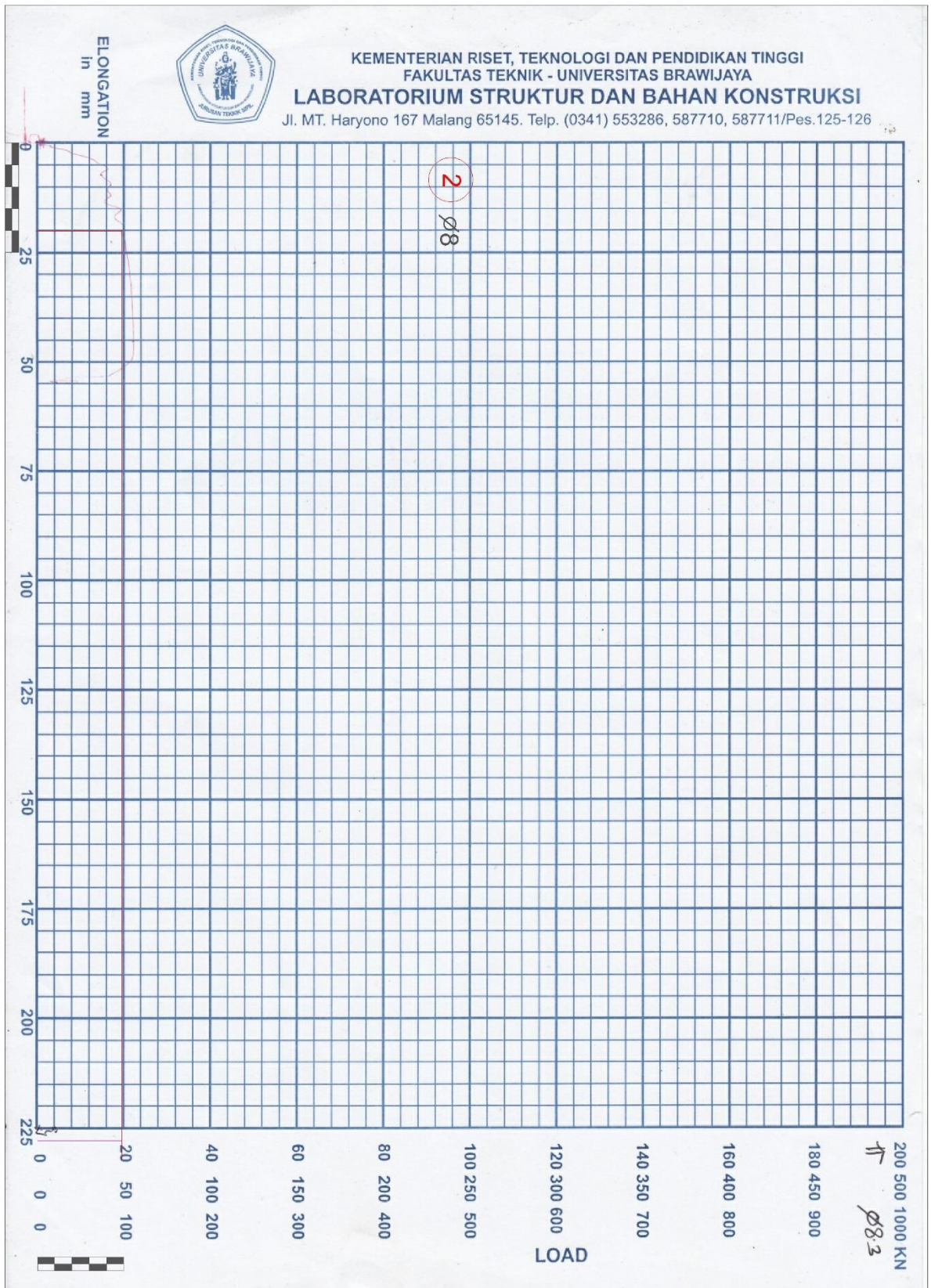
2. Tulangan Ø8 (2)

Berikut ini adalah hubungan tegangan-regangan dari masing-masing tulangan yang digunakan dalam pengujian.



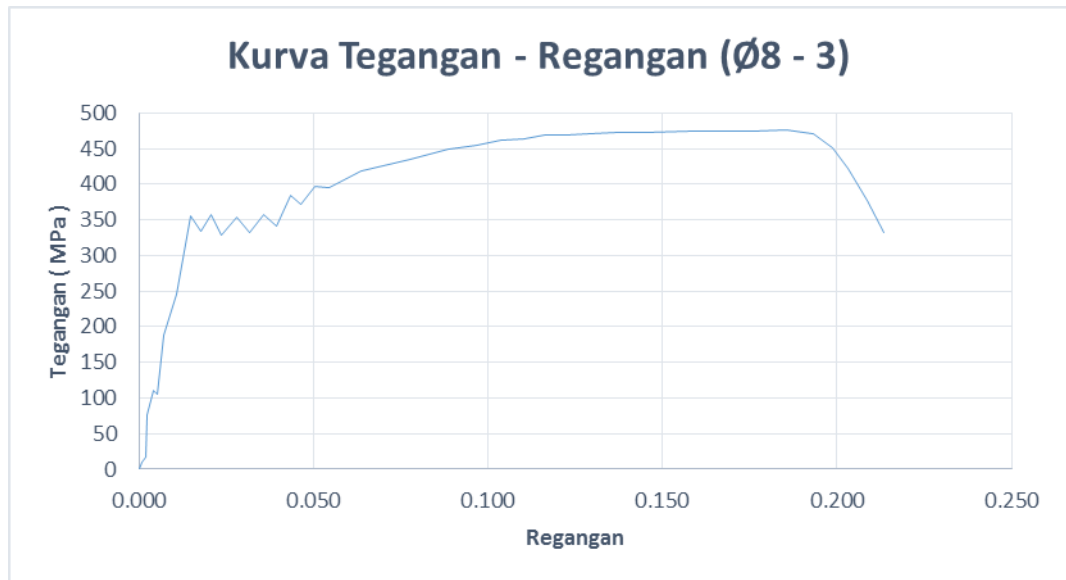
Dari grafik hubungan tegangan regangan baja tersebut, Titik A-B menunjukkan daerah elastis dari baja. Titik B-C menunjukkan daerah plastis dari baja, titik B merupakan besaran f_y (*yield stress*) tegangan dimana terbentuk daerah leleh. Dari grafik didapatkan nilai f_y sebesar 403,33 MPa. Titik C-D menunjukkan daerah *strain hardening*, titik D merupakan tegangan tarik maksimum dari baja tersebut. Setelah itu grafik menunjukkan penurunan, hingga pada titik E baja tersebut mengalami putus.

Elongasi (mm)	Beban (N)	Regangan	Tegangan (Mpa)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.197	609.061	0.001	12.495
0.308	2898.956	0.002	59.473
0.493	3273.432	0.003	67.155
0.971	7151.619	0.006	146.718
1.520	9734.209	0.009	199.700
1.877	12568.600	0.012	257.849
2.396	14225.761	0.015	291.846
3.057	16552.244	0.019	339.574
3.729	14852.039	0.023	304.694
4.363	15848.488	0.027	325.137
4.909	17202.195	0.031	352.908
5.552	16343.484	0.035	335.292
6.241	17169.913	0.039	352.246
6.973	15603.142	0.044	320.103
7.545	17505.649	0.047	359.134
7.983	19492.091	0.050	399.886
8.957	18045.841	0.056	370.216
10.083	20256.107	0.063	415.560
10.671	19659.959	0.067	403.330
11.713	20467.018	0.073	419.887
13.229	20783.385	0.083	426.377
14.801	21327.881	0.093	437.548
15.712	21437.641	0.098	439.800
16.798	21715.270	0.105	445.495
17.606	21865.921	0.110	448.586
18.607	21954.159	0.116	450.396
19.274	22040.245	0.120	452.162
19.924	22132.788	0.125	454.061
20.691	22276.983	0.129	457.019
21.736	22315.72	0.136	457.814
22.667	22378.134	0.142	459.094
23.199	22399.656	0.145	459.536
23.880	22371.678	0.149	458.962
24.561	22479.285	0.154	461.169
25.384	22403.960	0.159	459.624
25.735	22328.634	0.161	458.079
26.047	22081.136	0.163	453.001
26.521	21510.815	0.166	441.301
27.102	20273.324	0.169	415.913
27.646	18575.272	0.173	381.077
27.966	16959.001	0.175	347.919



3. Tulangan Ø8 (3)

Berikut ini adalah hubungan tegangan-regangan dari masing-masing tulangan yang digunakan dalam pengujian.



Dari grafik hubungan tegangan regangan baja tersebut, Titik A-B menunjukkan daerah elastis dari baja. Titik B-C menunjukkan daerah plastis dari baja, titik B merupakan besaran f_y (*yield stress*) tegangan dimana terbentuk daerah leleh. Dari grafik didapatkan nilai f_y sebesar 396,66 MPa. Titik C-D menunjukkan daerah *strain hardening*, titik D merupakan tegangan tarik maksimum dari baja tersebut. Setelah itu grafik menunjukkan penurunan, hingga pada titik E baja tersebut mengalami putus.

Elongasi (mm)	Beban (N)	Regangan	Tegangan (Mpa)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.160	471.323	0.001	9.669
0.293	828.581	0.002	16.999
0.399	3701.711	0.002	75.942
0.682	5352.416	0.004	109.806
0.826	5167.330	0.005	106.009
1.126	9204.778	0.007	188.839
1.710	11946.626	0.011	245.089
2.360	17301.194	0.015	354.939
2.829	16268.159	0.018	333.746
3.289	17387.281	0.021	356.705
3.785	16024.965	0.024	328.757
4.471	17232.325	0.028	353.526
5.061	16218.659	0.032	332.731
5.694	17456.150	0.036	358.118
6.282	16623.265	0.039	341.031
6.980	18779.727	0.044	385.272
7.414	18123.319	0.046	371.805
8.086	19334.983	0.051	396.663
8.716	19276.875	0.054	395.471
10.197	20393.845	0.064	418.386
12.424	21198.752	0.078	434.899
14.197	21883.138	0.089	448.939
15.499	22188.744	0.097	455.209
16.597	22539.546	0.104	462.406
17.660	22645.002	0.110	464.569
18.560	22843.000	0.116	468.631
19.529	22866.674	0.122	469.117
20.607	22969.977	0.129	471.236
21.791	23056.064	0.136	473.002
23.109	23075.433	0.144	473.400
25.169	23163.672	0.157	475.210
28.052	23129.237	0.175	474.503
29.700	23176.585	0.186	475.475
30.936	22911.869	0.193	470.044
31.819	21967.072	0.199	450.661
32.489	20611.213	0.203	422.845
33.382	18407.403	0.209	377.633
34.146	16167.007	0.213	331.671

1.2 Perhitungan Teoritis Benda Uji SW-50-1,5

- Dimensi Dinding

Lebar dinding	:	l_w	=	400	mm
Tebal dinding	:	b_w	=	80	mm
Tinggi dinding	:	h_w	=	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

$$\rho_v = \frac{A_{st}}{b_w \times h_w}$$

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

$$\rho_v = 0,0244$$

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

- b. Rasio Tulangan Horizontal

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

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

$$\rho_h = 0,00813$$

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

- c. Rasio Badan

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

$$a = \frac{h_w}{l_w} = \frac{600}{400} = 1,5$$

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:

Kuat tekan beton	: f_c'	= 27,00	MPa
Tegangan leleh baja	: f_y	= 378,86	MPa
Lebar penampang dinding geser	: b	= 80	mm
Tinggi penampang dinding geser	: h	= 400	mm
Tinggi dinding geser	: l	= 600	mm
Tebal bruto selimut beton	: d_s	= 17,5	mm
Jumlah tulangan	: n	= 16	buah
Diameter tulangan	: D	= 7,88	mm
Modulus elastis baja	: E_s	= 200000	MPa
Faktor distribusi tegangan	: β_1	= 0,85	
Luas tulangan total	: A_{st}	= 780	mm ²
Rasio tulangan	: ρ	= 2,44	%
Faktor reduksi kekuatan	: ϕ	= 0,65	

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

- 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:

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

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

Lapisan ke-1	:	ε_{s1}'	=	0,00278
Lapisan ke-2	:	ε_{s2}'	=	0,00214
Lapisan ke-3	:	ε_{s3}'	=	0,00150
Lapisan ke-4	:	ε_{s4}'	=	0,00086
Lapisan ke-5	:	ε_{s5}'	=	0,00003
Lapisan ke-6	:	ε_{s6}	=	0,00061
Lapisan ke-7	:	ε_{s7}	=	0,00125
Lapisan ke-8	:	ε_{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:

Lapisan ke-1	:	f_{s1}'	=	378,856	MPa
Lapisan ke-2	:	f_{s2}'	=	378,856	MPa
Lapisan ke-3	:	f_{s3}'	=	299,306	MPa
Lapisan ke-4	:	f_{s4}'	=	171,351	MPa
Lapisan ke-5	:	f_{s5}'	=	5,009	MPa
Lapisan ke-6	:	f_{s6}	=	122,946	MPa
Lapisan ke-7	:	f_{s7}	=	250,901	MPa
Lapisan ke-8	:	f_{s8}	=	378,856	Mpa

Beban aksial nominal pada kondisi *balanced*:

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

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

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

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

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

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:

$$P_n > P_{nb}$$

$$c > c_b$$

$$e < e_b$$

– Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Keruntuhan tarik terjadi jika:

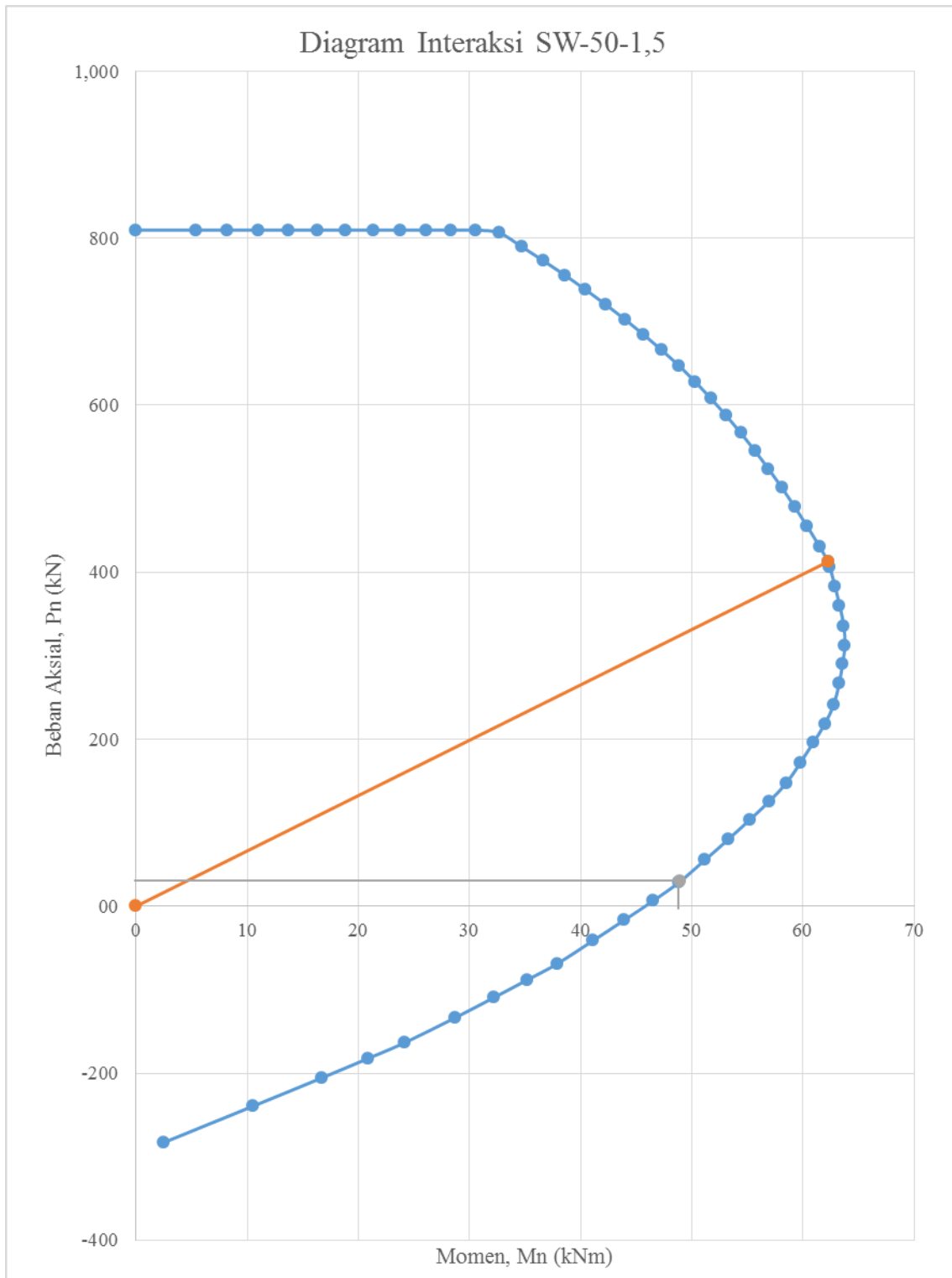
$$P_n < P_{nb}$$

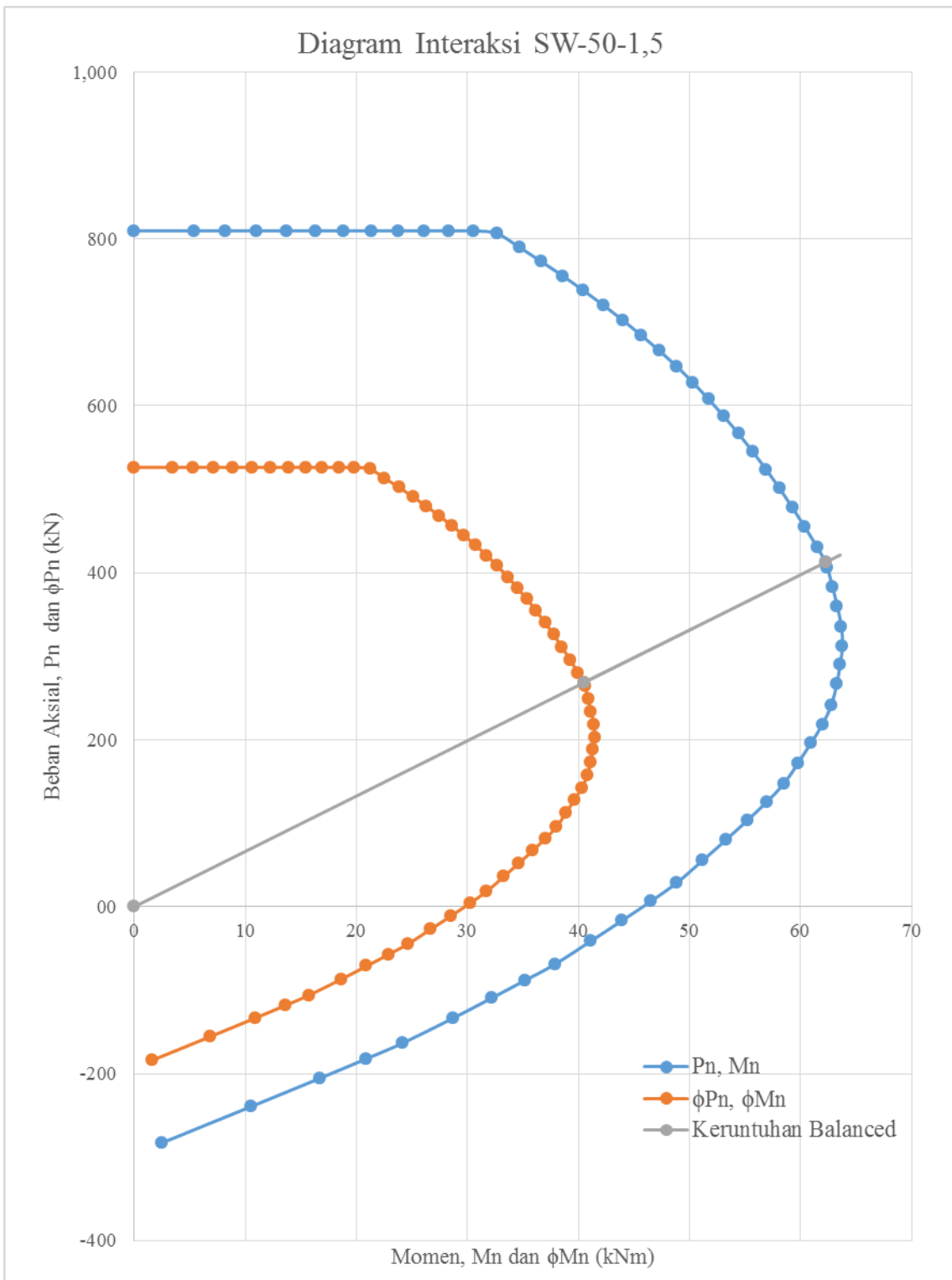
$$c < c_b$$

$$e > e_b$$

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
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

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





f. Momen-Kurvatur

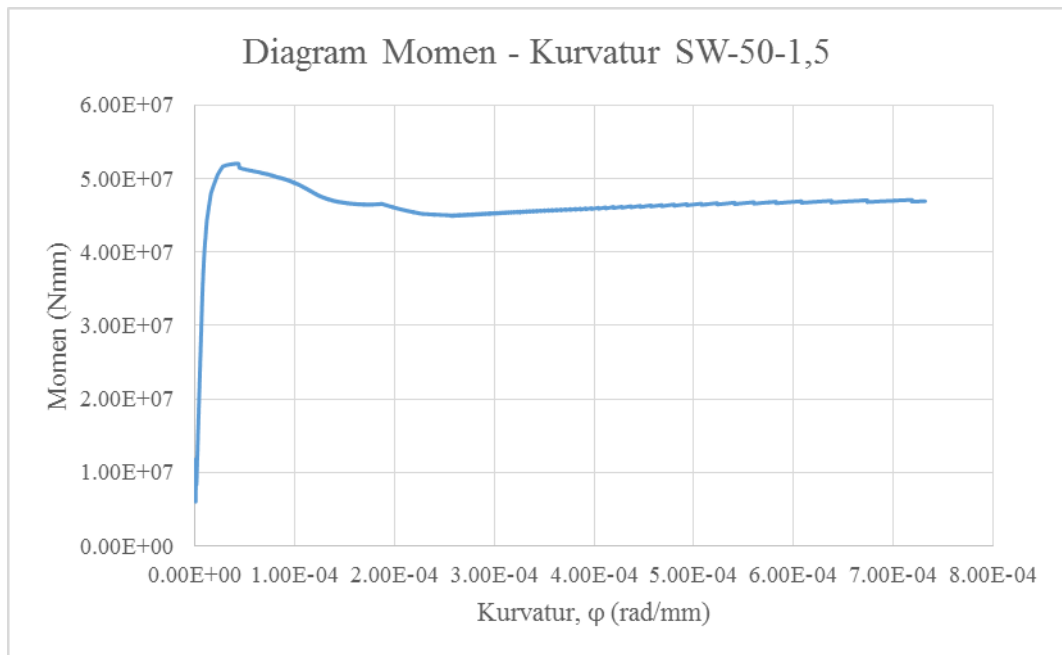
Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

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:



Dari diagram momen-kurvatur di atas didapat:

$$M_{cr} = 1,18 \times 10^7 \text{ Nmm} = 1178,89 \text{ kgm}$$

$$M_y = 3,54 \times 10^7 \text{ Nmm} = 3537,83 \text{ kgm}$$

$$M_u = 5,21 \times 10^7 \text{ Nmm} = 5205,23 \text{ kgm}$$

$$M_f = 4,49 \times 10^7 \text{ Nmm} = 4490,99 \text{ kgm}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3 Perhitungan Teoritis Benda Uji SD-300-1,5

- Dimensi Dinding

Lebar dinding : $l_w = 400$ mm

Tebal dinding : $b_w = 80$ mm

Tinggi dinding : $h_w = 600$ mm

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

- Tulangan

Longitudinal : 16 – Ø8

Transversal : 2 Ø8 – 300

Tegangan leleh : $f_y = 378,86$ MPa

- Kontrol Dinding

a. Rasio Tulangan Vertikal

$$\rho_v = \frac{A_{st}}{b_w \times h_w}$$

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

$$\rho_v = 0,0244$$

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

b. Rasio Tulangan Horizontal

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

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

$$\rho_h = 0,00813$$

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

c. Rasio Badan

$$a = \frac{h_w}{l_w} = \frac{600}{400} = 1,5$$

d. Rasio Pembebanan

$$n = \frac{P}{A_g f'_c}$$

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

$$n = 0,043$$

$$n = 4,3 \%$$

e. Perencanaan dengan Diagram Interaksi

• Data dinding geser:

Kuat tekan beton	: f'_c	= 21,75	MPa
Tegangan leleh baja	: f_y	= 378,86	MPa
Lebar penampang dinding geser	: b	= 80	mm
Tinggi penampang dinding geser	: h	= 400	mm
Tinggi dinding geser	: l	= 600	mm
Tebal bruto selimut beton	: d_s	= 17,5	mm
Jumlah tulangan	: n	= 16	buah
Diameter tulangan	: D	= 7,88	mm
Modulus elastis baja	: E_s	= 200000	MPa
Faktor distribusi tegangan	: β_1	= 0,85	
Luas tulangan total	: A_{st}	= 780	mm ²
Rasio tulangan	: ρ	= 2,44	%
Faktor reduksi kekuatan	: ϕ	= 0,65	

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

• Perhitungan diagram interaksi:

– Kondisi beban aksial sentris

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

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

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

– Kuat beban aksial maksimum

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

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

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

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

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

– Kondisi *balanced*

Tinggi sumbu netral pada kondisi *balanced*:

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

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

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

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

$$a_b = \beta_1 c_b$$

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

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

Regangan leleh baja tulangan:

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

Regangan pada masing-masing baja tulangan:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Jika $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ atau $\varepsilon_s' > \varepsilon_y$, maka tulangan tarik atau tekan sudah leleh dan nilai $f_s = f_y$. Apabila tulangan belum leleh, maka nilai $f_s = \varepsilon_{si} E_s$ atau $f_s' = \varepsilon_{si}' E_s$.

Tegangan pada masing-masing baja tulangan:

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

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

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

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

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

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

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

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

Beban aksial nominal pada kondisi *balanced*:

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

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

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

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

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

Momen nominal terhadap pusat penampang pada kondisi *balanced*:

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

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

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

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

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

– Keruntuhan tekan (*Compression Failure*)

Keruntuhan tekan terjadi jika:

$$P_n > P_{nb}$$

$$c > c_b$$

$$e < e_b$$

- Keruntuhan tarik (*Tension Failure*)

Keruntuhan tarik terjadi jika:

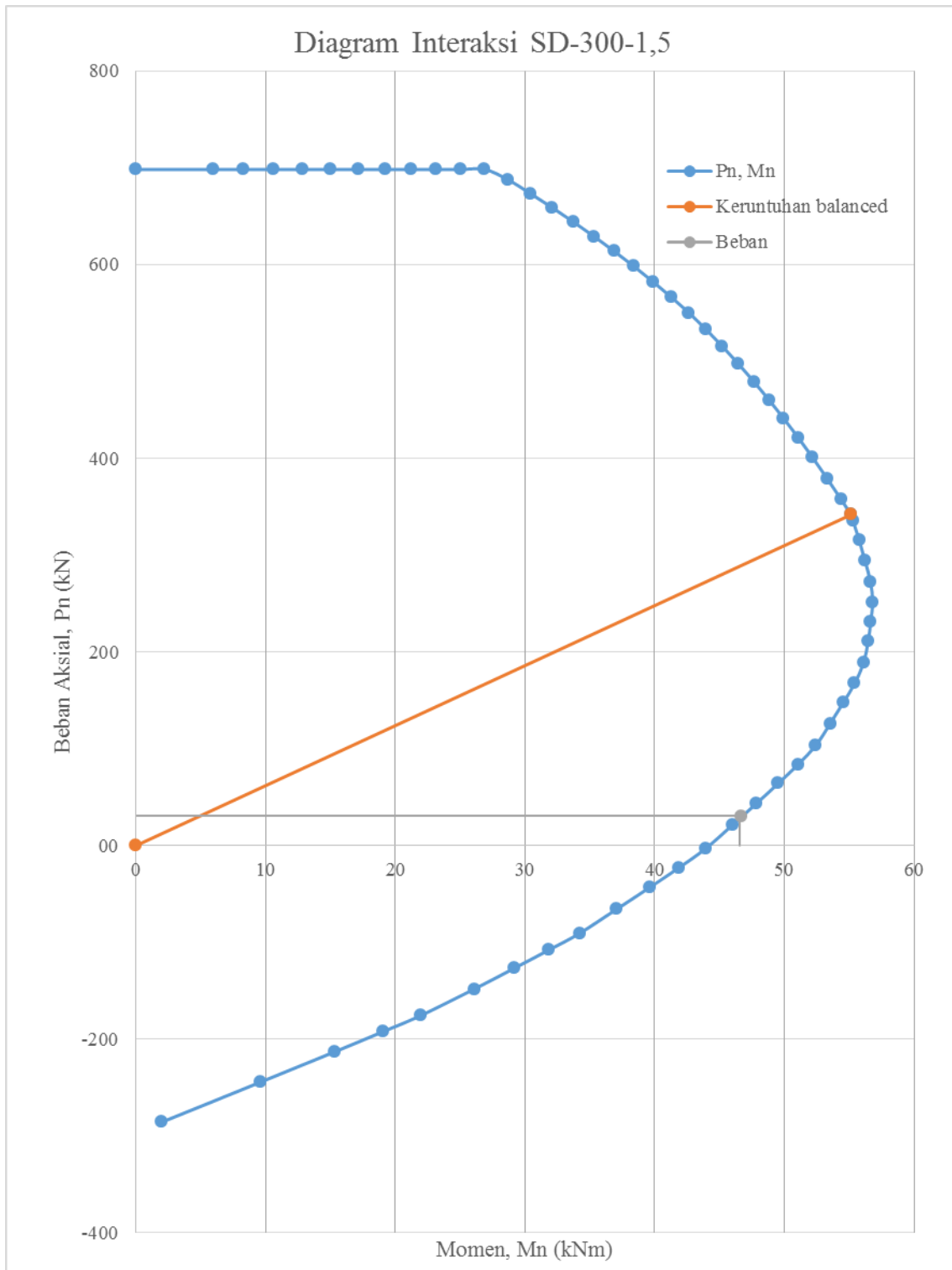
$$P_n < P_{nb}$$

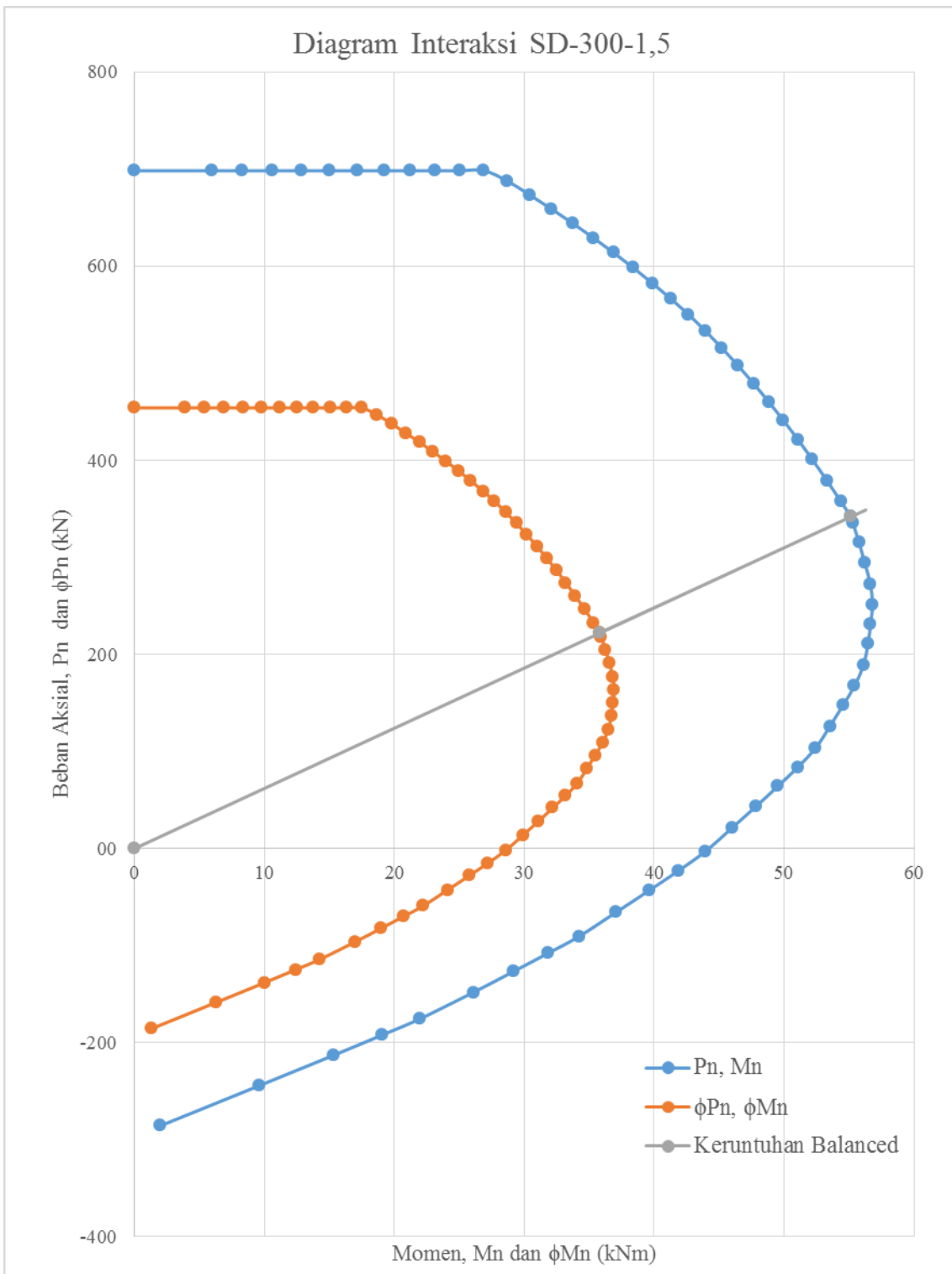
$$c < c_b$$

$$e > e_b$$

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

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





f. Momen-Kurvatur

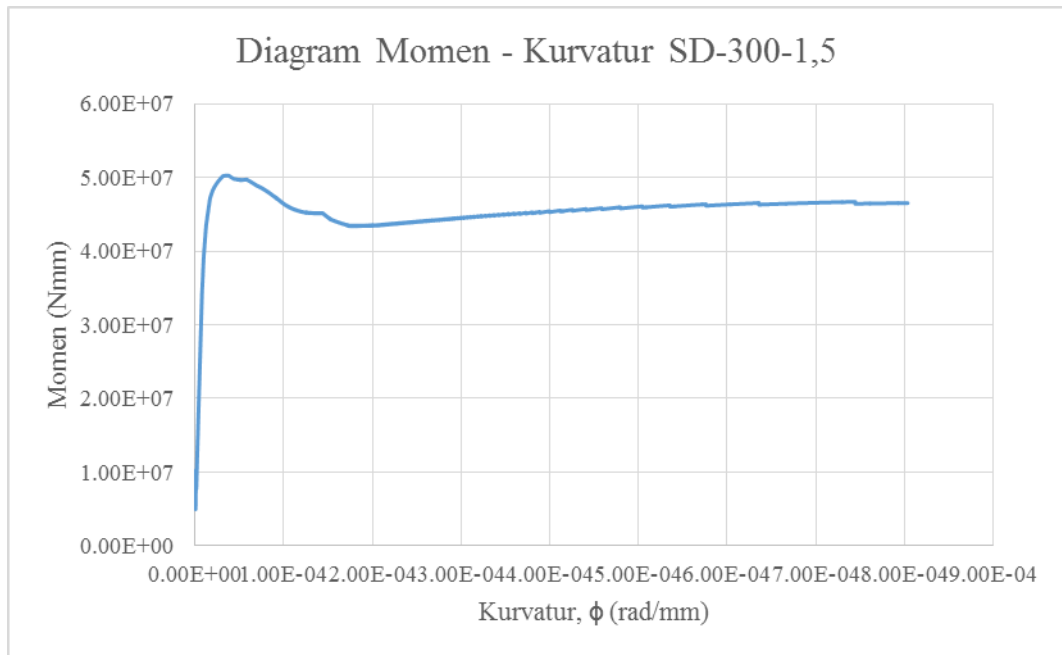
Data dinding geser yang diinput ke dalam program momen:

Kuat tekan beton	:	f_c'	=	21,75	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	=	11,314	mm
Jarak baja tulangan transversal	:	s	=	300	mm
Besar beban aksial	:	P	=	30000	N
Posisi beban aksial terhadap serat atas	:		=	200	mm

Hasil perhitungan hubungan momen-kurvatur menggunakan program momen:



Dari diagram momen-kurvatur di atas didapat:

$$M_{cr} = 1,03 \times 10^7 \text{ Nmm} = 1025,792 \text{ kgm}$$

$$M_y = 3,45 \times 10^7 \text{ Nmm} = 3450,410 \text{ kgm}$$

$$M_u = 5,03 \times 10^7 \text{ Nmm} = 5027,840 \text{ kgm}$$

$$M_f = 4,39 \times 10^7 \text{ Nmm} = 4391,521 \text{ kgm}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

LAMPIRAN 2
DATA PENGUJIAN SIKLIK

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

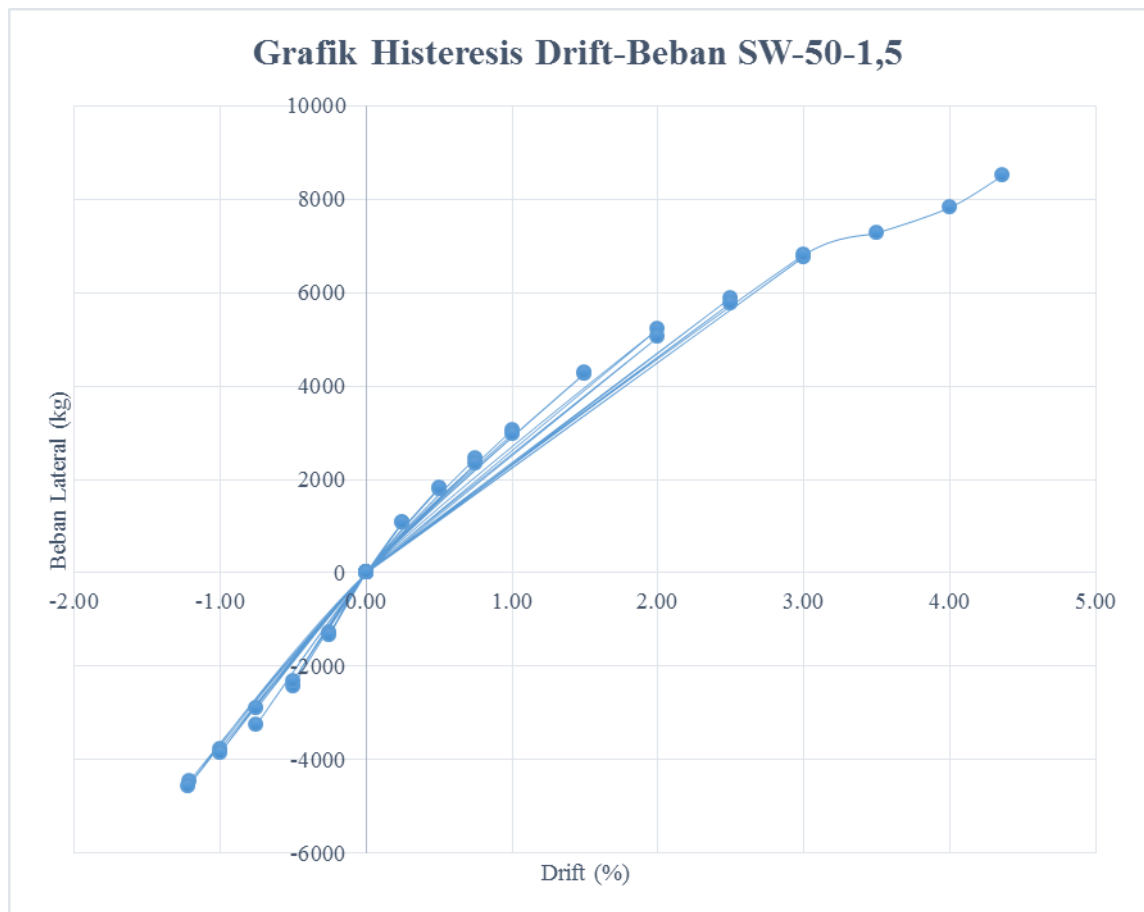
2.2 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SD-300-1,5

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

- Hasil Pengujian Siklik

No	Drift %	Simpangan mm	Beban kg	Δ_2 mm	Δ_3 mm	Δ_4 mm	Δ_5 mm	Δ_6 mm
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0
2	0.25	1.50	1070	15.90	11.87	16.15	0	0
3	0.00	0.00	0	16.61	11.88	16.5	0	0
4	- 0.25	-1.50	-1281	17.37	11.92	17.05	3	-1
5	0.00	0.00	0	16.75	11.90	16.6	1.5	-0.5
6	0.25	1.50	1096	15.90	11.87	16.15	0	0.5
7	0.00	0.00	0	16.66	11.88	16.5	0.5	0.5
8	- 0.25	-1.50	-1321	17.35	11.93	17.05	3	-1
9	0.00	0.00	0	16.75	11.90	16.55	1.5	-0.5
10	0.50	3.00	1804	15.20	11.82	15.75	-1	1.5
11	0.00	0.00	0	16.64	11.88	16.45	0.5	1
12	- 0.50	-3.00	-2415	18.15	11.98	17.8	5.5	-2.5
13	0.00	0.00	0	16.90	11.91	16.7	2	-0.5
14	0.50	3.00	1828	15.18	11.82	15.75	-1	2
15	0.00	0.00	0	16.74	11.87	16.55	1	1
16	- 0.50	-3.00	-2317	18.15	11.97	17.9	6	-2.5
17	0.00	0.00	0	16.94	11.90	-11	2	-1
18	0.75	4.50	2458	14.42	11.75	-9.55	-1.5	3
19	0.00	0.00	0	16.71	11.84	-10.45	1	1
20	- 0.75	-4.50	-3244	18.75	12.02	-13.1	9.5	-6
21	0.00	0.00	0	16.99	11.90	-11.1	3	-2
22	0.75	4.50	2334	14.36	11.71	-9.45	-1	2
23	0.00	0.00	0	16.82	11.82	-10.65	2	0.5
24	- 0.75	-4.50	-2900	18.77	12.00	-13.25	8	-4
25	0.00	0.00	0	17.06	11.86	-10.35	4	-1
26	1.00	6.00	3056	13.65	11.63	-8.25	-2	4.5
27	0.00	0.00	0	16.96	11.70	-9.75	1.5	1.5
28	- 1.00	-6.00	-3762	19.34	11.96	-10.25	8	-5.5
29	0.00	0.00	0	17.04	11.76	-7.15	3	-1
30	1.00	6.00	2964	13.65	11.53	-4.8	-3	6
31	0.00	0.00	0	16.85	11.69	-6.5	0.5	2
32	- 1.00	-6.00	-3844	19.46	11.96	-10.55	9.5	-8
33	0.00	0.00	0	17.13	11.75	-7.05	3	-1.5
34	1.50	9.00	4270	12.16	11.39	-3.85	-9.5	11

No	Drift %	Simpangan mm	Beban kg	Δ_2 mm	Δ_3 mm	Δ_4 mm	Δ_5 mm	Δ_6 mm
36	- 1.21	-7.28	-4465	19.97	12.00	-11.75	13	-15
37	0.00	0.00	0	17.19	11.72	-7.25	3.5	-3.5
38	1.50	9.00	4278	12.20	11.32	-3.8	-9.5	10
39	0.00	0.00	0	16.78	11.61	-6.35	-1	1.5
40	- 1.22	-7.32	-4565	19.99	11.99	-11.95	15	-17
41	0.00	0.00	0	17.16	11.70	-7.35	3.5	-4.5
42	2.00	12.00	5218	10.72	11.11	-2.75	- 27.5	14
43	0.00	0.00	0	16.66	11.53	-6.1	-8	1.5
44	2.00	12.00	5046	10.83	12.06	-2.6	- 30.5	13.5
45	0.00	0.00	0	16.62	11.51	-6	-8.5	1
46	2.50	15.00	5892	9.38	10.87	-1.65	- 38.5	14.5
47	0.00	0.00	0	16.54	11.45	-5.8	-11	1.5
48	2.50	15.00	5780	9.41	10.83	-1.65	- 41.5	15
49	0.00	0.00	0	16.50	11.44	-5.7	- 11.5	2
50	3.00	18.00	6766	7.80	10.60	-0.45	-59	18
51	0.00	0.00	0	16.28	11.36	-5.45	- 19.5	3.5
52	3.00	18.00	6802	7.89	10.58	-0.5	-60	17.5
53	3.50	21.00	7274	-	-	-	-	-
54	4.00	24.00	7822	-	-	-	-	-
55	4.36	26.17	8500	-	-	-	-	-



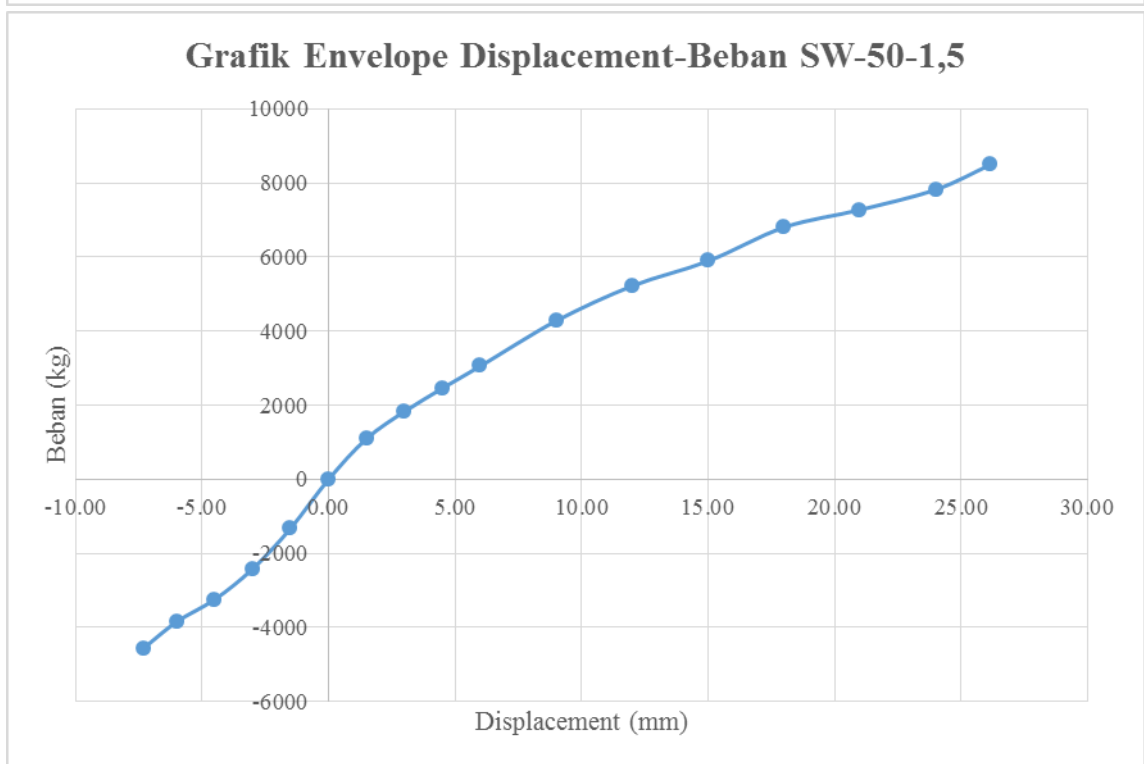
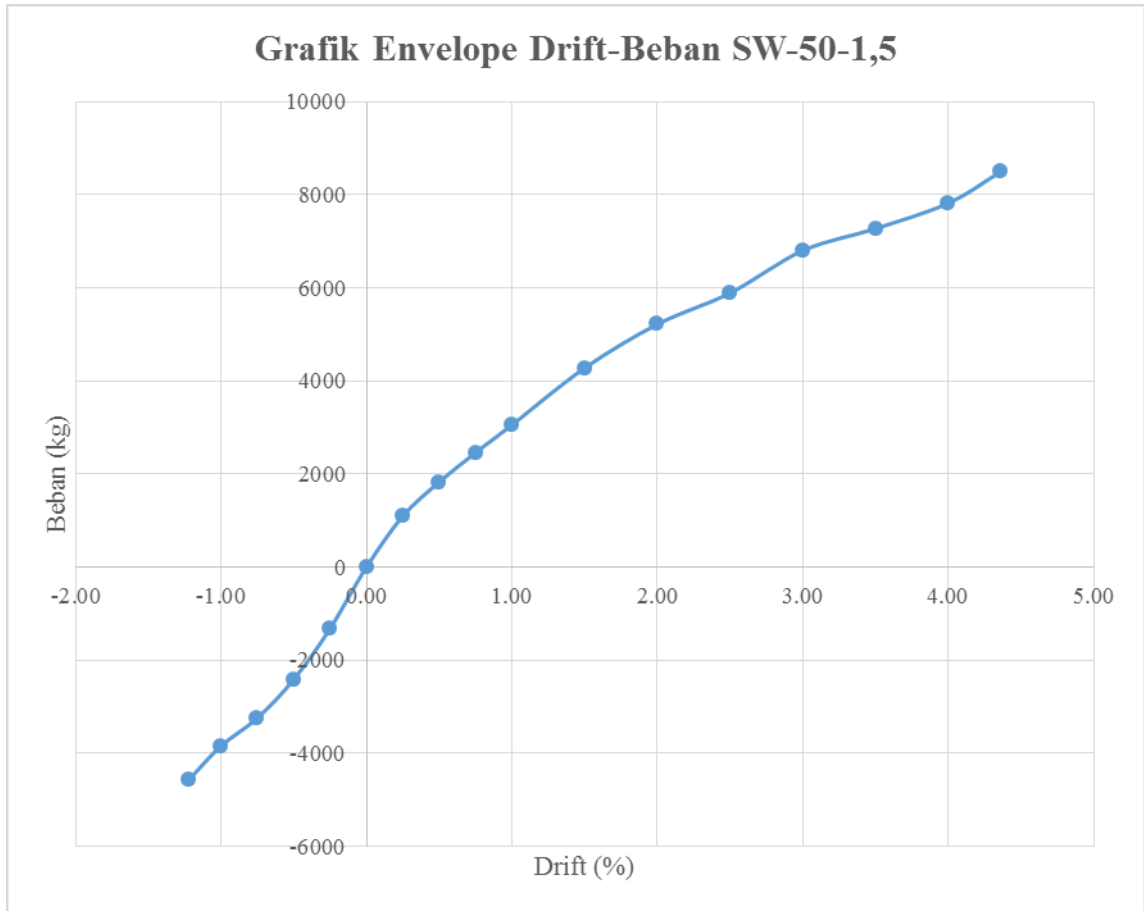
- Rata - Rata Beban Lateral Pada Setiap Drift

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

- Grafik *Envelope*

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

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



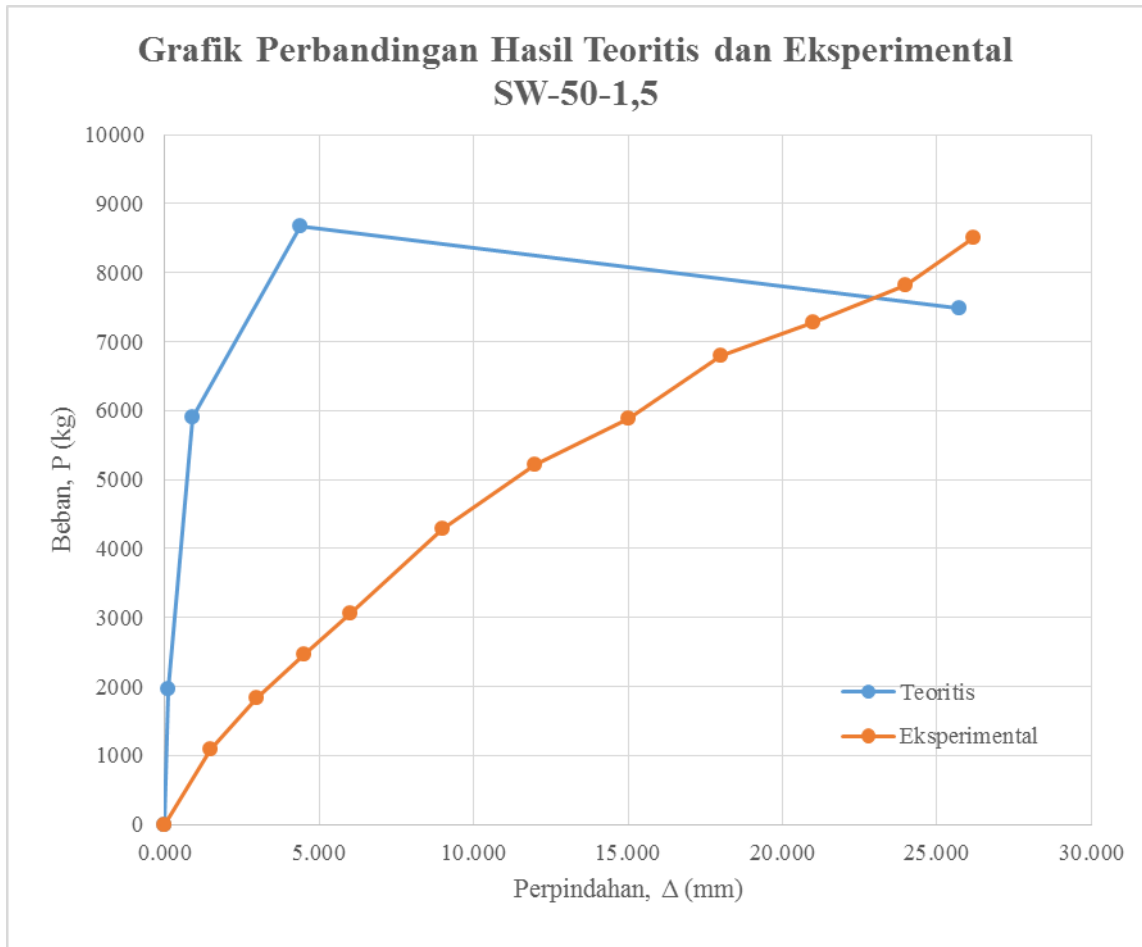
- Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Siklik dengan Perhitungan Teoritis
Dari analisis dengan momen-kurvatur didapatkan hasil sebagai berikut:

Kondisi	Perpindahan Δ mm	Beban P kg
Awal	0.000	0.00
<i>Crack</i>	0.106	1964.82
<i>Yield</i>	0.897	5896.38
<i>Ultimate</i>	4.392	8675.38
<i>Failure</i>	25.735	7484.98

Dari pengolahan data pengujian siklik didapatkan hasil sebagai berikut:

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

Kedua data tersebut dapat diplotkan menjadi grafik di bawah ini:

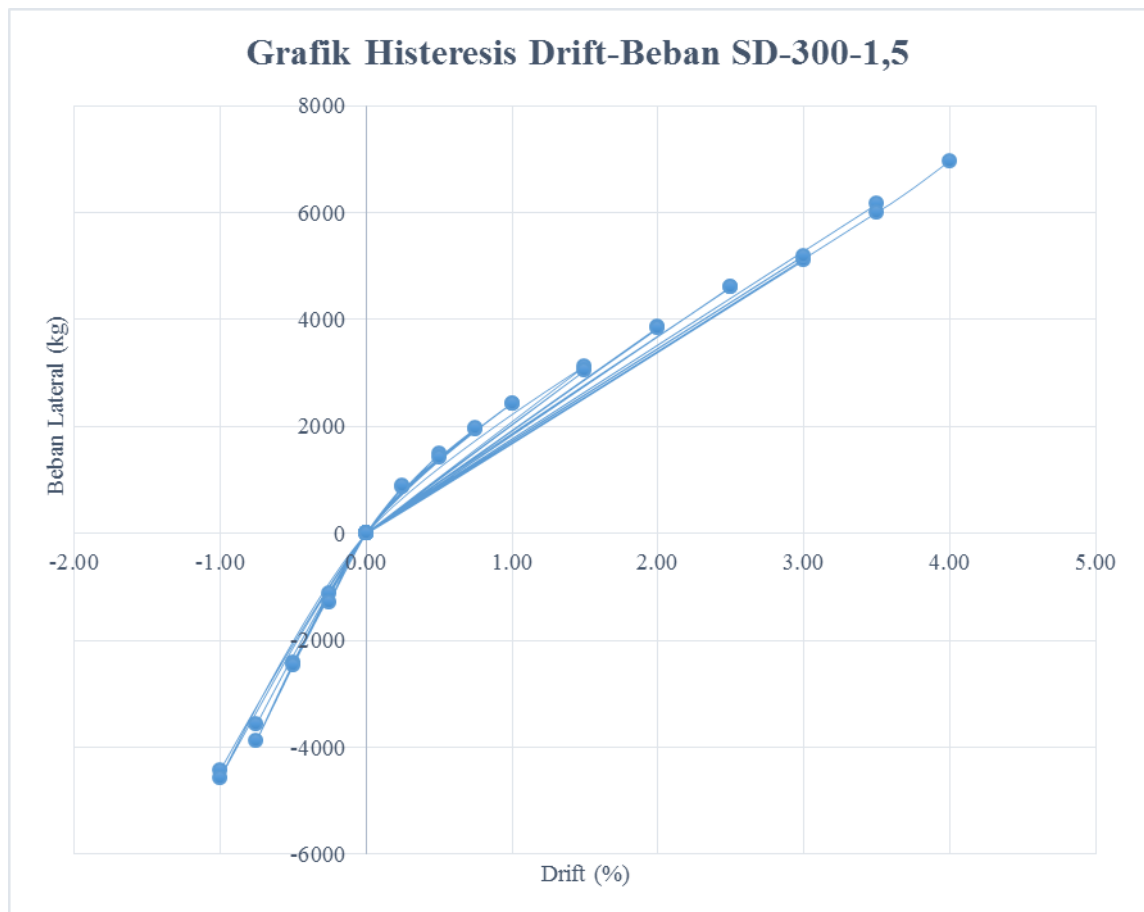


2.3 Analisis Pengujian Pembebanan Siklik Benda Uji SD-300-1,5

- Hasil Pengujian Siklik

No	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Δ_2 (mm)	Δ_3 (mm)	Δ_4 (mm)	Δ_5 (mm)	Δ_6 (mm)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0	0
2	0.25	1.50	864	-0.78	-0.01	-0.3	0	0
3	0.00	0.00	0	-0.06	-0.08	0	0	0
4	-0.25	-1.50	-1120	0.68	0.03	0.4	0	-0.5
5	0.00	0.00	0	0.07	0.09	0.1	0	-0.5
6	0.25	1.50	882	-0.74	0.06	-0.3	0	-0.5
7	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.05	0	-0.5
8	-0.25	-1.50	-1283	0.81	0.03	0.55	0	-1
9	0.00	0.00	0	0.09	0.09	0.1	0	-1
10	0.50	3.00	1482	-1.42	-0.10	-0.55	-1.5	-0.5
11	0.00	0.00	0	-0.07	-0.01	0	-1.5	-0.5
12	-0.50	-3.00	-2415	1.48	0.04	-2.45	1	-4.5
13	0.00	0.00	0	0.13	0.02	-3.5	-1	-4.5
14	0.50	3.00	1420	-1.36	-0.03	-4.55	-2.5	-3.5
15	0.00	0.00	0	-0.03	0.00	-3.95	-2.5	-3.5
16	-0.50	-3.00	-2462	1.57	0.04	-2.5	1.5	-4.5
17	0.00	0.00	0	0.13	0.02	-3.8	-1	-4
18	0.75	4.50	1956	-2.04	-0.07	-4.9	-3	-3
19	0.00	0.00	0	-0.04	-0.05	-3.9	-2.5	-3.5
20	-0.75	-4.50	-3565	2.18	0.15	-1.5	5	-6
21	0.00	0.00	0	0.17	0.04	-3.55	0	-5
22	0.75	4.50	1964	-2.09	-0.01	-4.95	-3	-6
23	0.00	0.00	0	-0.24	-0.06	-4	-3	-4
24	-0.75	-4.50	-3872	1.95	0.21	0.05	7	-12
25	0.00	0.00	0	0.07	0.11	-3.2	-1.5	-9
26	1.00	6.00	2430	-2.81	-0.14	-5.3	-3	-8
27	0.00	0.00	0	-0.14	-0.02	-3.85	-3	-7
28	-1.00	-6.00	-4430	2.63	0.21	1.75	8	-19
29	0.00	0.00	0	0.24	0.05	-2.8	0	-12
30	1.00	6.00	2436	-2.87	-0.16	-5.45	-3.5	-7.5
31	0.00	0.00	0	-0.10	-0.02	-3.8	-2	-11
32	-1.00	-6.00	-4572	2.84	0.29	2.2	8.5	-22
33	0.00	0.00	0	0.25	0.05	-3	0	-11.5
34	1.50	9.00	3132	-4.33	-0.35	-6.7	-8	-5
35	0.00	0.00	0	-0.34	-0.22	-4.4	-4	-12.5
36	1.50	9.00	3050	-4.22	-0.45	-6.9	-8	-10
37	0.00	0.00	0	-0.35	-0.13	-4.8	-5	-12
38	2.00	12.00	3856	-5.62	-0.61	-8.05	-9	-9.5
39	0.00	0.00	0	-0.57	-0.37	-5.15	-5.5	-10.5
40	2.00	12.00	3834	-5.60	-0.78	-8.35	-10	-8

No	Drift (%)	Simpangan (mm)	Beban (kg)	Δ_2 (mm)	Δ_3 (mm)	Δ_4 (mm)	Δ_5 (mm)	Δ_6 (mm)
42	2.50	15.00	4610	-6.92	-0.98	-9.35	-11	-8
43	0.00	0.00	0	-0.62	-0.52	-5.8	-6	-9.5
44	2.50	15.00	4602	-7.00	-1.06	-9.85	-12	-7.5
45	0.00	0.00	0	-0.63	-0.57	-6.15	-6.5	-10.5
46	3.00	18.00	5108	-8.45	-1.29	-11.2	-20.5	-7.5
47	0.00	0.00	0	-0.68	-0.66	-6.8	-11	-7
48	3.00	18.00	5192	-8.53	-1.35	-11.9	-26	-2.5
49	0.00	0.00	0	-0.71	-0.61	-6.65	-12	-6
50	3.50	21.00	6160	-10.03	-1.50	-12.95	-35	1
51	0.00	0.00	0	-1.64	-0.75	-7.65	-14	-11.5
52	3.50	21.00	5998	-10.01	-1.55	-13.25	-36	-5.5
53	4.00	24.00	6972	-10.78	-1.73	-14.3	-42	-4.5



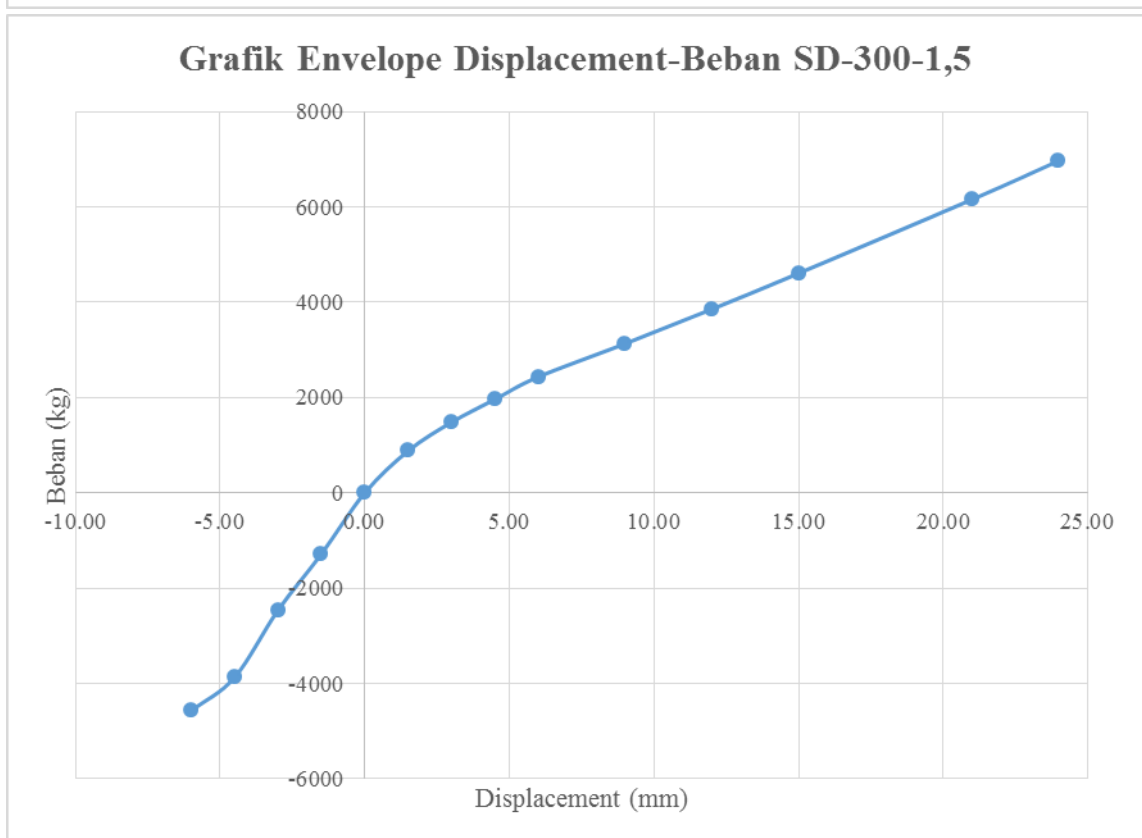
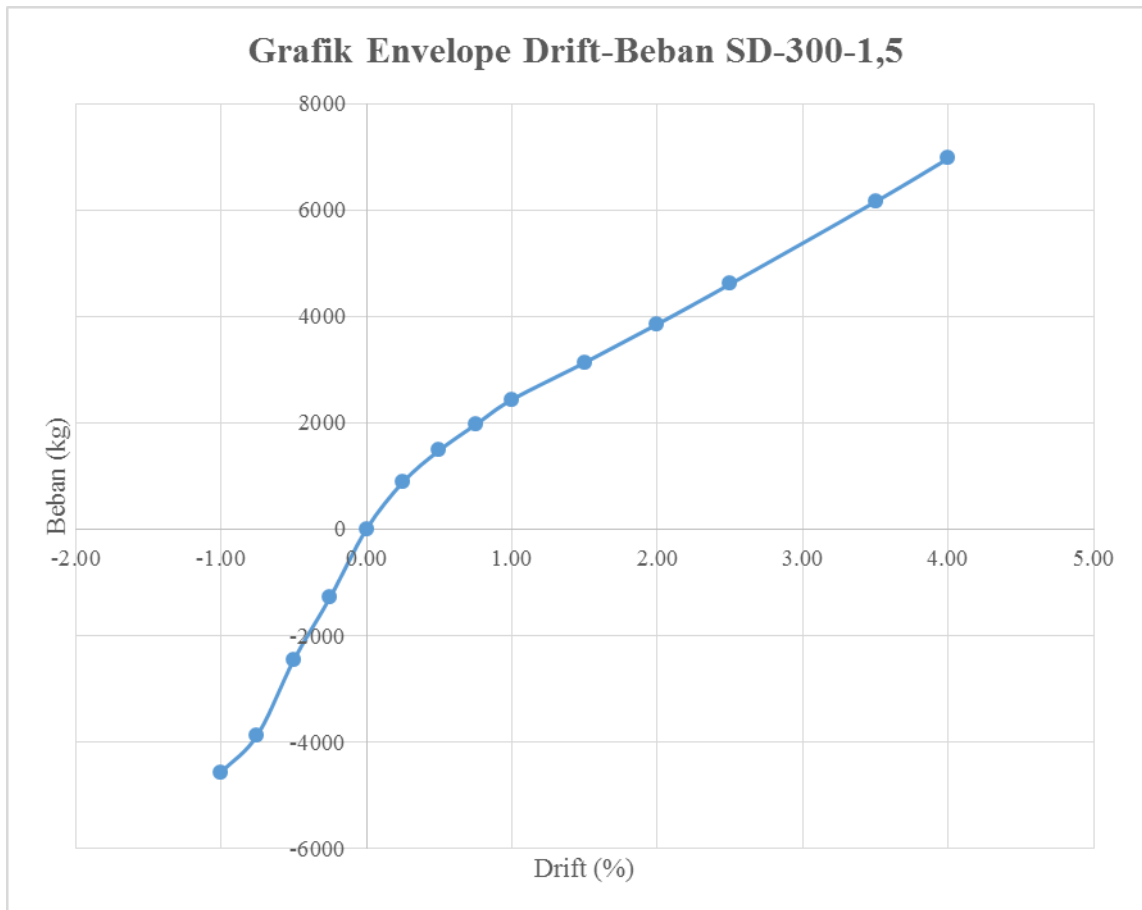
- Rata - Rata Beban Lateral Pada Setiap Drift

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

- Grafik *Envelope*

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

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



- Grafik Perbandingan Hasil Pengujian Siklik dengan Perhitungan Teoritis

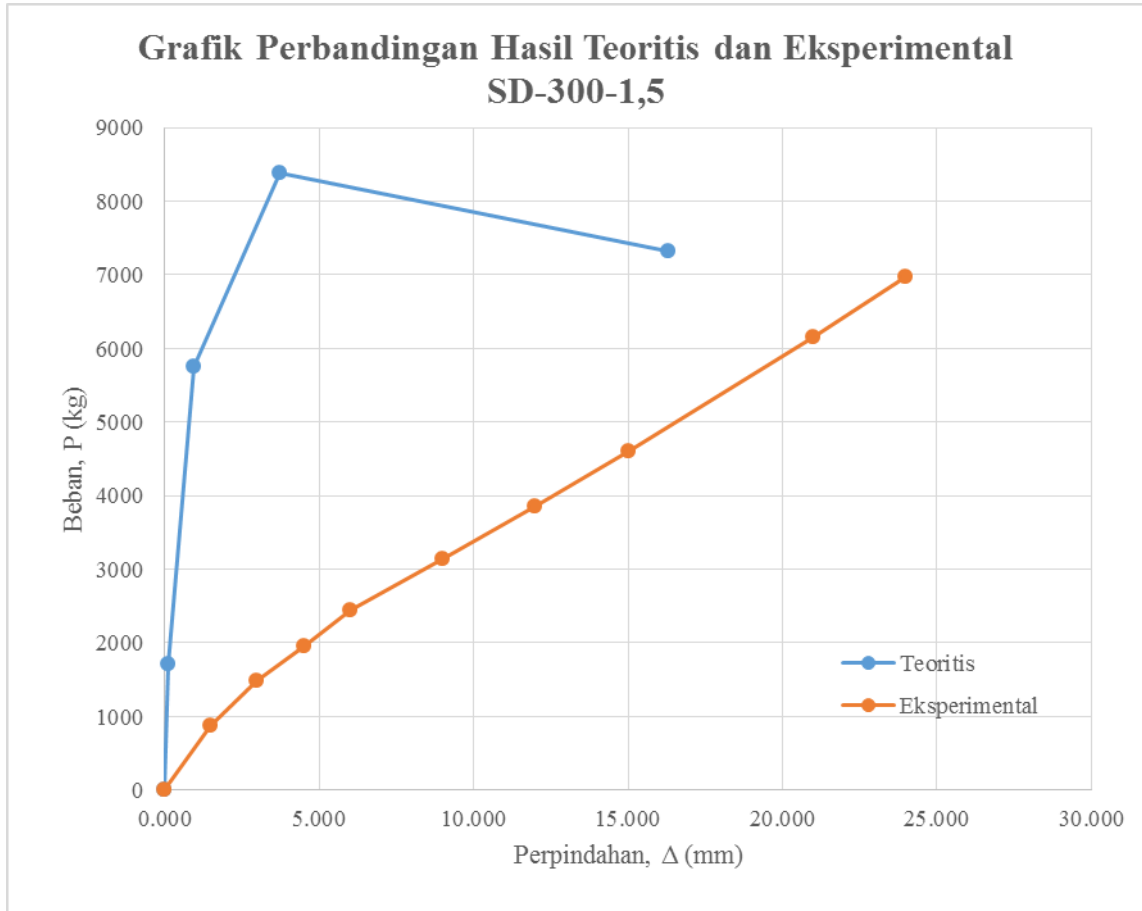
Dari analisis dengan momen-kurvatur didapatkan hasil sebagai berikut:

Kondisi	Perpindahan	Beban
	Δ mm	P kg
Awal	0.000	0.00
<i>Crack</i>	0.110	1709.65
<i>Yield</i>	0.929	5750.68
<i>Ultimate</i>	3.715	8379.73
<i>Failure</i>	16.311	7319.88

Dari pengolahan data pengujian siklik didapatkan hasil sebagai berikut:

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

Kedua data tersebut dapat diplotkan menjadi grafik di bawah ini:



LAMPIRAN 3
DOKUMENTASI PENELITIAN

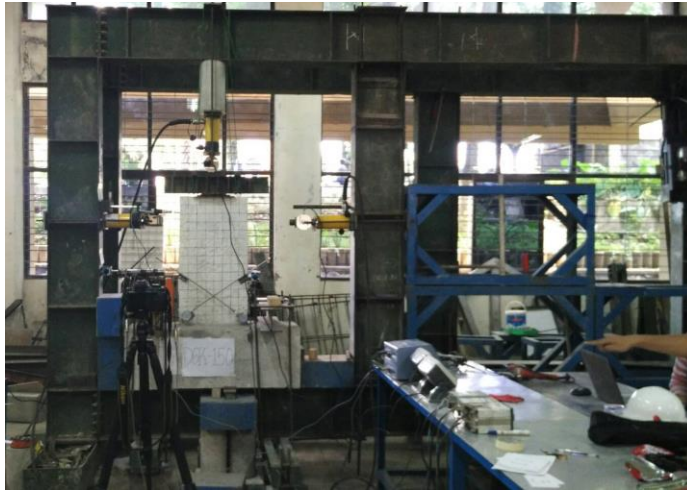
1.4 Alat

1.5 Pengujian Beban Lateral Siklik

3.1 Alat

Peralatan yang digunakan saat pengujian :

1. *Loading Frame*



2. LVDT



3. *Load cell*



4. *Hydraulic jack*



5. *Hydraulic pump*



6. *Dial gauge*



3.2 Pengujian Beban Lateral Siklik

1. Pemotongan benda uji



2. Setting up frame



3. Pengujian siklik



