

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya di berbagai kesempatan dalam penyelesaian tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Letak *Lap Splice* terhadap Daktilitas Kolom Bertulangan Ringan akibat Beban Siklik” sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi S1 di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

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

1. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr.Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya
3. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Ibu Ir. Siti Nurlina, MT. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua tercinta, Abdul Rahman dan Kelud Ariyawati, serta kedua kakak tersayang yang telah melimpahkan berbagai macam dukungan hingga saat ini
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan
6. Pak Sugeng, Pak Hadi dan Mas Dino selaku pihak Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan yang telah membantu selama kegiatan penelitian di laboratorium
7. Chaniva, Dufanti, Edo, Karina, Stefan, dan Mbak Rizky sebagai tim untuk mendapat gelar ST.
8. Ridho dan *Chibi Hijabers* (Avis, Bunga, Eka, Filki, Lina, Rahma, Puan, dan Sarah) sebagai keluarga di Malang yang selalu mencurahkan dukungan moral tanpa henti.
9. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah membantu dan mendukung selama masa perkuliahan.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian-penelitian selanjutnya. Untuk kesempurnaan tugas akhir ini, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan.

Malang, 13 April 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Kolom.....	5
2.1.1 Parameter yang Mempengaruhi Kolom .....	5
2.1.2 Kolom Bertulangan Ringan .....	8
2.2 Beban Siklik .....	8
2.3 Sambungan Lewatan ( <i>Lap Splice</i> ) .....	9
2.4 Perpindahan.....	11
2.5 Daktilitas .....	12
2.5.1 Daktilitas Regangan .....	13
2.4.2 Daktilitas Kelengkungan.....	14
2.5.3 Daktilitas Perpindahan .....	14

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 17**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian..... 17

3.2 Alat dan Bahan ..... 17

3.3 Tahapan Penelitian..... 20

3.4 Rancangan Penelitian..... 21

    3.4.1 Campuran Beton ..... 21

    3.4.2 Jumlah Benda Uji ..... 21

3.5 Prosedur Penelitian ..... 23

    3.5.1 Persiapan ..... 23

    3.5.2 Uji Tarik Baja Tulangan ..... 23

    3.5.3 Uji Tekan Silinder Beton ..... 23

    3.5.4 Pembuatan Model Kolom ..... 23

    3.5.5 Setting Up ..... 24

    3.5.6 Beban Rencana ..... 25

    3.5.7 Pelaksanaan Pengujian Siklik ..... 26

3.6 Variabel Penelitian..... 27

3.7 Data Pengamatan ..... 27

3.8 Analisis Hasil..... 28

3.9 Hipotesa Penelitian ..... 29

**BAB VI PEMBAHASAN ..... 31**

4.1 Analisis Bahan Penyusun Kolom ..... 31

    4.1.1 Beton ..... 31

    4.1.2 Baja Tulangan ..... 33

4.2 Kekuatan Kolom Teoritis ..... 33

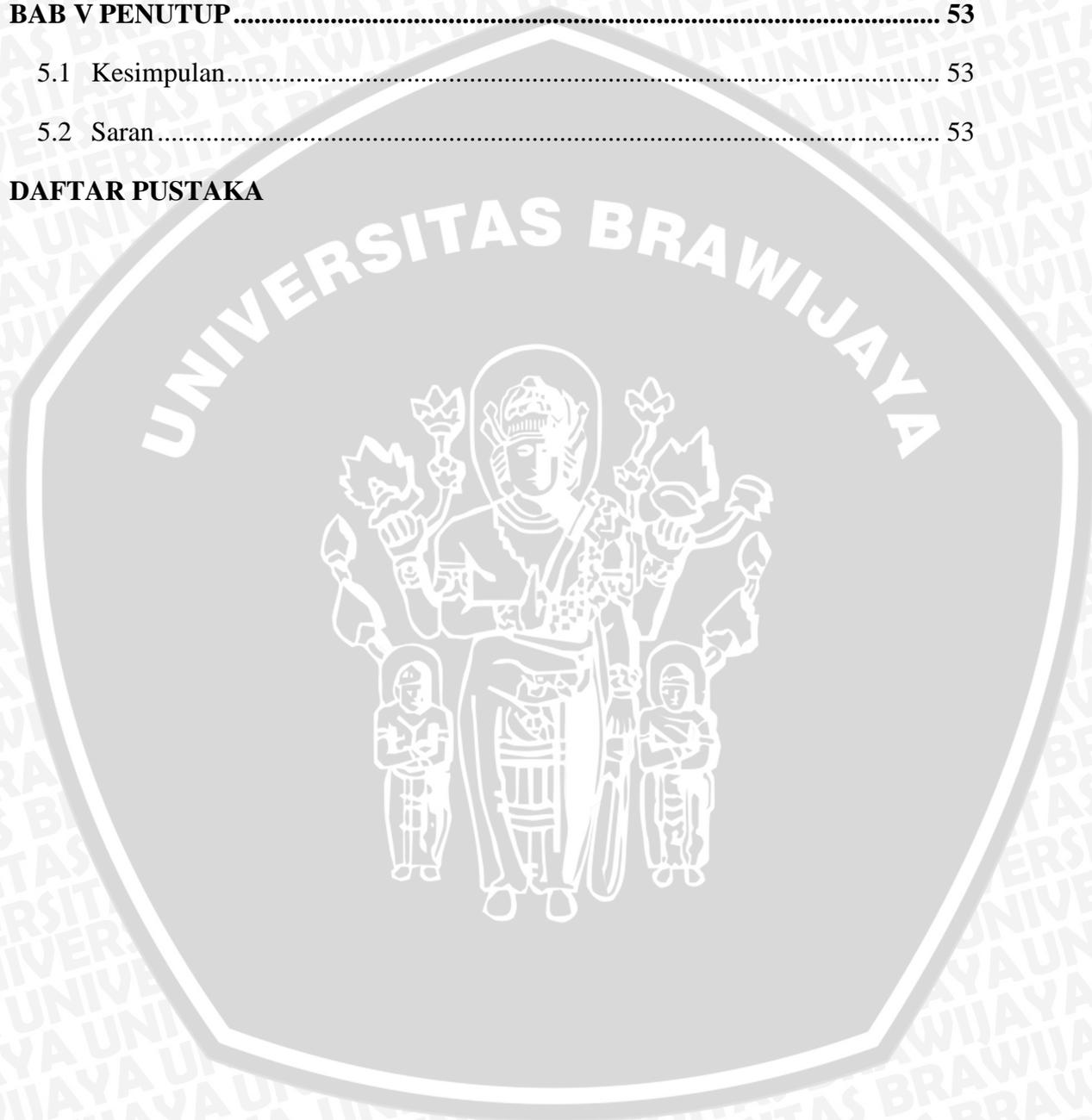
4.3 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik..... 34

    4.3.1 Analisis Beban Lateral Maksimum..... 35

    4.3.2 Analisis Perpindahan Saat Leleh ..... 36



4.3.3 Analisis Perpindahan Ultimit.....	41
4.3.4 Analisis Daktilitas Perpindahan.....	43
4.3.4.1 Daktilitas Perpindahan akibat Variasi Lokasi <i>Lap Splice</i> .....	48
4.3.4.2 Daktilitas Perpindahan akibat Variasi Rasio Tulangan Longitudinal	50
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



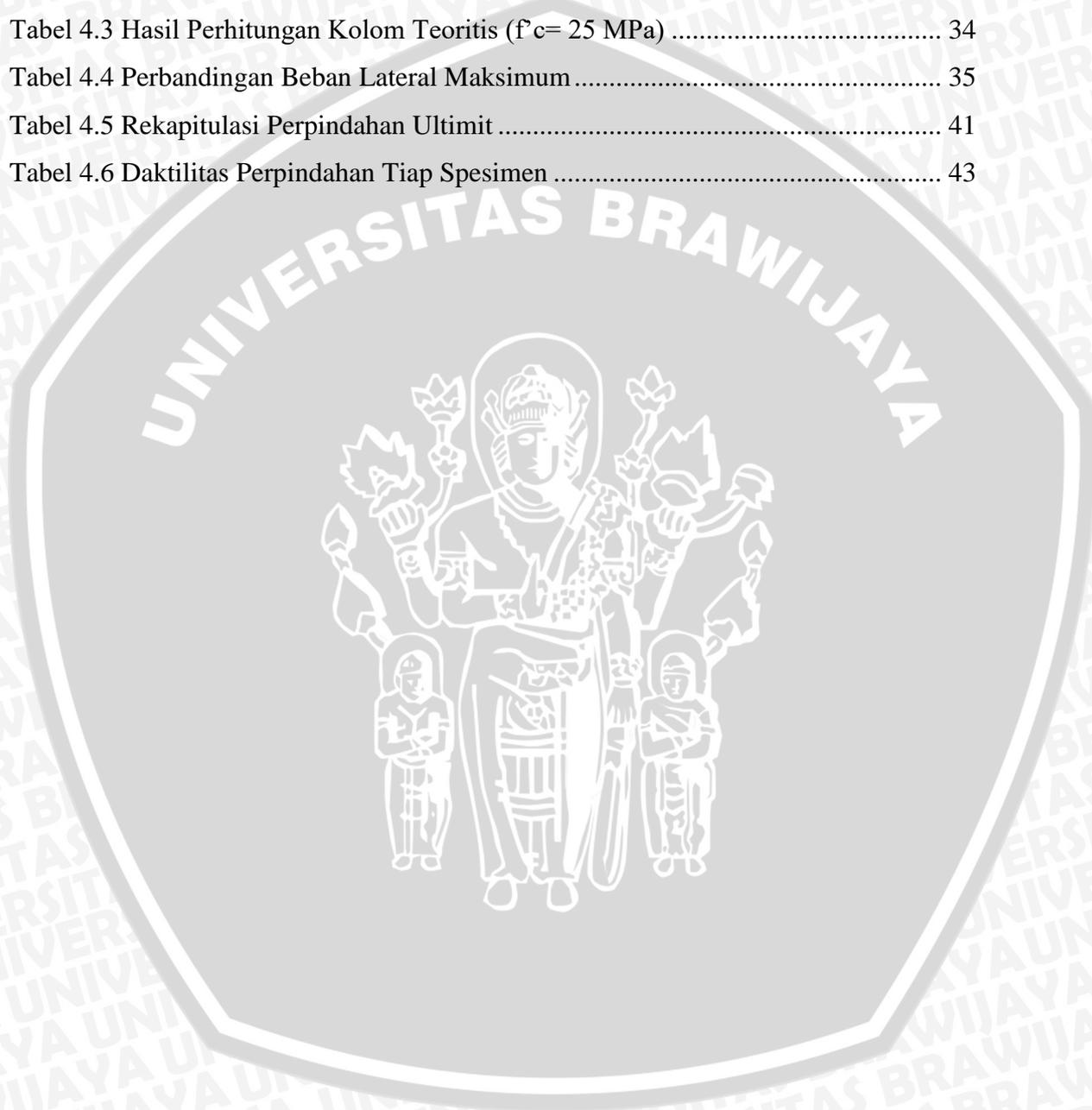
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Kerusakan Bangunan dengan Beton Bertulang Ringan .....	2
Gambar 2.1 Histeresis Loop .....	8
Gambar 2.2 Aplikasi <i>Lap Splice</i> pada Kolom .....	10
Gambar 2.3 Komponen Perpindahan Total (a) Lentur (b) Geser (c) Penetrasi Leleh..	11
Gambar 2.4 Definisi Daktilitas Kurvatur .....	14
Gambar 2.5 Daktilitas Simpangan pada Kantilever .....	15
Gambar 2.6 Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh .....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	20
Gambar 3.2 (a) Benda uji M15SM dan M15SB; (b) Benda Uji L15SM dan L15SB ..	21
Gambar 3.3 Penulangan Benda Uji dengan <i>Lap Splice</i> di Bawah .....	22
Gambar 3.4 Benda Uji dengan <i>Lap Splice</i> di Tengah .....	22
Gambar 3.5 <i>Setting Up</i> saat Pengujian .....	25
Gambar 3.6 Lokasi Pemberian Beban .....	25
Gambar 3.7 Siklus <i>Lateral Drift</i> .....	26
Gambar 3.8 Hubungan Beban Lateral – Perpindahan .....	28
Gambar 4.1 Perbandingan Beban Lateral Maksimum Tiap Spesimen.....	36
Gambar 4.2 Metode untuk Menentukan Perpindahan saat Leleh.....	37
Gambar 4.3 Perpindahan saat Leleh L15SB.....	37
Gambar 4.4 Perpindahan saat Leleh L15SM.....	37
Gambar 4.5 Perpindahan saat Leleh M15SB .....	38
Gambar 4.6 Perpindahan saat Leleh M15SM.....	38
Gambar 4.7 Perbandingan Perpindahan saat Leleh.....	40
Gambar 4.8 Perpindahan Ultimit tiap Spesimen .....	41
Gambar 4.9 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen .....	45
Gambar 4.10 Pola Retak Kolom.....	47
Gambar 4.11 Perbandingan Envelope L15SB dengan L15SM .....	48
Gambar 4.12 Perbandingan Envelope M15SB dengan M15SM.....	49
Gambar 4.13 Perbandingan Envelope L15SB dengan M15SB.....	50
Gambar 4.14 Perbandingan Envelope L15SM dengan M15SM .....	50



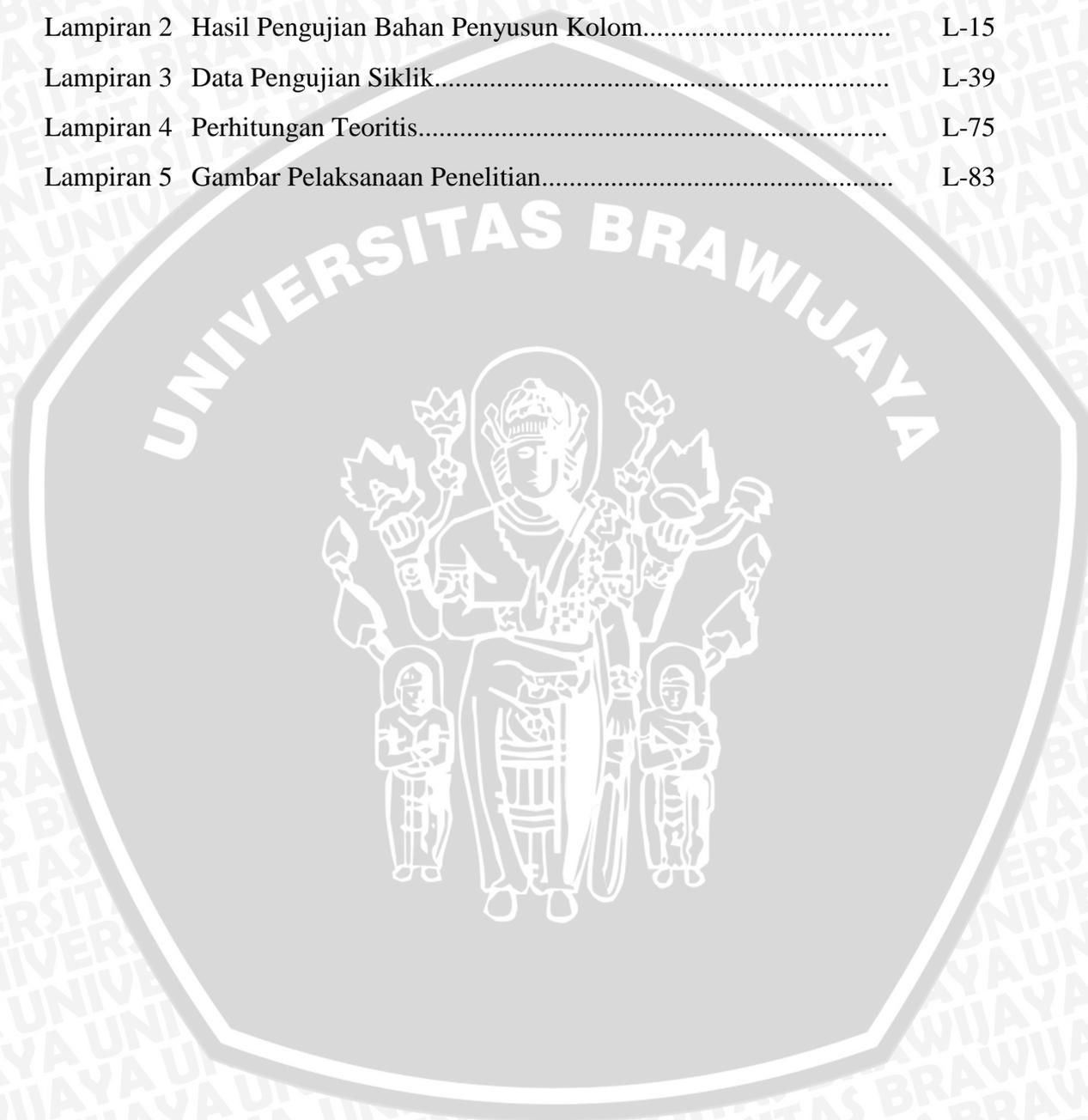
## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Kolom.....	21
Tabel 4.1 Mutu Beton Tiap Spesimen.....	32
Tabel 4.2 Tegangan Leleh Tulangan Kolom.....	33
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kolom Teoritis ( $f_c = 25 \text{ MPa}$ ) .....	34
Tabel 4.4 Perbandingan Beban Lateral Maksimum.....	35
Tabel 4.5 Rekapitulasi Perpindahan Ultimit .....	41
Tabel 4.6 Daktilitas Perpindahan Tiap Spesimen .....	43



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Desain Awal Kolom .....	L-1
Lampiran 2	Hasil Pengujian Bahan Penyusun Kolom.....	L-15
Lampiran 3	Data Pengujian Siklik.....	L-39
Lampiran 4	Perhitungan Teoritis.....	L-75
Lampiran 5	Gambar Pelaksanaan Penelitian.....	L-83



## RINGKASAN

**Desi Putri Kurniasari**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Letak Lap Splice terhadap Daktilitas Kolom Bertulangan Ringan akibat Beban Siklik*, Dosen Pembimbing: Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Ir. Siti Nurlina, MT.

---

Kolom memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban-beban bangunan dari atas hingga ke pondasi. Jika kolom mengalami suatu kegagalan, maka kemungkinan gagalnya keseluruhan bangunan juga tinggi. Pada saat terjadi gempa keruntuhan mendadak pada kolom sangatlah dihindari. Sebagai daerah dengan potensi gempa yang tinggi, komponen struktur bangunan di Indonesia harus berasio tulangan longitudinal lebih dari 1%. Namun masih terdapat bangunan tua dan rumah tinggal dengan rasio tulangan longitudinal pada kolom kurang dari 1% atau biasa disebut dengan kolom bertulangan ringan karena kurangnya pengetahuan tentang struktur.. Disisi lain, kerap muncul bangunan bertingkat yang mengharuskan penggunaan *lap splice* pada kolom untuk dapat meneruskan tulangan, dimana peletakan *lap splice* yang tidak tepat dapat mempengaruhi kegagalan suatu kolom. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku kolom bertulangan ringan dengan *lap splice* akibat gempa, perilaku yang dimaksud adalah daktilitas perpindahan.

Kolom yang diuji berjumlah 4 buah dengan ukuran 150x160 mm dengan mutu beton ( $f'c$ ) 25 MPa dan tinggi kolom 640 mm. Terdapat dua variasi pada penelitian ini yaitu: variasi rasio tulangan longitudinal (0.8% dan 1.1%) dan letak *lap splice* (di bawah kolom dan di tengah kolom), dimana panjang *lap splice* yang digunakan sebesar 200 mm untuk tulangan rasio 0.8% dan 250 mm untuk tulangan rasio 1.1%. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial konstan sebesar 0.1 Pu dan beban siklik hingga kolom melewati keruntuhan beban lateral dengan metode *displacement control*, dimana untuk drift 0-2%, kenaikan drif tiap siklusnya sebesar 0.25% sedangkan untuk drift di atas 2% kenaikan siklus yang diberikan sebesar 0.5% Data yang dicatat untuk analisis daktilitas perpindahan berupa data beban dan perpindahan tiap siklusnya.

Hasil eksperimental dari penelitian ini menunjukkan bahwa kolom dengan rasio tulangan longitudinal 0.8% memiliki daktilitas yang jauh lebih besar dari kolom dengan rasio 1.1% dengan peningkatan sekitar 24% - 88%, sedangkan kolom dengan letak *lap splice* di tengah memiliki daktilitas lebih besar dari kolom dengan letak *lap splice* di bawah dengan peningkatan sebesar 0.8%-14% , meskipun perbedaannya tidak signifikan.

**Kata kunci:** perilaku kolom, beton bertulangan ringan, daktilitas perpindahan, beban gempa, keruntuhan kolom

## SUMMARY

**Desi Putri Kurniasari**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Januari 2016, *Effect of Longitudinal Reinforcement Ratio and Lap Splice Location on Lightly Reinforced Concrete Column Ductility Subjected to Cyclic Load*, Academic Supervisor: Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Ir. Siti Nurlina, MT.

---

Column has main function to distribute building load from the up side to the down side (foundation). When a column failed, there is high possibility of entire building failure. A sudden failure of column is totally avoided when an earthquake happened. As a country which has high potential of earthquake, structure component of building in Indonesia have to build with longitudinal reinforcement ratio over 1%, but we commonly found old buildings and inhabitant housing whose longitudinal reinforcement ratio under 1% or usually called lightly reinforced concrete column. It's caused by the less of builder structure knowledge. On the other hand, the number of buildings whose level over 1 rising, they commonly have lap splice to continue their reinforcement, whereas the unpropriate lap splice location may effect column failure. This study has aim to know the performance of lightly reinforced concrete column with lap splice subjected to earthquake.

There are 4 tested columns which have size 150x160 mm with  $f'_c$  25 MPa and 640 mm column height. This study uses two kind of variations, those are longitudinal reinforcement ratio (0.8% and 1.1%) and lap splice location (bottom and middle of column) the length of lap splice for 0.8% longitudinal reinforcement ratio is 200 mm and the length of lap splice for 1.1% longitudinal reinforcement ratio is 250mm. The experiment is done by giving axial load constantly about 0.1  $P_u$  and cyclic load with displacement control method until the column is over lateral load failure. For drift 0%-2%, the difference in every cycle is 0.25%, but for drifts which are over 2% using 0.5% difference in every cycle. Lateral load and displacement data in every cycle are used to analyze the displacement ductility of reinforced concrete.

The experimental result of this study shows that columns with 0.8% longitudinal reinforcement ratio have a higher ductility than columns with 1.1% longitudinal reinforcement ratio, and columns with lap splice located in the middle have a higher ductility than columns with lap splice located in the bottom, although the ductilities are not significantly different.

**Keywords:** column performance, lightly reinforced concrete, displacement ductility, earthquake load, column failure



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan batang tekan vertikal yang memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban-beban bangunan dari atas hingga ke pondasi. Jika kolom mengalami suatu kegagalan, maka kemungkinan gagalnya keseluruhan bangunan juga tinggi. Sebuah penelitian (Otani,1997, Wibowo et.al 2008) menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan bangunan saat terjadi gempa lebih kepada hilangnya kemampuan menahan beban vertikal daripada menahan beban lateral (Ghannoum et.al, 2008). Ketika terjadi gempa, kinerja kolom untuk menahan beban vertikal akan semakin berat, karena muncul beban lateral tambahan. Pada kondisi tersebut energi yang diterima oleh kolom harus dapat terdisipasi dengan baik ke bagian-bagian kolom untuk menghindari keruntuhan secara mendadak yang dapat membahayakan pengguna bangunan.

Indonesia adalah negara yang dilintasi oleh jalur pertemuan lempeng Indo-Australia, Pasific, dan lempeng Eurasia. Hal tersebut menyebabkan banyak daerah di Indonesia digolongkan sebagai daerah dengan potensi gempa yang tinggi. Oleh karena itulah perencanaan pembangunan di Indonesia harus didesain tahan terhadap gempa. Pada SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung menyatakan bahwa luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non-komposit tidak boleh kurang dari 0.01 kali luas bruto penampang, namun faktanya di Indonesia masih sering dijumpai bangunan dengan kolom berrasio tulangan longitudinal kurang dari 0.01 kali luas bruto penampang atau bisa disebut kolom bertulangan ringan. Bangunan tersebut umumnya berupa bangunan-bangunan tua dan rumah-rumah penduduk yang pelaksanaannya dilakukan oleh tukang tanpa didasari pendidikan tentang struktur yang mendalam dan tidak mengacu pada peraturan pembangunan. Kolom bertulangan ringan juga bisa ditemui di negara berkembang lain ataupun negara dengan intensitas gempa yang rendah.

Kolom bertulangan ringan dipercaya memiliki kapasitas beban lateral dan kapasitas simpangan yang rendah, namun sebuah survey oleh Otani (1999) pada gempa Mexico 1985, Luzon 1990, Erzincan 1992, dan Kobe 1995 menunjukkan bahwa rata-rata kegagalan bangunan dengan beton bertulangan ringan sangatlah rendah dengan didominasi kerusakan operasional yang berupa rusaknya kolom dan dinding struktural akibat lentur dan retak pada dinding non-struktural.



Gambar 1.1 Grafik Kerusakan Bangunan dengan Beton Bertulang Ringan  
Sumber: Moehle dkk, 2008

Penelitian tentang perilaku kolom bertulang ringan sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Ari Wibowo (2012), namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut dengan variabel yang lebih detail seperti lokasi peletakan *lap splice*. Penelitian lokasi *lap splice* pada kolom bertulang ringan sangat perlu dilakukan karena banyak bermunculan bangunan dengan kolom bertulangan ringan memiliki lantai lebih dari satu yang tidak memungkinkan untuk meneruskan tulangan. Kegagalan pada suatu bangunan juga bisa disebabkan akibat kesalahan peletakan lokasi *lap splice* kolom. Oleh karena itulah perlu adanya penelitian untuk mengetahui perilaku kolom beton bertulangan ringan dengan *lap splice* akibat gempa, seperti daktilitas perpindahan.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Penggunaan kolom tulangan ringan di Indonesia masih banyak dijumpai terutama pada bangunan untuk rumah tinggal. Sedangkan kolom tulangan ringan dipercaya memiliki kapasitas beban lateral dan kapasitas simpang yang rendah sehingga memiliki performa yang buruk dalam menahan gempa. Penelitian mengenai kolom tulangan ringan telah dilakukan sebelumnya oleh Dr. Ir. Ari Wibowo dengan variasi beban aksial dan rasio tulangan longitudinal. Dalam penelitian ini dilakukan dengan mengubah variasi rasio tulangan longitudinal dan letak *lap splice*.

## 1.3 Rumusan Masalah

Untuk mendapatkan hasil yang lebih relevan, maka dalam penelitian ini diperlukan rumusan masalah yaitu: Bagaimana pengaruh rasio tulangan longitudinal dan letak *lap splice* terhadap daktilitas kolom bertulangan ringan akibat beban siklik?

## 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 kolom persegi dengan ukuran (150x160) mm dengan rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) sebesar 1.3% dan 0.8%
- 3 Analisis daktilitas diperoleh dari perpindahan total
- 4 Letak *lap splice* di bawah dan tengah kolom
- 5 Mutu beton yang digunakan  $f'_c = 20$  MPa.
- 6 Semen yang digunakan adalah PPC tipe 1.
- 7 Pengujian dilakukan pada saat beton pada kolom telah berumur 28 hari atau lebih.
- 8 Kolom diasumsikan terjepit penuh pada bagian bawah dan ujung bebas.
- 9 Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

## 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh rasio tulangan longitudinal dan letak *lap splice* terhadap daktilitas kolom bertulangan ringan akibat beban siklik.

## 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran terhadap pengaruh rasio tulangan longitudinal dan letak *lap splice*
2. Memberikan gambaran tentang tingkat keamanan suatu struktur bangunan dengan kolom tulangan ringan.
3. Dapat dijadikan acuan untuk *performance base design* untuk kolom tulangan ringan dengan sambungan lewatan.
4. Dapat digunakan sebagai referensi oleh penulis, pembaca, dan pengusaha maupun pengembang sebagai pertimbangan untuk pembangunan rumah dengan kolom tulangan ringan
5. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang akan meneliti lebih lanjut tentang penelitian ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (frame) struktural yang memikul beban dari balok (Nawy, 1990:306). Kolom bertugas untuk meneruskan beban-beban dari struktur di elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan yang menahan struktur di atasnya, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan kerusakan lantai yang bersangkutan beserta seluruh strukturnya.

Pada kolom, banyaknya tulangan harus dikontrol agar kolom dapat berperilaku duktail. Apabila beban pada kolom bertambah, maka akan timbul retak-retak pada daerah yang bertepatan dengan lokasi-lokasi sengkang, saat dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton di luar sengkang akan terlepas. Jika beban terus bertambah akan terjadi keruntuhan dan tekuk lokasi tulangan memanjang pada panjang yang tak tertumpu oleh sengkang. Sehingga dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan, selimut beton akan terlepas lebih dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang.

##### 2.1.1 Parameter yang Mempengaruhi Kolom

Ketika kolom dikenai beban-beban akan timbul perilaku-perilaku khas dari kolom. Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi perilaku tersebut adalah *axial load ratio*, rasio tulangan longitudinal, aspek rasio, rasio tulangan longitudinal.

#### 1. Rasio Tulangan Longitudinal ( $\rho_v$ )

Rasio tulangan longitudinal merupakan suatu perbandingan total luasan tulangan longitudinal dengan luas efektif pada beton.

$$\rho_v = \frac{A_s}{b D} \quad (2-1)$$

Keterangan:

$A_s$  = luas total tulangan longitudinal

$b$  = lebar kolom

$D$  = tinggi penampang kolom

Nama lain dari tulangan longitudinal (tulangan memanjang) adalah tulangan lentur, karena fungsi yang paling utama dari tulangan longitudinal adalah untuk menahan lentur. Oleh karena itu, jumlah dan luas tulangan longitudinal pada suatu struktur dapat berpengaruh terhadap kekuatan struktur tersebut dalam menahan lentur. Di sisi lain, kegagalan menahan beban lateral tergantung pada kekuatan lentur suatu struktur.

## 2. Presentase Tulangan Transversal ( $\rho_s$ )

Tulangan transversal (sengkang) adalah tulangan yang memiliki fungsi utama untuk menahan geser, karena fungsi tersebut tak jarang tulangan transversal disebut sebagai tulangan geser. Rasio tulangan transversal adalah suatu perbandingan khusus yang memiliki banyak definisi tentang tulangan transversal. Berikut ini adalah dua jenis rasio tulangan transversal yang sering digunakan pada penelitian-penelitian :

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

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

Keterangan:

$A_v$  = luas penampang tulangan transversal

$b_s$  dan  $h_s$  = dimensi terhadap garis tengah sengkang

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

Rasio luas: merupakan rasio antara luas penampang tulangan transversal dengan luas penampang beton yang tegak lurus dengan arah beban lateral

$$A_{v.min} = \frac{0.35 b_v s}{f_{sy}} \quad (2-3)$$

Keterangan:

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

### 3. Rasio Beban Aksial

Rasio beban aksial merupakan perbandingan antara beban aksial dengan kemampuan menahan beban aksial  $A_g f'_c$

$$n = \frac{P}{A_g f'_c} \quad (2-4)$$

Pada umumnya gaya aksial tekan dapat mengurangi kapasitas keruntuhan daktail 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 kolom. Peningkatan kekuatan geser kolom tersebut terjadi karena beban aksial dapat membuat kolom lebih kaku yang menghasilkan penundaan retak dan peningkatan efek *shear friction*.

### 4. Aspek Rasio ( $a$ )

Aspek rasio merupakan suatu perbandingan antara panjang kolom dengan tinggi penampang kolom

$$a = \frac{L}{D} \quad (2-5)$$

Keterangan:

$D$  = tinggi penampang kolom

$L$  = panjang geser kolom

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

### 2.1.2 Kolom Bertulangan Ringan

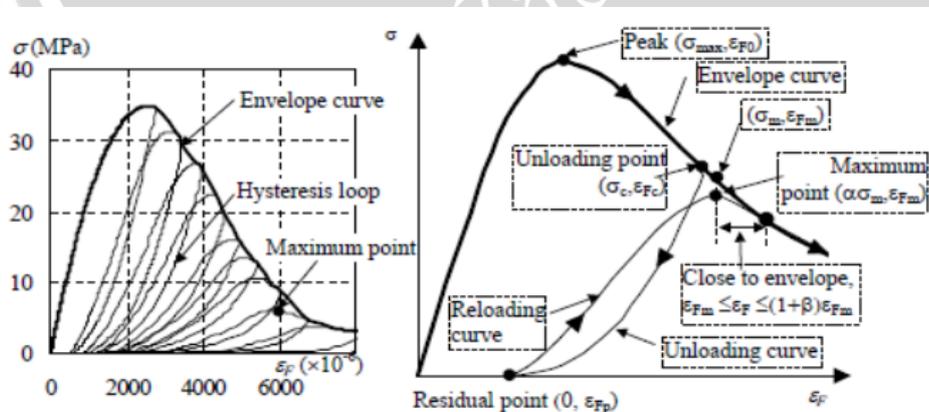
Menurut penelitian yang telah ada sebelumnya, kolom tulangan ringan memiliki kemampuan daktilitas yang terbatas dengan kapasitas simpang yang relatif besar dibandingkan dengan kapasitas simpang pada desain kolom umumnya. Beberapa karakteristik dari kolom tulangan ringan diantaranya:

- Aspek rasio sedang berkisar antara 2 - 4
- Rasio tulangan longitudinal 0,5% - 1,5%
- Rasio volumetrik tulangan transversal yaitu selain 0.1%
- Rasio beban aksial berkisar antara 0,1 – 0,4 (Wibowo, 2012:77)

### 2.2 Beban Siklik

Beban siklik merupakan beban berulang yang diterima oleh suatu struktur. Kegagalan struktur juga bisa disebabkan oleh beban siklik yang terjadi, meskipun desain awal struktur memiliki kekuatan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Kegagalan *fatigue* yang 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.

Pada struktur kolom, beban aksial merupakan representatif dari berat sendiri dan beban siklik merupakan beban luar yang terjadi berulang, misalkan beban gempa. Beban aksial dan siklik ini akan bekerja secara bersamaan pada struktur kolom.



Gambar 2.1 Histeresis Loop  
Sumber: Parmo, dkk. 2013

Untuk memprediksi perilaku struktur beton dibawah pembebanan seismik, model tegangan-tegangan beton dibawah beban siklik (*histeresis loop*) adalah hal yang penting untuk diamati. Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton.

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa : *unloading point* adalah titik dimana *unloading* dimulai, *residual point* adalah titik ketika *unloading* penuh (tegangan mencapai nol), dan *maximum point* adalah persimpangan *unloading point* dengan *unloading curve*. Unloading curve ( $\sigma$ ,  $\epsilon_{Fu}$ ) adalah jika nilai  $\epsilon_F$  di wilayah pasca-puncak berkurang dengan tegangan ( $\sigma$ ) : antara *unloading point* ( $\sigma_c$ ,  $\epsilon_{Fc}$ ) dan *residual point* (0,  $\epsilon_{Fp}$ ) (tegangan mencapai 0 kN). Setelah benar-benar *unloading* diturunkan sampai nol, tegangan dan regangan meningkat lagi dari *residual point*. Kemudian, pendekatan ke *maximum point* ( $\alpha\sigma_m$ ,  $\epsilon_{Fm}$ ) yang disebut *reloading curve* ( $\sigma$  -  $\epsilon_{Fr}$ ). Titik akhir dari *reloading curve* dan titik awal *unloading curve* disebut *envelope curve*.

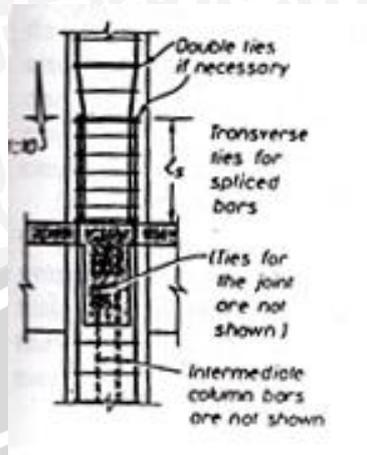
### 2.3 Sambungan Lewatan (*Lap Splice*)

Pada struktur yang dibangun dengan beton bertulang sangatlah baik jika pada setiap kolom dapat digunakan tulangan longitudinal yang menerus antar kolom-kolomnya, tanpa ada pemutusan. Sayangnya, pada praktiknya sangatlah sulit untuk mengaplikasikan tulangan longitudinal menerus karena alasan panjang tulangan longitudinal dari pabrik yang terbatas sedangkan kebutuhan untuk gedung-gedung bertingkat banyak sangatlah tinggi. Sehingga pada kasus seperti itu perlu digunakan sambungan lewatan pada kolom.

Pada umumnya, sambungan lewatan dilakukan dengan cara tumpang tindih (*overlapping*) antar tulangan secara paralel. Transmisi gaya pada sambungan tersebut bergantung pada ikatan antar tulangan dan beton disekitarnya serta respon dari beton diantara tulangan yang berdekatan.

Ketika gaya yang besar dari baja akan ditransmisikan oleh ikatan, retak yang membelah beton semakin mengembang. Pola retak pada penulangan longitudinal menerus dan penulangan *lap splice* ditunjukkan pada gambar 2.2 Untuk memungkinkan gaya pada tulangan ditransmisikan menerus melalui retak yang membelah susunan tulangan, mekanisme geser gaya gesek perlu dimobilisasi. Hal ini dilakukan untuk mengontrol gaya yang menyebabkan retakan, terutama di akhir sambungan, peningkatan gaya pengeang ikatan transversal diperlukan. Pada wilayah dengan intensitas gempa tinggi, tekanan beban siklik pada tulangan baja harus segera ditransfer, sehingga panjang sambungan lewatan perlu

diperpanjang, namun tanpa penulangan ikat transversal yang memadai, kinerja kolom tidak akan memuaskan.



Gambar 2.2 Aplikasi *Lap Splice* pada Kolom  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1994

Menurut Paulay (1990) terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan lokasi sambungan lewatan kolom. Pada daerah yang berpotensi timbul sendi plastis akan terjadi pelepasan tulangan baik dalam bentuk tarikan ataupun tekanan. Dalam kondisi tersebut, perlu diperkirakan peningkatan regangan, sehingga sangat tidak dianjurkan untuk meletakkan sambungan lewatan pada daerah tersebut. Alternatif yang bisa digunakan adalah meletakkan sambungan lewatan pada bagian tengah di atas lantai dua.

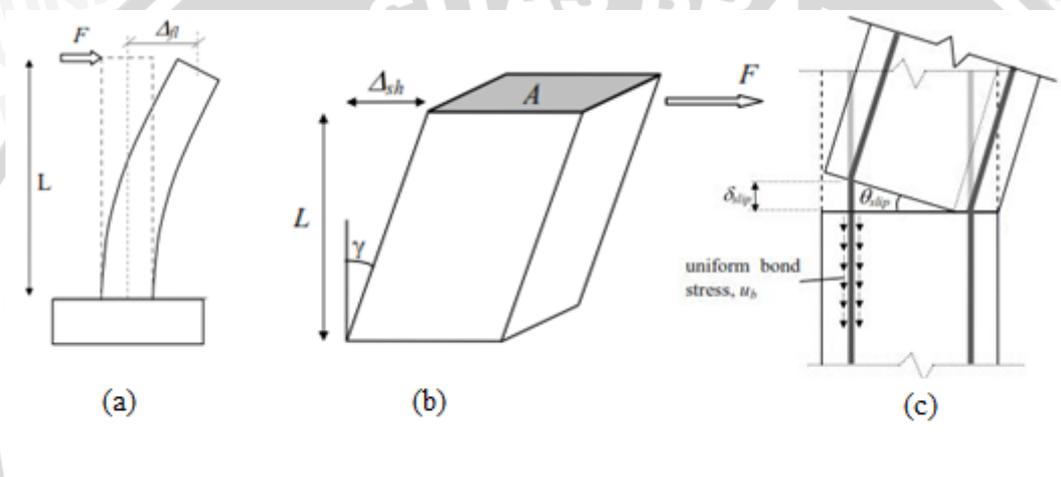
Terjadinya leleh dan rotasi pada sendi plastis dapat ditemukan pada beberapa kasus yang berlokasi di akhir sambungan lewatan saat terjadi momen maksimum. Hal tersebut dapat menimbulkan keruntuhan pada kolom, sehingga sangat dibutuhkan daktilitas yang tinggi pada struktur kolom. Jika kolom dengan dimensi yang besar diberi sambungan lewatan pada daerah sendi plastis maka akan terjadi kegagalan pada sambungan tersebut, karena memburuknya transfer ikatan antar sambungan secara seragam ketika ujung kolom mulai timbul sendi plastis.

Pengelasan merupakan penghubung mekanis yang sangat umum digunakan untuk sambungan lewatan, terlebih lagi untuk kolom dengan ukuran yang besar, dimana panjang sambungan lewatan sangat dipertimbangkan. Perhatian khusus perlu dilakukan pada pengelasan di lapangan. Pengelasan lebih dikonsentrasikan pada pengelasan ujung dan harus diaplikasikan dengan hati-hati. Kebanyakan kolom umumnya menggunakan tulangan kuat.

Ketika pada kolom tersebut dilakukan pengelasan akan muncul bahaya baru yaitu berupa struktur yang menjadi lebih getas dari sebelumnya. Karena itulah, pengelasan sangat tidak dianjurkan untuk dilakukan di daerah yang berpotensi sendi plastis.

#### 2.4 Perpindahan

Terdapat 3 komponen perpindahan pada kolom yaitu perpindahan lentur, perpindahan geser, dan perpindahan saat leleh. Untuk kolom dengan pemberian beban aksial yang rendah umumnya akan muncul perilaku lentur karena perpindahan yang dominan adalah perpindahan lentur. Sedangkan untuk kolom dengan pemberian beban aksial yang besar akan muncul perilaku geser dan lentur.



Gambar 2.3 Komponen Perpindahan Total (a) Lentur (b) Geser (c) Penetrasi Leleh  
Sumber: Wibowo, 2012

Perpindahan lentur biasanya dianalisis menggunakan momen-kurvatur atau juga dapat menggunakan rumus pendekatan sebagaimana yang tertera di bawah ini.

$$\Delta = \frac{P}{k} \quad (2-6)$$

Keterangan:

$\Delta$  = Perpindahan

$P$  = Beban Lateral

$k$  = Kekakuan

Untuk rumus dari kekakuan disesuaikan dengan tipe struktur yang digunakan jika terjepit bebas maka digunakan rumus kekakuan sebagaimana di bawah ini.

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad (2-7)$$

Rumus perpindahan di atas hanya dapat digunakan untuk kondisi elastis suatu struktur saja. Untuk mencapai nilai sampai beban maksimum bisa digunakan rumus pendekatan dengan mengganti nilai momen inersia gross dengan momen inersia efektif yang digunakan setelah terjadi retak.

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (2-8)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (2-9)$$

$$f_r = 0.6\sqrt{f'_c} \quad (2-10)$$

$$M_u = 0,85 \cdot f'_c \cdot ab \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f'_s (d - d') \quad (2-11)$$

Keterangan:

$M_u$  = Momen maksimum

$I_{cr}$  = Momen inersia crack

$I_g$  = Momen inersia gross

## 2.5 Daktilitas

Daktilitas adalah kemampuan dari suatu struktur untuk tidak mengalami keruntuhan secara tiba-tiba, tetapi masih mampu berdeformasi cukup besar pada saat mencapai beban maksimum sebelum struktur tersebut mengalami keruntuhan (Park dan Paulay, 1975). Daktilitas sering dijadikan tujuan akhir yang ingin dicapai oleh bangunan tahan gempa karena daktilitas mampu mencegah keruntuhan secara mendadak agar terdapat waktu yang cukup agar penghuni gedung dapat menyelamatkan diri. Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur dalam menahan pengaruh deformasi akibat kondisi pembebanan yang berlebihan dan menyerap pengaruh energi gempa

Perilaku daktail dapat dipastikan dengan mendesain balok, kolom, dan pertemuannya dengan hati-hati, sehingga keruntuhan dapat dihindari, bahkan ketika terjadi gempa yang menghancurkan. Pendetailan yang daktail adalah suatu proses untuk memastikan bahwa ketentuan di atas diberlakukan ketika memproporsikan elemen struktur rangka beton bertulang dan menyediakan baja tulangan yang dibutuhkan. Hal ini dapat dicapai melalui pemilihan dimensi dan pengaturan tulangan balok, kolom, dan titik pertemuannya dengan tepat.

Daktilitas suatu struktur dikelompokkan kedalam 3 jenis berdasarkan segi yang ditinjau dalam perhitungan yaitu daktilitas regangan (*strain ductility*), daktilitas lengkungan (*curvature ductility*), daktilitas simpangan (*displacement ductility*)

### 2.5.1 Daktilitas Regangan

Daktilitas bisa didefinisikan sebagai kemampuan dari material untuk dapat menahan tegangan plastis tanpa penurunan yang drastis. Dari pengertian tersebut terlihat ada hubungan khusus antara tegangan dengan daktilitas. Daktilitas regangan merupakan perbandingan antara total tegangan yang terjadi dengan tegangan yang terjadi saat leleh (Paulay dan Priestley, 1994)

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \quad (2-12)$$

Keterangan:

$\mu_{\epsilon}$  = Daktilitas regangan

$\epsilon$  = Regangan total

$\epsilon_y$  = Regangan saat leleh

Daktilitas yang berarti hanya bisa didapatkan jika tegangan plastis dapat dikembangkan hingga panjang yang cukup. Jika regangan plastis terbatas sehingga panjang yang terbentuk kurang, maka akan muncul kebutuhan daktilitas regangan yang sangat besar.

### 2.4.2 Daktilitas Kelengkungan

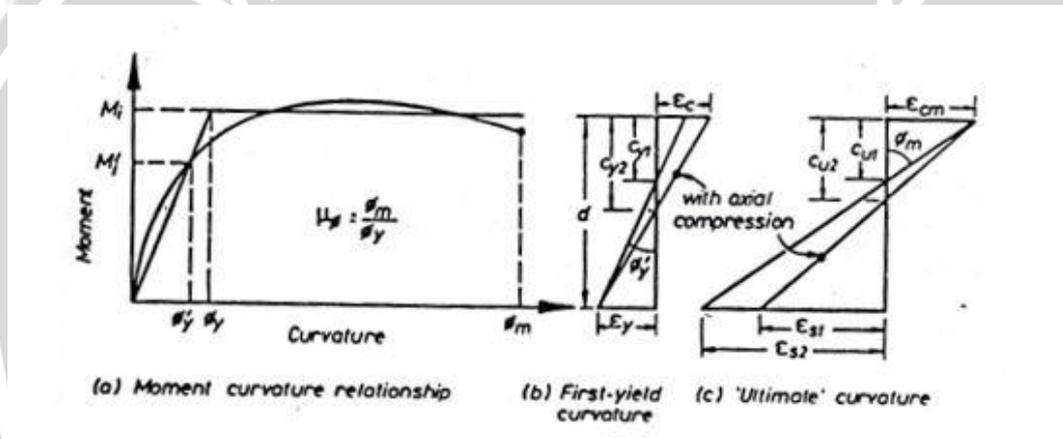
Hal yang paling berpengaruh pada deformasi struktur plastis adalah rotasi pada daerah yang berpotensi sendi plastis. Oleh karena itu perlu adanya hubungan antara rotasi per unit panjang dengan momen lentur, seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut ini.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_m}{\phi_y} \quad (2-13)$$

Keterangan:

$\phi_m$  = kelengkungan maksimum yang diharapkan

$\phi_y$  = kelengkungan saat terjadi leleh



Gambar 2.4 Definisi Daktilitas Kuryatur  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1994

### 2.5.3 Daktilitas Perpindahan

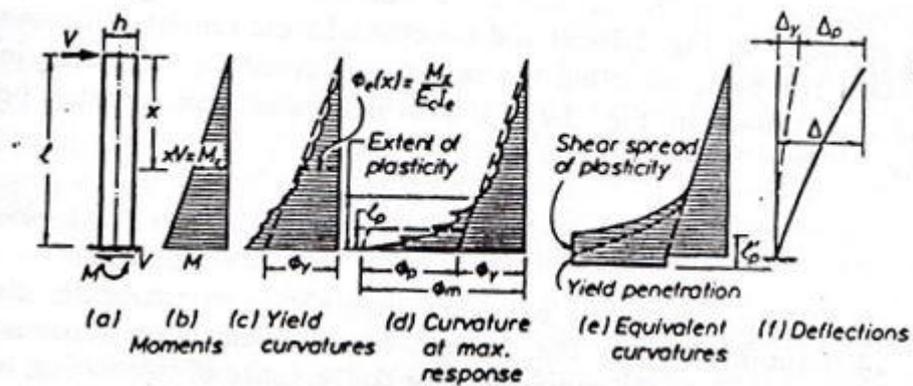
Daktilitas Perpindahan umumnya digunakan untuk mengevaluasi struktur yang dikenai beban gempa. Daktilitas perpindahan merupakan perbandingan dari perpindahan total maksimum yang terjadi dengan perpindahan saat awal terjadi leleh.

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (2-14)$$

Keterangan:

$\Delta_u$  = Perpindahan total saat ultimit

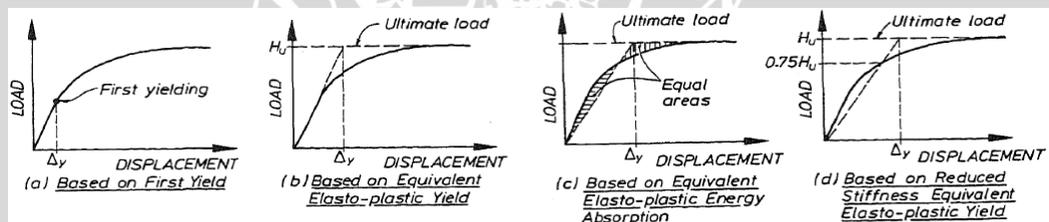
$\Delta_y$  = Perpindahan saat terjadi leleh



Gambar 2.5 Daktilitas Simpangan pada Kantilever  
Sumber: Paulay dan Priestley, 1994

Pada struktur, ketika respon gempa yang terjadi melebihi beban rencana maka deformasi inelastis harus tercapai. Ketika struktur mampu merespon keadaan inelastis tanpa penurunan kemampuan yang drastis, maka hal ini bisa disebut dalam keadaan daktail. Keadaan sempurna terjadi saat *ideal elastic/ perfectly plastic (elastoplastic)*.

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



Gambar 2.6 Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh  
Sumber: Park, 1988



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Letak *Lap Splice* terhadap Daktilitas Kolom Bertulangan Ringan” 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 pada bulan November 2015 sampai Maret 2016.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

##### 1. Peralatan

##### a. Alat Pemotong Tulangan

Digunakan untuk memotong baja tulangan polos dan ulir sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan.

##### b. Alat Pembengkok Tulangan

Digunakan untuk membengkokkan tulangan baja sesuai dengan detail yang dibutuhkan.

##### c. Alat Uji Tarik Baja

Digunakan untuk uji tarik baja tulangan.

##### d. Alat *Slump Test*

Digunakan untuk pengujian nilai *slump* dan adukan beton.

##### e. *Vibrator*

Digunakan untuk memadatkan beton setelah dituang ke dalam kolom.

##### f. Timbangan

Digunakan untuk menimbang berat silinder sebelum dilakukan test uji tekan pada benda uji.

## g. Cetakan Baja

Merupakan cetakan silinder beton diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk mencetak sample uji tekan beton.

h. *Compression Testing Machine*

Digunakan untuk melakukan uji kuat tekan silinder beton.

i. *Analog dan Digital Hammer Test*

Digunakan untuk mengetahui mutu beton tiap spesimen.

j. *Loading Frame*

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

k. *Hydraulic Jack*

Digunakan untuk memberikan beban aksial dan lateral ke benda uji kolom beton bertulang.

l. *Load Cell*

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

m. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*

Digunakan untuk mengukur perpindahan pada spesimen kolom dengan jumlah 5 buah.

n. *Dial gauge*

Digunakan untuk mengukur perpindahan pada spesimen kolom dengan jumlah 4 buah

## o. 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.

p. *Handycam* dan Kamera

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

## q. Alat Pendukung Lain

Digunakan untuk membantu pelaksanaan penelitian seperti cetok, cangkul, dan ember.

## 2. Bahan

### a. Beton.

Beton yang digunakan dalam penelitian ini direncanakan dengan  $f'c = 20$  Mpa

### b. Besi Tulangan.

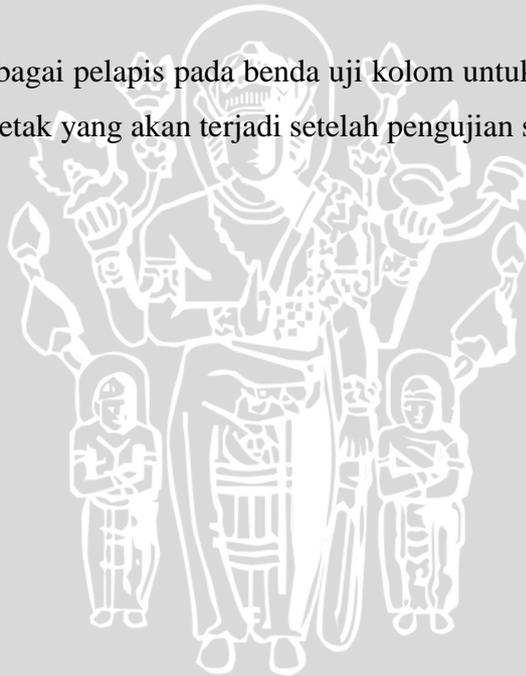
Baja tulangan longitudinal adalah tulangan polos  $\varnothing 8$  dan  $\varnothing 10$  sedangkan tulangan sengkang menggunakan tulangan polos  $\varnothing 6$ . Kawat bendrat digunakan sebagai pengikat antara tulangan dengan sengkang agar kedudukan tulangan tidak berubah.

### c. Bekisting

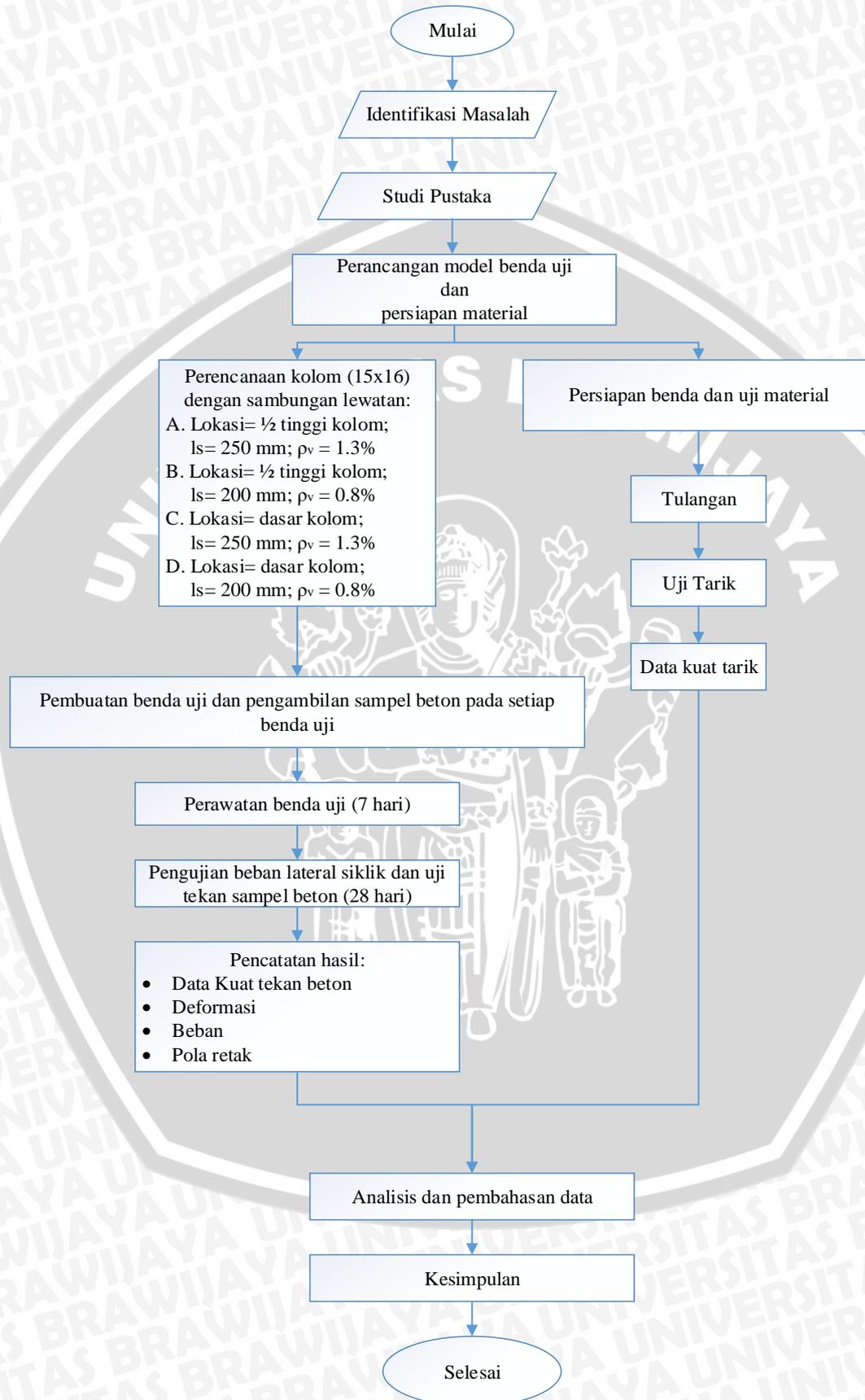
Bekisting menggunakan papan multipleks 9 mm dan diperkuat dengan balok kayu.

### d. Cat Tembok Putih

Digunakan sebagai pelapis pada benda uji kolom untuk memudahkan dalam pengamatan pola retak yang akan terjadi setelah pengujian siklik dilakukan.



### 3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

### 3.4 Rancangan Penelitian

#### 3.4.1 Campuran Beton

Beton direncanakan dengan kuat tekan beton silinder rata-rata  $f'_c$  sebesar 20 Mpa dengan rasio semen : air : agregat halus : agregat kasar yaitu 1 : 0.58 : 2.32 : 2.69

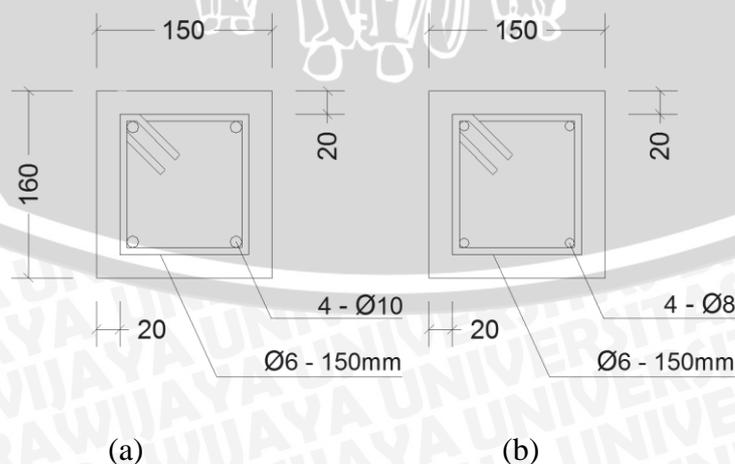
#### 3.4.2 Jumlah Benda Uji

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

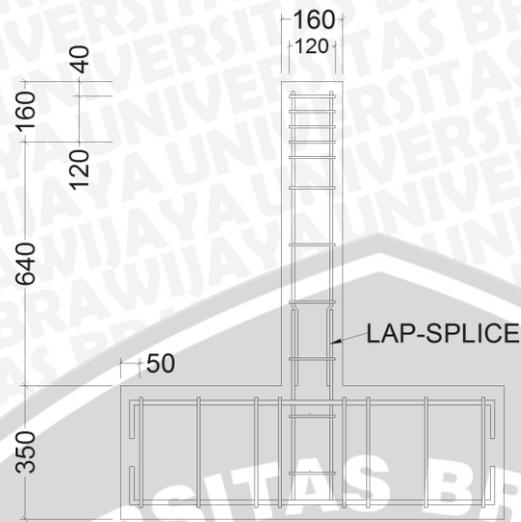
- Kolom dengan dimensi 150 mm x 160 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- $\varnothing$ 10 dan tulangan transversal  $\varnothing$ 6-150 mm.
- Kolom dengan dimensi 150 mm x 160 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- $\varnothing$ 8 dan tulangan transversal  $\varnothing$ 6-150 mm.
- Kolom dengan dimensi 150 mm x 160 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- $\varnothing$ 10 dan tulangan transversal  $\varnothing$ 6-150 mm.
- Kolom dengan dimensi 150 mm x 160 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- $\varnothing$ 8 dan tulangan transversal  $\varnothing$ 6-150 mm.

Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Kolom

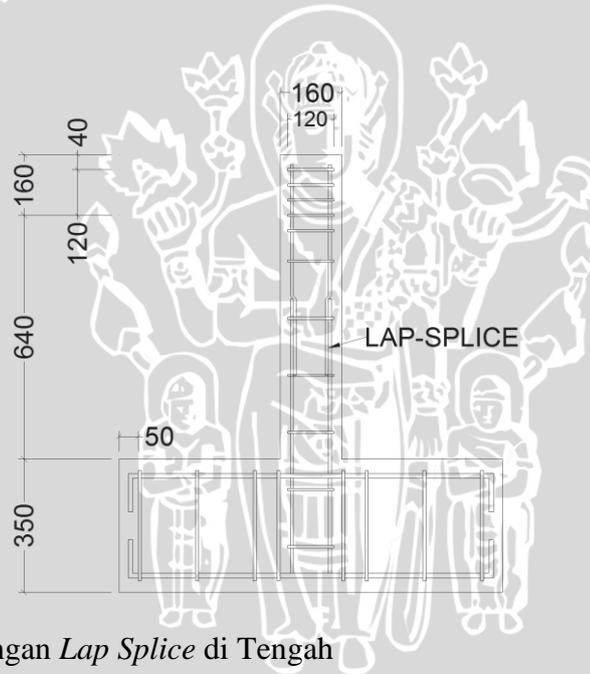
Nama Kolom	Dimensi Kolom (mm)	Tinggi kolom (mm)	Aspek Rasio	$\rho_v$ (%)	Tulangan Longitudinal I	$\rho_H$		Tulangan Transversal	n	$f'_c$ (MPa)	Letak sambungan lewatan	$l_s$ (mm)
						Area	Volum e					
L15SB	150 x 160	640	4	0,8	4 $\varnothing$ - 8	0,12	0,21	$\varnothing$ 6 - 150 mm	0,1	20	Di Bawah	200
L15SM	150 x 160	640	4	0,8	4 $\varnothing$ - 8	0,12	0,21	$\varnothing$ 6 - 150 mm	0,1	20	Di Tengah	200
M15SB	150 x 160	640	4	1,3	4 $\varnothing$ - 10	0,12	0,21	$\varnothing$ 6 - 150 mm	0,1	20	Di Bawah	250
M15SM	150 x 160	640	4	1,3	4 $\varnothing$ - 10	0,12	0,21	$\varnothing$ 6 - 150 mm	0,1	20	Di Tengah	250



Gambar 3.2 (a) Benda uji M15SM dan M15SB; (b) Benda Uji L15SM dan L15SB  
Sumber : Data pengujian



Gambar 3.3 Penulangan Benda Uji dengan *Lap Splice* di Bawah  
 Sumber : Data pengujian



Gambar 3.4 Benda Uji dengan *Lap Splice* di Tengah  
 Sumber : Data pengujian

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Persiapan

Pekerjaan persiapan berupa pengadaan bahan-bahan yang diperlukan untuk pembuatan cetakan / bekisting, pengadaan tulangan, pengadaan beton dengan  $f'c = 20$  MPa serta persiapan untuk *setting up* alat pengujian siklik. Persiapan dilanjutkan dengan pengujian tahap awal lainnya, yaitu pengujian tarik baja dan uji tekan silinder beton.

#### 3.5.2 Uji Tarik Baja Tulangan

Pengujian tarik dilakukan pada tulangan baja yang dipakai untuk tulangan longitudinal dan sengkang pada spesimen yang diambil secara acak sehingga diharapkan dapat mewakili tegangan tarik pada tulangan spesimen. Untuk tulangan longitudinal  $\varnothing 10$  dan  $\varnothing 8$  disiapkan 3 batang tulangan masing-masing sepanjang 20 cm. Selain itu, juga disiapkan 3 batang tulangan sengkang  $\varnothing 6$  sepanjang 20 cm. Nilai yang diperoleh merupakan rerata dari ketiga sampel tulangan yang diuji.

#### 3.5.3 Uji Tekan Silinder Beton

Digunakan cetakan baja silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Untuk masing-masing benda uji diambil sampel sebanyak 2 silinder. Setelah berusia 1 hari dan telah kering, cetakan baja dibuka, kemudian silinder langsung direndam didalam air. Dan 3 hari sebelum uji tekan dilakukan, silinder diangkat dan dikeringkan, sehingga diharapkan pada saat uji tekan kondisi beton sudah benar-benar kering. Pengujian tekan dilakukan pada hari ke 7 dan hari saat spesimen diuji.

#### 3.5.4 Pembuatan Model Kolom

##### a. Penulangan

Untuk penulangan longitudinal kolom digunakan 4- $\varnothing 10$  dan 4- $\varnothing 8$  yang dipasang simetris pada keempat sisi kolom. Tulangan sengkang  $\varnothing 6-150$  digunakan untuk mengikat tulangan longitudinal dan diikat dengan kawat bendrat.

### b. Uji Slump

Bersamaan dengan pengecoran, dilakukan juga pengujian kelecakan (*slump test*) yang bertujuan untuk mengetahui nilai *slump* beton.

### c. Pengecoran dan Masa *Curing*

Pengecoran dilakukan dalam ruangan. Bekisting dikondisikan tidak berubah posisi sampai beton benar-benar kering. Untuk pemadatan, digunakan *vibrator*. Selama masa *curing*, permukaan beton senantiasa ditutup karung basah untuk menjaga beton selalu dalam kondisi lembab. Karena kapasitas molen yang terbatas, setiap benda uji diisi dengan 2 adukan molen.

Untuk melihat pola retak, kolom beton diberi pewarna putih menggunakan cat tembok sehingga pola retak yang terjadi dapat dilihat dengan jelas serta dapat diberi tanda. Untuk memudahkan pengamatan, dibuat garis kotak-kotak di permukaan kolom bertulang dengan ukuran 5 cm x 5 cm untuk menandai retak yang terjadi sehingga dapat terlihat pola retaknya.

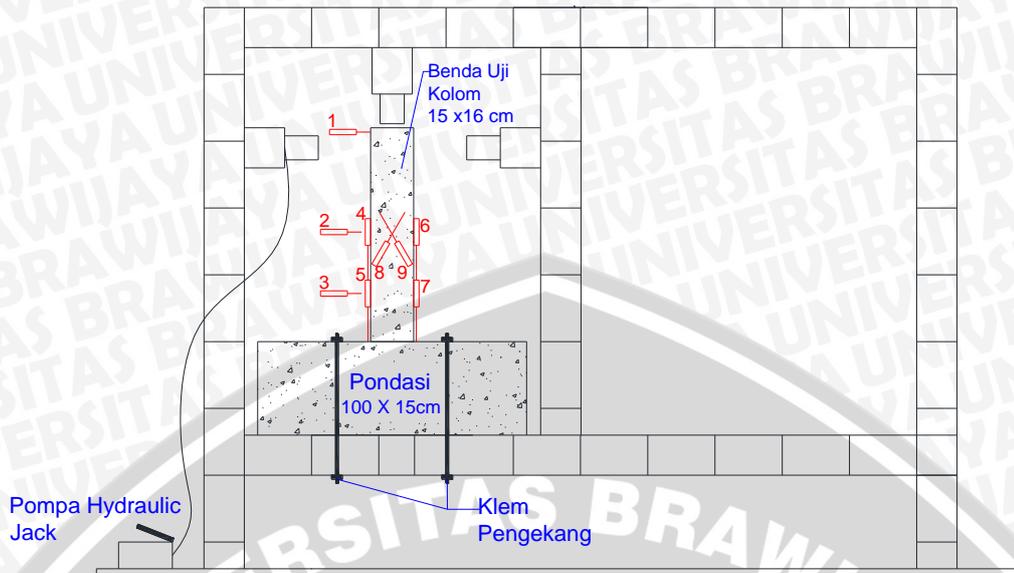
### 3.5.5 Setting Up

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan menempatkan benda uji kolom berdiri tegak pada 2 buah rangka baja (*loading frame*)

Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah *load cell*, *hydraulic jack*, dan 9 buah LVDT. *Load cell* digunakan sebanyak 3 buah, dimana 2 buah diletakkan pada bagian kanan dan kiri kepala kolom yang berfungsi sebagai pembaca beban lateral atau beban siklik, sedangkan 1 buah diletakkan di atas kepala kolom yang berfungsi sebagai pembaca beban aksial.

*Displacement* beton diperoleh dari 9 buah LVDT, yang digunakan untuk menghitung:

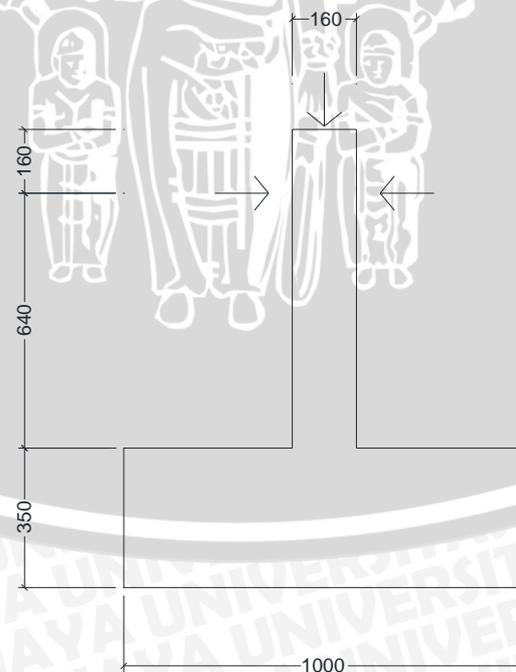
- Perpindahan lateral total (LVDT 1 dan Dial Gauge 2 dan 3)
- Perpindahan lentur (LVDT 4-7)
- Perpindahan geser (Dial Gauge 8-9)



Gambar 3.5 *Setting Up* saat Pengujian  
 Sumber : Data pengujian

### 3.5.6 Beban Rencana

Beban aksial yang digunakan adalah 1% dari beban aksial ultimit. Sedangkan beban lateral maksimum yang digunakan didapat dari nilai  $M_u/0.64$

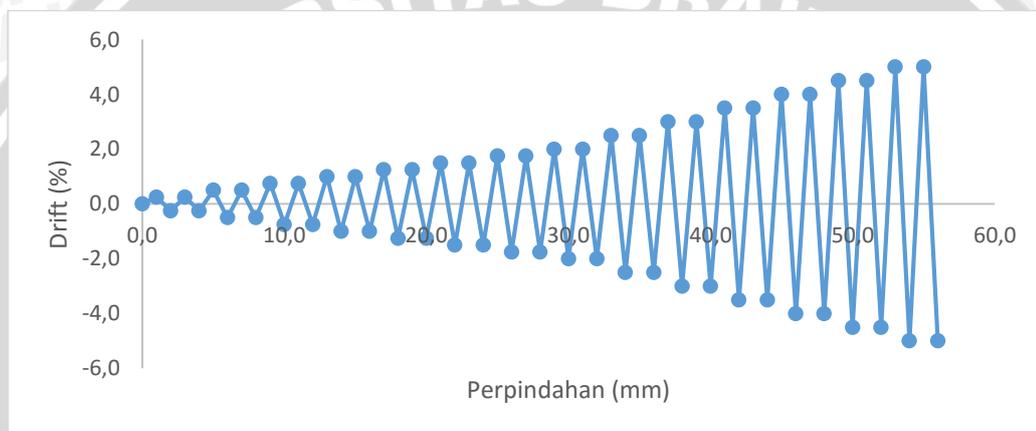


Gambar 3.6 Lokasi Pemberian Beban  
 Sumber : Data pengujian

### 3.5.7 Pelaksanaan Pengujian Siklik

Pengujian spesimen dilakukan setelah benda uji kolom beton berumur di atas 28 hari. Hal ini terkait dengan kesiapan alat pengujian yang akan digunakan. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji kolom 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 1% dari beban aksial ultimit yang bernilai tetap selama pengujian dilakukan dan beban lateral yang dikenakan sesuai dengan siklus lateral *drift* tanpa melebihi beban lateral maksimum yang diijinkan, yaitu  $Mu/0,64$ .



Gambar 3.7 Siklus Lateral *Drift*

Sumber : Data pengujian

Penggunaan *displacement control* pada pengujian ini membagi pengujian dalam beberapa siklus dengan kenaikan drift sebesar 0,25% sampai drift mencapai 2% dan dilanjutkan dengan kenaikan drift 0,5% sampai pengujian tidak dapat dilanjutkan kembali.

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

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas (*independent variable*), adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan peneliti. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah rasio tulangan longitudinal, dan letak sambungan lewatan tulangan longitudinal (*lap splice*).
2. Variabel Terikat (*dependent variable*), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah perpindahan, beban lateral, dan daktilitas.

### 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 kolom. Penelitian ini juga melakukan pengamatan perambatan retk, baik mengenai retak awal, lokasi, ukuran, dan juga *spalling* yang terjadi.

#### a. Data Uji Tarik Baja

Pengujian tarik baja dilakukan untuk baja tulangan yang digunakan sebagai tulangan longitudinal dan tulangan transversal. Pengujian tarik baja tulangan memberikan data tegangan leleh baja

#### b. Data Kuat Tekan Beton

Data ini diperoleh dari pengujian kuat tekan silinder beton, hammer test analog dan digital untuk setiap spesimen. Ketiga pengujian tersebut dilakukan pada saat umur beton lebih dari 28 hari.

#### c. Data *Lateral Load-Displacement*

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

#### d. Data Pengamatan Retak

Data ini diperoleh dengan mencatat beban retak awal, lokasi, dan ukuran retak. Data pola retak digambarkan dengan cara membagi permukaan kolom menjadi grid dengan ukuran kotak 50 mm x 50 mm.

### 3.8 Analisis Hasil

Dalam penelitian ini akan dianalisis hasil yang meliputi :

a. Kuat Tarik Baja Tulangan

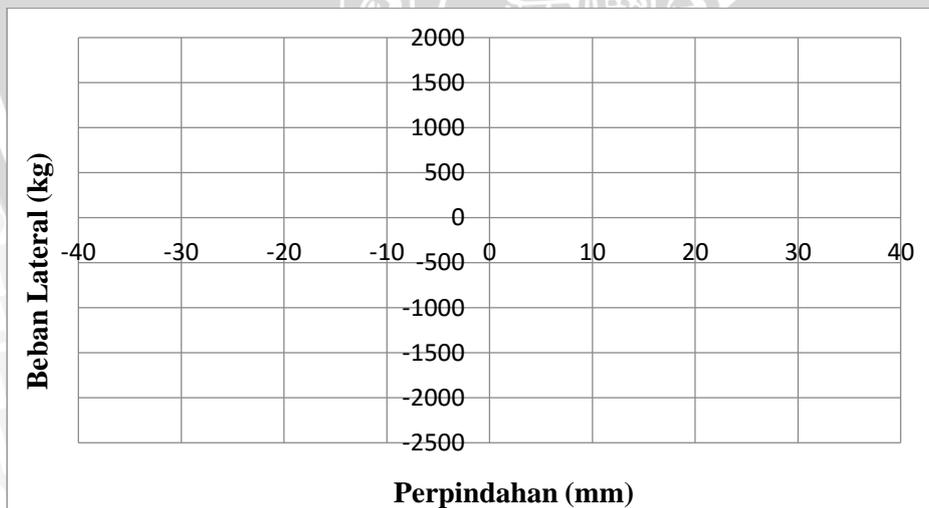
Untuk mendapatkan tegangan leleh baja adalah dengan membagi beban saat leleh terhadap luas penampang aja tulangan, begitu juga untuk tegangan ultimit. Sedangkan untuk regangan baja diperoleh dengan membagi pertambahan panjang yang dihasilkan terhadap panjang awal tulangan baja. Modulus elastisitas diperoleh dengan membagi tegangan terhadap regangan yang terjadi.

b. Kuat Tekan Beton

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

c. Beban lateral dan perpindahan

Pencatatan beban lateral dan perpindahan kolom saat pengujian diperlukan untuk dibuatkan grafik beban-perpindahan. Dari data grafik tersebut dapat di analisis daktilitas.



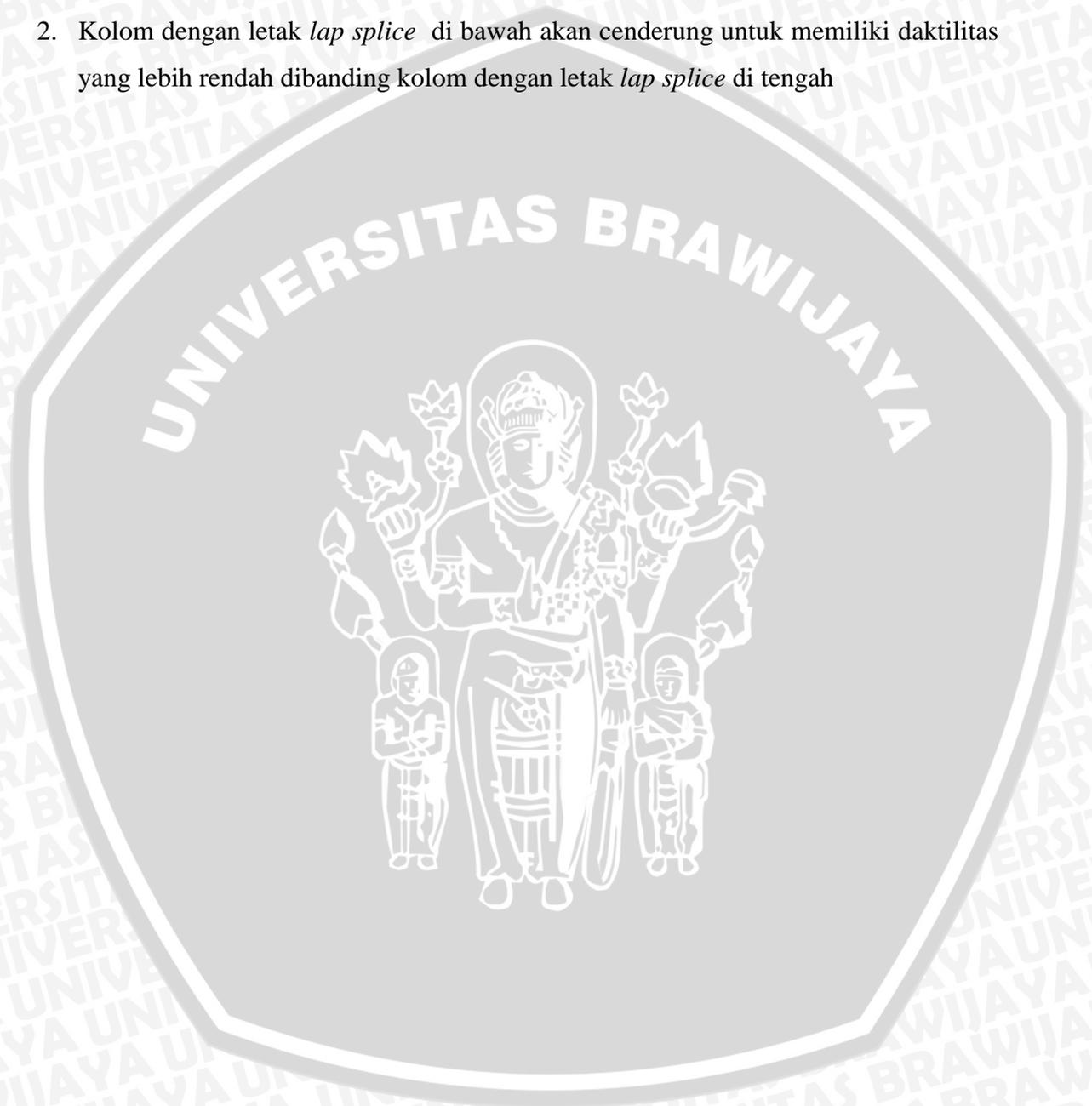
Gambar 3.8 Hubungan Beban Lateral – Perpindahan

Sumber : Data pengujian

### 3.9 Hipotesa Penelitian

Hipotesa penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kolom dengan rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 0.8% akan cenderung memiliki daktilitas yang lebih tinggi dibanding dengan kolom dengan rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 1.1 %
2. Kolom dengan letak *lap splice* di bawah akan cenderung untuk memiliki daktilitas yang lebih rendah dibanding kolom dengan letak *lap splice* di tengah





## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Bahan Penyusun Kolom

Kolom kantilever yang digunakan saat pengujian terdiri dari beton dan baja tulangan. Untuk mengetahui karakteristik dari bahan penyusun tersebut dilakukan analisis dari dua pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya, yaitu:

- a. Uji tekan beton
- b. Uji tarik baja tulangan

##### 4.1.1 Beton

Beton yang digunakan direncanakan dapat memiliki  $f'c$  20 Mpa pada hari ke 28 atau  $f'c$  17 Mpa pada hari ke 14. Perencanaan beton dilakukan dengan *mix design* dan menghasilkan perbandingan aktual semen : air : agregrat halus : agregrat kasar sebesar 1 : 0,58 : 2,32 : 2,69.

Pada saat pengecoran untuk satu benda uji membutuhkan 2 kali pembuatan dengan *mixer*, oleh karena itu diambil 2 buah sampel yang berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk masing-masing benda uji yang berasal dari bagian pondasi dan bagian kolom. Karena pengujian beban siklik dilakukan lebih dari hari ke 28, hasil uji kuat tekan beton dikonversikan ke hari 28 dengan anggapan penambahan kuat tekan beton akan sangat kecil setelah hari ke 28. Berikut ini merupakan hasil uji tekan beton.

Uji tekan beton yang dilakukan terdiri dari analog dan *digital hammer test*, serta uji tekan silinder beton. Pada akhirnya nilai mutu beton yang digunakan adalah mutu beton yang dibaca melalui *analog hammer test*. Hal ini dikarenakan sistem pembacaan *analog hammer test* yang mengambil nilai tengah di setiap pembacaan bukan nilai pembacaan terendah seperti *digital hammer test*. Sedangkan untuk hasil uji tekan silinder tidak digunakan, karena hanya menggunakan 1 silinder untuk masing-masing benda uji, sehingga hasilnya kurang meyakinkan untuk digunakan.

Pada lampiran 2 terdapat nilai standar deviasi pada masing-masing kolom dari pembacaan *analog hammer test*. Kolom M15SM menunjukkan nilai standar deviasi tertinggi sebesar 4,475%. Nilai tersebut menunjukkan perbedaan mutu beton yang cukup jauh jika dibandingkan dengan kolom lain, di sisi lain perencanaan benda uji menggunakan *mix design* yang sama. Oleh karena itu, diputuskan hasil uji tekan kolom M15SM tidak digunakan, sebagaimana ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Mutu Beton Tiap Spesimen

Kolom	Digital Hammer Test (MPa)	Analog Hammer Test (MPa)	Uji Tekan Silinder (MPa)	Standar Deviasi
L15SB	27,5	26,51	23,88	1,503333
L15SM	21	23,47	20,65	1,536667
M15SB	25,5	25,04	21,67	0,033333
M15SM	18	19,04	24,45	
<b>Rata-rata</b>		25,006667		

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, analisis selanjutnya digunakan nilai  $f'_c$  untuk semua spesimen kolom adalah sebesar 25 MPa.

#### 4.1.2 Baja Tulangan

Analisa baja tulangan dilakukan dengan uji tarik baja tulangan untuk mengetahui tegangan leleh pada setiap tulangan yang digunakan di benda uji kolom. Terdapat tiga diameter yang dilakukan pengujian yaitu tulangan diameter  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 8$ , dan  $\varnothing 10$  dengan jumlah sampel sebanyak tiga buah untuk setiap diameter. Berikut ini merupakan hasil uji tarik baja tulangan.

Tabel 4.2 Tegangan Leleh Tulangan Kolom

No. Tulangan	Diameter	Diameter Aktual (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	fy (Mpa)
4	$\varnothing 6$	5,92	27,53	10400	377,83
				<b>fy</b>	377,83
3	$\varnothing 8$	7,61	45,48	20000	439,71
2	$\varnothing 8$	7,61	45,48	20360	447,63
1	$\varnothing 8$	7,61	45,48	19000	417,73
				<b>fy</b>	435,02
3	$\varnothing 10$	9,15	65,76	35000	532,27
2	$\varnothing 10$	9,15	65,76	34580	525,89
1	$\varnothing 10$	9,15	65,76	36000	547,48
				<b>fy</b>	535,22

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada saat pengujian tulangan  $\varnothing 6$  memberikan hasil yang kurang relevan untuk ke tiga sampelnya, karena memiliki nilai tegangan leleh yang lebih besar dari tulangan diameter  $\varnothing 8$  dan  $\varnothing 10$ . Oleh karena itu, dilakukan pengujian ulang dengan penambahan satu buah sampel yang menghasilkan nilai tegangan leleh lebih relevan sebesar 377,83 Mpa, nilai tersebut digunakan pada analisis selanjutnya untuk tulangan  $\varnothing 6$ . Sedangkan tegangan leleh tulangan  $\varnothing 8$  dan  $\varnothing 10$  didapatkan dengan merata-rata nilai tegangan leleh dari setiap sampel. Maka tegangan leleh (fy) untuk diameter  $\varnothing 6$ ,  $\varnothing 8$ , dan  $\varnothing 10$  berturut-turut sebesar 376,36 MPa, 443,55 MPa, dan 544,01 MPa.

#### 4.2 Kekuatan Kolom Teoritis

Perhitungan kekuatan kolom secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai beban lateral maksimum ( $H_{maks}$ ), dan Momen nominal ( $M_n$ ) yang terjadi dengan beban aksial sebesar 0,1 Pu. Perhitungan dilakukan untuk rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 0,8% dan 1,1% dengan  $f_c$  25 Mpa.

Perhitungan kolom secara teoritis menggunakan analisa kolom segi empat bertulangan 2 sisi dengan asumsi tumpuan jepit bebas. Hasil perhitungan kolom teoritis ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kolom Teoritis ( $f'_c = 25$  MPa)

Kolom	0,1 Pu (kg)	$H_{maks}$ (kg)	Mn (kgm)
L15SB	5869,67	1399,1936	895,48
L15SM	5869,67	1399,1936	895,48
M15SB	6476,32	2015,85	1290,14
M15SM	6476,32	2015,85	1290,14

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel di atas nampak bahwa perbedaan lokasi *lap splice* tidak memberikan pengaruh pada nilai momen nominal (Mn) dan beban lateral maksimum ( $H_{maks}$ ) untuk ukuran tulangan longitudinal yang sama. Sedangkan perbedaan rasio tulangan longitudinal dapat mempengaruhi nilai momen nominal (Mn) dan beban lateral maksimum ( $H_{maks}$ ). Semakin besar rasio tulangan longitudinal maka kolom akan semakin mampu menahan momen nominal dan beban lateral. Berdasarkan perhitungan teoritis beban lateral maksimum yang mampu ditahan oleh kolom dengan mutu beton 25 Mpa untuk rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 0,8% dan 1,1% berturut-turut adalah 1399,19 kg dan 2015,85 kg. Momen ultimit yang terjadi dengan beban aksial sebesar 0,1 Pu untuk rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 0,8% dan 1,1% berturut-turut adalah 895,48 kgm dan 1290,14 kgm.

### 4.3 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik

Pengujian beban lateral siklik dilakukan ketika usia beton di atas 28 hari. Data yang didapatkan dari pengujian siklik berupa data beban lateral yang terjadi saat nilai perpindahan total yang telah ditentukan setiap siklusnya tercapai. Penggunaan *displacement control* pada pengujian ini membagi pengujian dalam beberapa siklus dengan kenaikan drift sebesar 0,25% sampai drift mencapai 2% dan dilanjutkan dengan kenaikan drift 0,5 %.

Untuk satu siklus dilakukan sekali pengulangan beban, sehingga didapatkan dua data beban untuk perpindahan yang sama. Analisis hubungan beban-perpindahan untuk kurva positif dilakukan dengan merata-rata hasil setiap siklus yang sama, begitu juga dengan kurva negatif. Sehingga, kurva positif dan negatif memiliki bentuk yang tidak harus sama, nantinya hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan hasil kurva positif lainnya, begitu juga dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif

tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya.

#### 4.3.1 Analisis Beban Lateral Maksimum

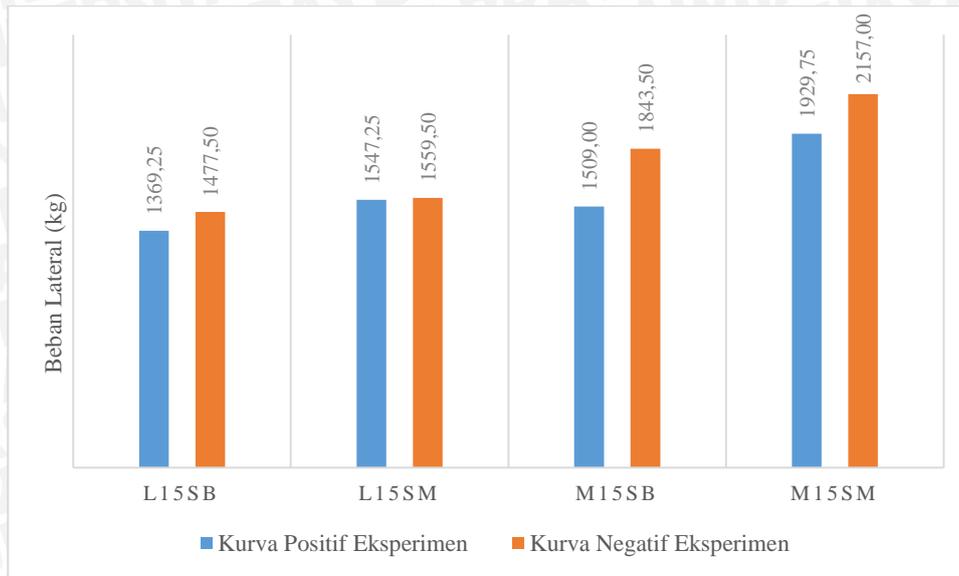
Beban lateral maksimum merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam perhitungan daktilitas perpindahan, karena komponen daktilitas perpindahan seperti perpindahan saat leleh dan perpindahan saat ultimit sangat berkaitan dengan beban lateral maksimum. Oleh karena itu perlu adanya kontrol terhadap nilai beban lateral maksimum yang terjadi saat pengujian. Berikut ini merupakan beban lateral maksimum yang didapatkan dari hasil eksperimen pada masing-masing spesimen.

Tabel 4.4 Perbandingan Beban Lateral Maksimum

Kolom		$H_{maks}$ (kg)		% Selisih
		Eksperimen	Teoritis	
L15SB	+	1369,25	1399,19	2,140
	-	1477,50	1399,19	5,597
L15SM	+	1547,25	1399,19	10,582
	-	1559,50	1399,19	11,457
M15SB	+	1509,00	2015,85	25,143
	-	1843,50	2015,85	8,550
M15SM	+	1929,75	2015,85	4,271
	-	2157,00	2015,85	7,002

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel di atas nampak bahwa beban lateral maksimum hasil eksperimen yang mendekati hasil teoritis pada spesimen L15SB, L15SM, dan M15SM dengan selisih antara 0-12%. Selisih beban lateral maksimum terjauh terdapat pada spesimen M15SB di bagian kurva positif, yaitu sebesar 25.143 %. Hal tersebut dikarenakan pada saat pengujian bagian dorong (kurva positif) terjadi pemberian beban aksial yang kurang dan menyebabkan beban lateral menjadi turun, di saat kurva negatif mencapai beban maksimum. Hasil analisis beban lateral maksimum ini akan sangat berimbas kepada analisis daktilitas perpindahan setiap spesimen, termasuk spesimen M15SB. Kekurangakuratan hasil dari M15SB pada analisis selanjutnya kemungkinan besar dikarenakan beban lateral maksimum yang turun.

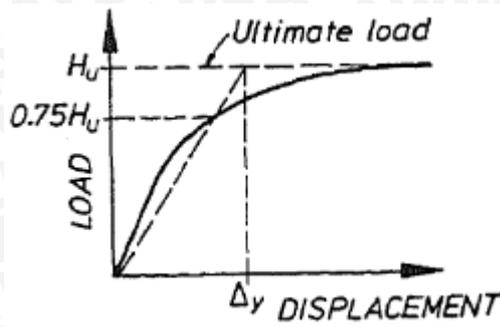


Gambar 4.1 Perbandingan Beban Lateral Maksimum Tiap Spesimen  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

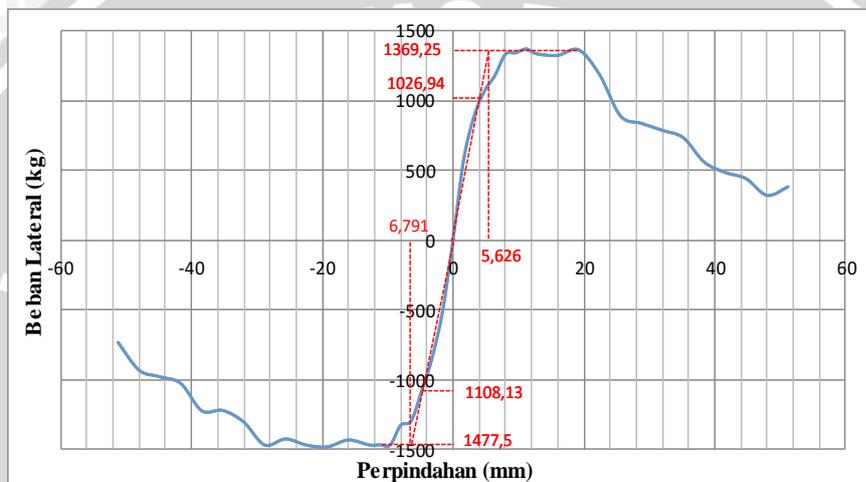
Pada gambar 4.1 terlihat bahwa nilai beban lateral maksimum yang mampu ditahan oleh spesimen L15SB yaitu 1369.25 di kurva positif dan 1477.5 di kurva negatif memiliki perbedaan yang tidak signifikan dengan beban lateral maksimum spesimen L15SM yaitu 1547.25 kg dan 1559.5 kg. Tren yang sama juga ditunjukkan oleh spesimen M15SB dan M15SM, dimana M15SB mampu menahan beban lateral sampai 1509 kg dan 1843.5 kg. Sedangkan M15SM sebesar 1929,75 kg dan 2157 kg. Hal tersebut menunjukkan bahwa lokasi *lap splice* tidak berpengaruh terhadap kemampuan kolom untuk menahan beban lateral. Pengaruh yang lebih berarti adalah rasio tulangan longitudinal yang ada pada tiap spesimen dimana semakin besar rasio tulangan longitudinal suatu kolom, maka kemampuan menahan beban lateral juga semakin besar. Terlihat pada gambar 4.1, kolom dengan rasio tulangan longitudinal 1,1% yaitu M15SB dan M15SM mampu menahan beban yang lebih besar dibanding kolom dengan rasio tulangan longitudinal 0.8% yaitu L15SB dan L15SM.

#### 4.3.2 Analisis Perpindahan Saat Leleh

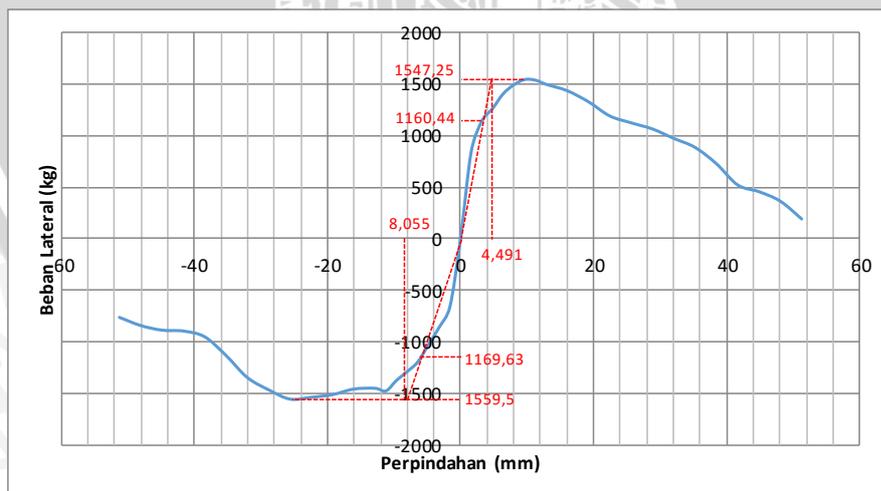
Dalam mempermudah analisis perpindahan saat leleh dari suatu studi eksperimental digunakan metode yang mampu membaca perpindahan saat leleh pada *equivalent elasto-plastic* sistem dengan pengurangan kekakuan yang dapat ditemukan di kekakuan secan, yaitu saat 75% beban lateral maksimum. Metode ini dinilai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



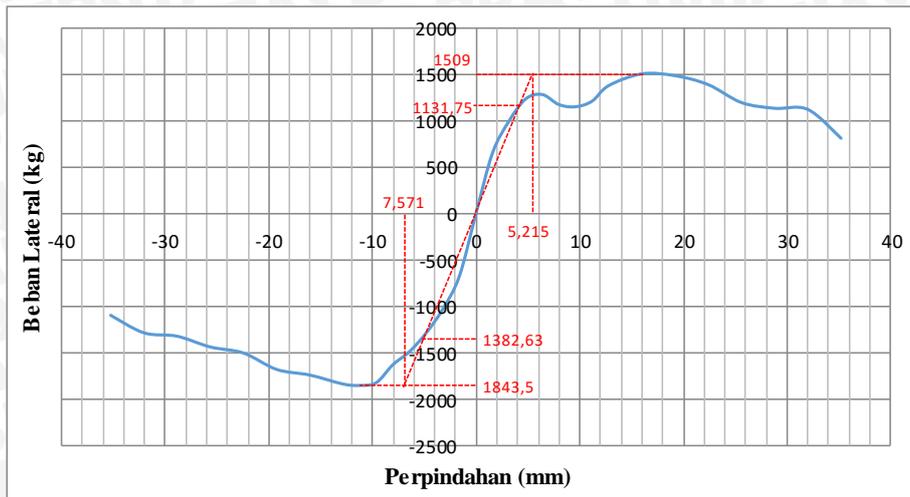
Gambar 4.2 Metode untuk Menentukan Perpindahan saat Leleh  
 Sumber: Paulay, 1988



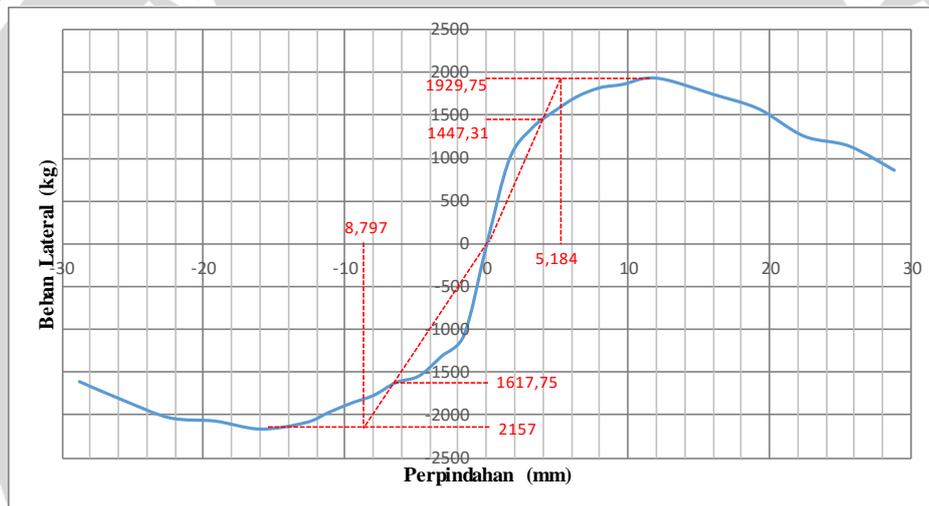
Gambar 4.3 Perpindahan saat Leleh L15SB  
 Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.4 Perpindahan saat Leleh L15SM  
 Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.5 Perpindahan saat Leleh M15SB  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



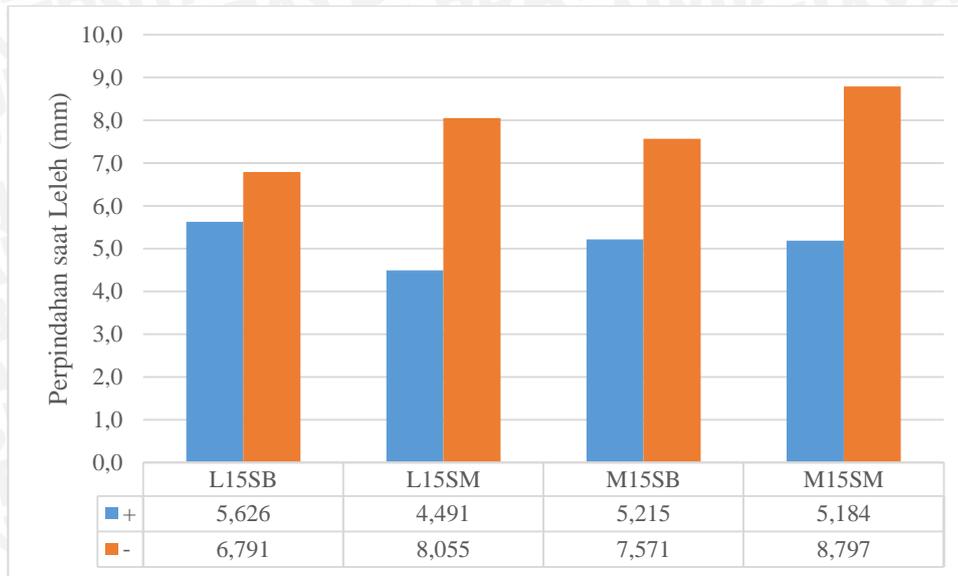
Gambar 4.6 Perpindahan saat Leleh M15SM  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari gambar di atas terlihat bahwa kurva positif dan negatif spesimen L15SB memiliki bentuk yang tidak jauh berbeda, perpindahan yang terjadi saat leleh pun juga tidak jauh berbeda, yaitu sebesar 5.626 mm untuk kurva bagian positif dan 6.791 mm untuk kurva bagian negatif. Hal tersebut dikarenakan adanya perilaku yang cukup stabil dari spesimen L15SB di awal-awal siklus, terlihat pada perpindahan sebesar 2 mm baik kurva positif dan negatif memiliki beban lateral sekitar 1000 kg. Kestabilan perilaku di awal siklus ini terus berlanjut hingga kedua kurva mengalami beban puncak.

Untuk perpindahan leleh pada spesimen L15SM muncul nilai yang cukup berbeda antara kurva positif dengan kurva negatif. Pada kurva positif leleh tercapai saat perpindahan sebesar 4.491 mm sedangkan pada kurva negatif leleh tercapai pada perpindahan sebesar 8.055 mm. Meskipun beban lateral maksimum yang tercapai antara kurva positif dan negatif hampir sama yaitu sebesar 1547.25 kg dan 1559.5 kg, ternyata perpindahan saat beban lateral maksimum tercapai cukup jauh berbeda yaitu 9.6 mm pada kurva positif dan 25.6 mm pada kurva negatif. Bentuk linear di awal siklus antara kurva positif dan negatif pun sangat berbeda. Pada kurva positif grafik linear mampu mencapai beban 1000 kg baru dilanjutkan pada kondisi *strain hardening* yang singkat untuk mencapai beban lateral maksimum, sedangkan pada kurva negatif hanya mencapai 700 kg dan langsung dilanjutkan kondisi *strain hardening* yang berlangsung lebih lama untuk mencapai beban lateral maksimum.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa spesimen M15SB juga mengalami perpindahan saat leleh yang berbeda antara kurva positif dan negatif. Kurva positif menunjukkan perpindahan saat leleh sebesar 5.215 mm sedangkan kurva negatif menunjukkan perpindahan saat leleh sebesar 7.571 mm. Mengingat perpindahan saat leleh bergantung pada beban lateral maksimum, perbedaan nilai beban lateral maksimum yang signifikan yaitu 1509 kg dan 1843.5 kg akan mempengaruhi perpindahan saat leleh di masing-masing kurva, meskipun bentuk kurva saat kondisi elastis baik bagian positif dan negatif relatif sama. Perbedaan nilai beban lateral maksimum tersebut dikarenakan pada saat pengujian bagian dorong (kurva positif) di drift 1.25 % atau perpindahan sebesar 8 mm terjadi pemberian beban aksial yang kurang dari seharusnya sehingga di saat kurva negatif sudah mencapai beban lateral maksimum, di kurva positif malah terjadi penurunan beban lateral.

Gambar 4.6 menunjukkan nilai perpindahan saat leleh M15SM di kurva positif sebesar 5.184 mm dan kurva negatif sebesar 8.797 mm. Perbedaan tersebut dikarenakan nilai beban lateral maksimum yang berbeda antara ke dua kurva yaitu 1929.75 kg dan 2157 kg. Di awal siklus bentuk kedua kurva saat linear relatif stabil dan sama.



Gambar 4.7 Perbandingan Perpindahan saat Leleh  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

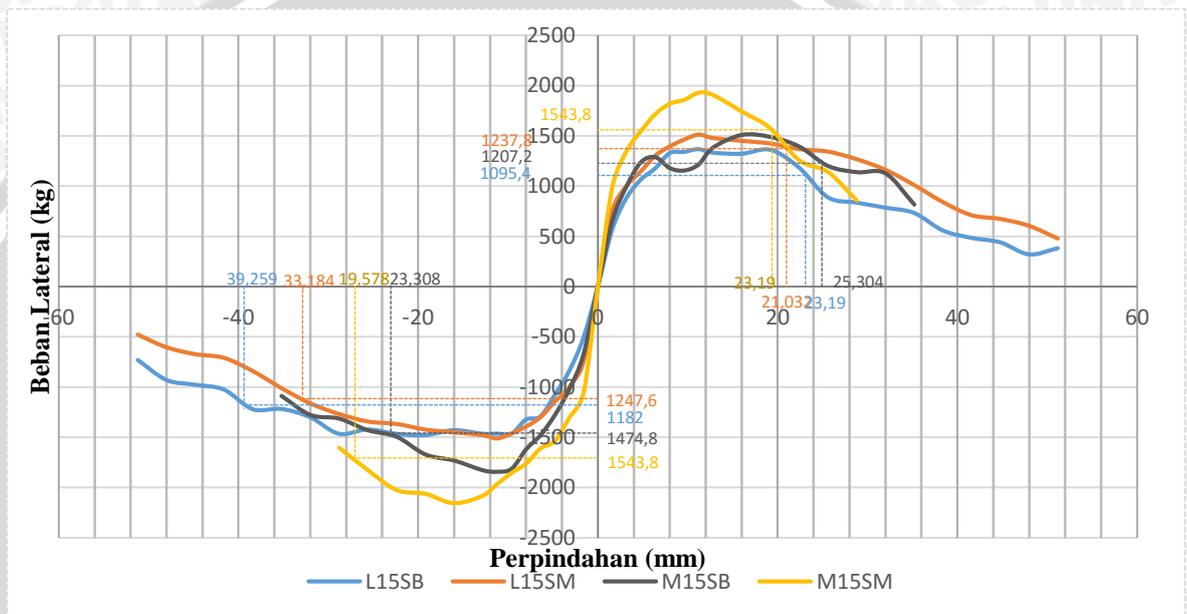
Dari gambar di atas tidak dapat terlihat secara jelas pengaruh lokasi lap splice terhadap perpindahan saat leleh, karena terdapat variasi tren yang ditimbulkan oleh satu spesimen dengan spesimen lain. Pada kolom ber rasio tulangan 0.8% kolom dengan *lap splice* di bawah memiliki perpindahan leleh lebih besar daripada *lap splice* di tengah, yaitu 5.626 mm dengan 4.491 mm, sedangkan untuk kurva negatif memiliki perpindahan leleh lebih kecil yaitu 6.791 mm dengan 8.055 mm. Pada kolom ber rasio tulangan 1.1% kolom dengan *lap splice* di bawah pada kurva positif memiliki perpindahan leleh lebih besar meskipun tidak begitu signifikan perbedaannya yaitu 5.215 mm dengan 5.184 mm, sedangkan untuk kurva negatif memiliki perpindahan leleh lebih kecil yaitu 7.571 mm dengan 8.797 mm.

Pada kasus ini, rasio tulangan lebih berpengaruh terhadap perpindahan leleh kolom dibanding dengan lokasi *lap splice*. Dapat dilihat pada gambar 4.7 muncul tren perpindahan leleh yang hampir sama akibat perbedaan rasio tulangan. Peningkatan rasio tulangan dapat memperbesar perpindahan saat leleh, terbukti bahwa perpindahan saat leleh pada kurva negatif M15SB yaitu 7.571 mm lebih besar dari L15SB yaitu 6.791 mm, begitu juga pada M15SM kurva positif 5.184 mm dan kurva negatif 8.797 mm jauh lebih besar dari L15SM kurva positif 4.491 mm dan 8.055 mm. Hal yang berbeda terjadi pada kurva positif M15SB dimana perpindahan leleh 5.215 mm jauh lebih besar dari perpindahan leleh di kurva positif L15SB yaitu 5.626 mm, hal ini kemungkinan

disebabkan karena nilai beban maksimum yang rendah pada M15SB seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

#### 4.3.3 Analisis Perpindahan Ultimit

Perpindahan ultimit didapatkan saat beban mengalami penurunan sebesar 20% dari beban lateral maksimum yaitu perpindahan ketika terjadi keruntuhan lateral. Nilai perpindahan ultimit dan beban ketika terjadi keruntuhan lateral pada masing-masing spesimen ditunjukkan oleh Gambar 4.6 dan tabel 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.8 Perpindahan Ultimit tiap Spesimen  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.5 Rekapitulasi Perpindahan Ultimit

Kolom		Hu (kg)	$\Delta u$ (mm)
L15SB	+	1095,4	23,190
	-	1182	39,259
L15SM	+	1237,8	21,032
	-	1247,6	33,184
M15SB	+	1207,2	25,304
	-	1474,8	23,308
M15SM	+	1543,8	19,578
	-	1725,6	27,313

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa nilai perpindahan ultimit sangat dipengaruhi oleh rasio tulangan longitudinal. Pada rasio tulangan 0.8% terjadi nilai perpindahan ultimit lebih besar dan beban lateral lebih kecil dari rasio tulangan 1.1%, baik pada spesimen dengan *lap splice* di bawah atau pun di tengah, pada kurva positif maupun negatif. Hal itu menunjukkan bahwa rasio tulangan yang lebih rendah mampu menahan beban yang tidak begitu besar, namun dapat bertahan lebih lama terhadap beban lateral hingga akhirnya mencapai beban ultimit, sebaliknya rasio tulangan yang lebih tinggi mampu menahan beban besar, namun tidak dapat bertahan lama untuk mencapai beban ultimitnya. Hanya saja, hal tersebut tidak terjadi pada perpindahan ultimit kondisi kurva positif *lap splice* di bawah. Perpindahan ultimit L15SB yaitu 39.259 mm lebih besar dari M15SB yaitu 23.308, kemungkinan besar hal tersebut dikarenakan nilai beban maksimum pada M15SB yang rendah akibat kurangnya pemberian beban aksial. Pada gambar 4.8, posisi beban lateral maksimum M15SB seharusnya terjadi di sekitar perpindahan 10 mm, malah terjadi di posisi kurva sudah landai yaitu 16 mm dengan beban maksimum sebesar 1509 kg yang jauh lebih rendah dari kurva negatif yaitu 1843.5 kg. Beban maksimum pada posisi yang sudah landai, menyebabkan beban lateral ultimit terjadi di posisi lebih rendah lagi dari seharusnya dan memperbesar nilai perpindahan ultimit.

Lokasi *lap splice* pada rasio tulangan longitudinal 0.8% dan 1.1% memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap perpindahan ultimit. Pada rasio tulangan yang lebih lemah yaitu 0.8% lokasi *lap splice* di bawah memiliki perpindahan ultimit yang lebih besar dibandingkan dengan lokasi *lap splice* di tengah sedangkan pada rasio tulangan yang lebih kuat yaitu 1.1% menunjukkan hal yang sebaliknya.

Pada tabel 4.5 perpindahan ultimit L15SB di kurva positif sebesar 23.190 mm dan di kurva negatif 39.259 mm sama-sama lebih besar dari perpindahan ultimit L15SM yang di kurva positif dan negatif yang berturut-turut adalah 21.032 mm dan 33.184 mm. Padahal, kondisi beban lateral ultimit di spesimen L15SB dan L15SM tidak jauh beda. Kondisi tersebut menyiratkan bahwa kemungkinan L15SM lebih kaku daripada L15SB.

Hal yang sebaliknya terjadi pada spesimen dengan rasio tulangan yang lebih tinggi sebesar 1.1% yaitu M15SB dan M15SM. Perpindahan ultimit spesimen dengan lokasi *lap splice* di bawah (M15SB) lebih kecil dari perpindahan ultimit spesimen dengan lokasi *lap splice* di tengah (M15SM) di kurva negatif yaitu 23.308 mm dengan 27.313

mm. Sedangkan pada kurva positif menunjukkan hasil yang berbeda yaitu 25.304 mm dengan 19.578 mm karena terjadi pemberian beban aksial yang rendah seperti yang dijelaskan pada paragraf sebelumnya.

#### 4.3.4 Analisis Daktilitas Perpindahan

Daktilitas perpindahan didapatkan dengan membagi perpindahan saat ultimit dengan perpindahan saat leleh yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya. Berikut ini merupakan hasil perhitungan daktilitas perpindahan pada masing-masing benda uji.

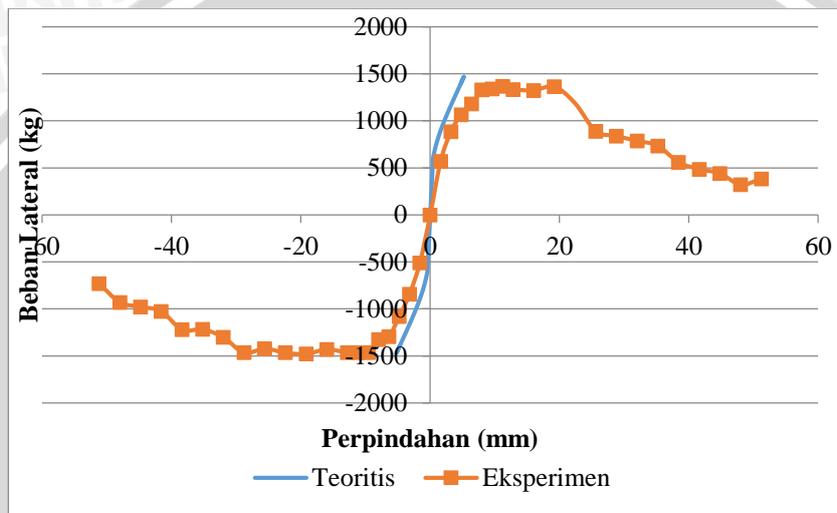
Tabel 4.6 Daktilitas Perpindahan Tiap Spesimen

Kolom		$\rho_v$ (%)	Lokasi <i>Lap Splice</i>	$\Delta u$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\mu\Delta$
L15SB	+	0,8	Bawah	23,190	5,626	4,122
	-	0,8	Bawah	39,259	6,791	5,781
L15SM	+	0,8	Tengah	21,032	4,491	4,683
	-	0,8	Tengah	33,184	8,055	4,120
M15SB	+	1,1	Bawah	25,304	5,215	4,853
	-	1,1	Bawah	23,308	7,571	3,079
M15SM	+	1,1	Tengah	19,578	5,184	3,777
	-	1,1	Tengah	27,313	8,797	3,105

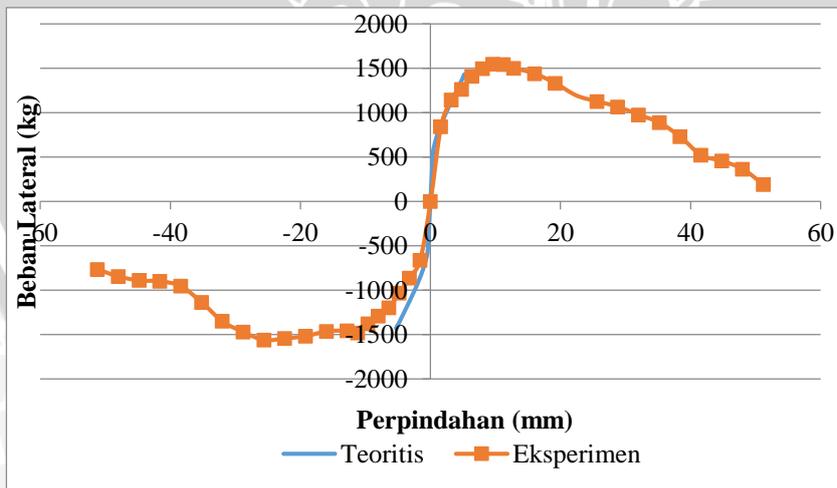
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan daktilitas perpindahan di atas, belum terlihat tren akibat lokasi *lap splice* dan rasio tulangan pada masing-masing spesimen. Nampak bahwa daktilitas spesimen L15SB jauh lebih kecil dari L15SM di kurva positif yaitu 4.122 dengan 4.683. Sedangkan di kurva negatif muncul tren yang sebaliknya. Begitu juga dengan spesimen M15SB dan M15SM yang menunjukkan antara kurva positif dan negatif menunjukkan hal yang sebaliknya. Tidak hanya pengaruh akibat lokasi *lap splice*, rasio tulangan longitudinal pun belum terlihat tren yang sama dari perbandingan-perbandingan tiap spesimennya. Dimana daktilitas kurva positif L15SB jauh lebih kecil dari M15SM yaitu 4.122 dengan 4.853, sedangkan di kurva negatif lagi-lagi muncul tren yang berbeda. Hanya spesimen L15SM dan M15SM memunculkan tren yang sama antara kurva positif dan negatif, yaitu rasio tulangan yang lebih rendah akan memiliki daktilitas yang lebih besar.

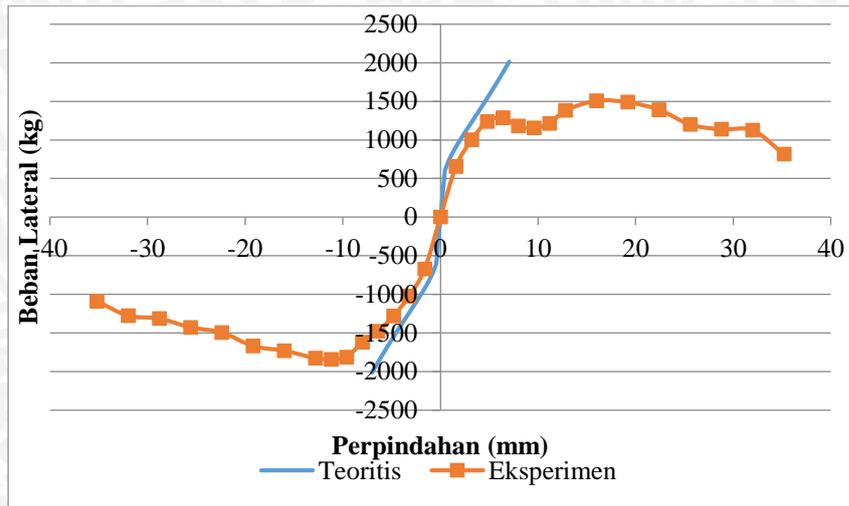
Pada spesimen M15SB kurva positif, sudah pernah dijelaskan sebelumnya terdapat kesalahan pemberian beban aksial di saat siklus yang sama dengan posisi kurva negatif mencapai beban maksimum. Hal tersebut menyebabkan turunnya nilai beban lateral, sehingga perhitungan daktilitas untuk kurva positif M15SB kurang akurat. Sedangkan untuk spesimen lain perlu ditinjau lebih jauh terhadap hasil perhitungan hubungan beban-perpindahan secara teoritis agar dapat melihat kekurangtepatan dalam pengujian yang kemungkinan besar berimbas pada tidak munculnya tren untuk daktilitas tiap-tiap spesimen.



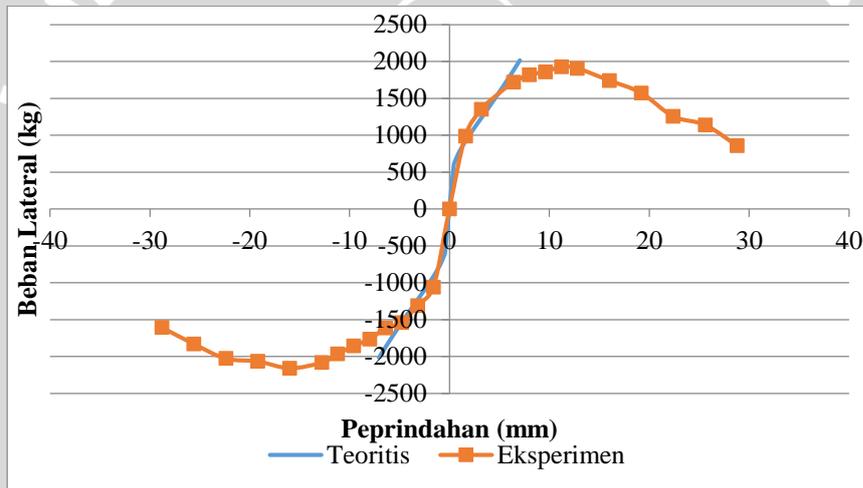
(a)



(b)



(c)



(d)

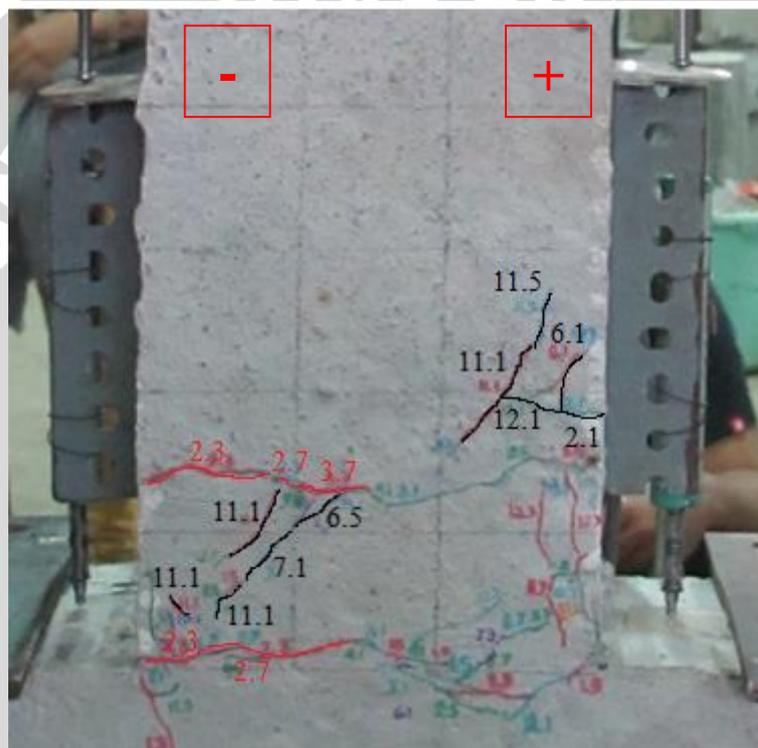
Gambar 4.9 Perbandingan Hasil Teoritis dan Eksperimen (a) L15SB (b) L15SM (c) M15SB (d) M15SM

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

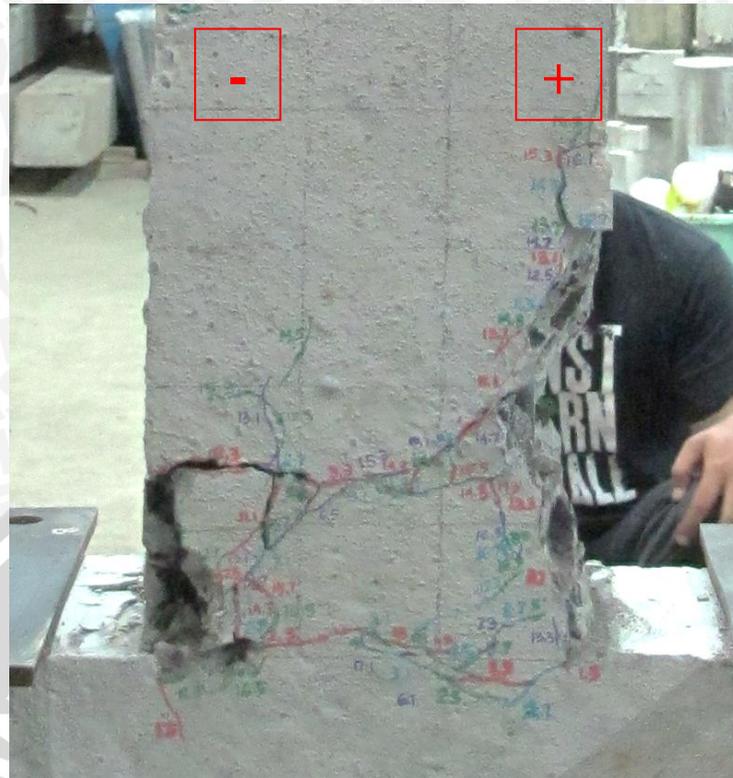
Grafik teoritis pada gambar di atas adalah hubungan beban lateral – perpindahan yang didapatkan dari perhitungan beban lateral dan perpindahan yang terjadi sebelum beban maksimum tercapai dengan kondisi kolom normal tanpa *lap splice*. Perpindahan yang terjadi merupakan perpindahan lentur yang dianalisis dengan rumus pendekatan.

Dari gambar di atas terlihat bahwa perilaku yang ditimbulkan kolom dengan *lap splice* di tengah sebelum mencapai beban puncak mirip dengan kolom normal tanpa *lap splice*, sebagaimana yang ditunjukkan oleh kurva positif L15SM serta kurva positif dan

negatif M15SM dengan kondisi grafik teoritis yang berhimpit. Hanya kurva negatif L15SM (**gambar 4.9 (b)**) yang tidak memiliki grafik berhimpit dengan perhitungan teoritis. Jika seharusnya kurva negatif L15SM lebih mendekati grafik teoritis, maka kemungkinan besar perpindahan leleh yang terjadi lebih rendah dari perpindahan leleh pada tabel 4.6 yaitu 8.055. Sehingga, nilai daktilitas perpindahan kurva negatif L15SM dapat lebih tinggi lagi. Perpindahan leleh yang lebih rendah tersebut bisa mengindikasikan bahwa tulangan di bagian positif leleh terlebih dahulu dibandingkan dengan daerah negatif. Sebagaimana ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



(a)



(b)

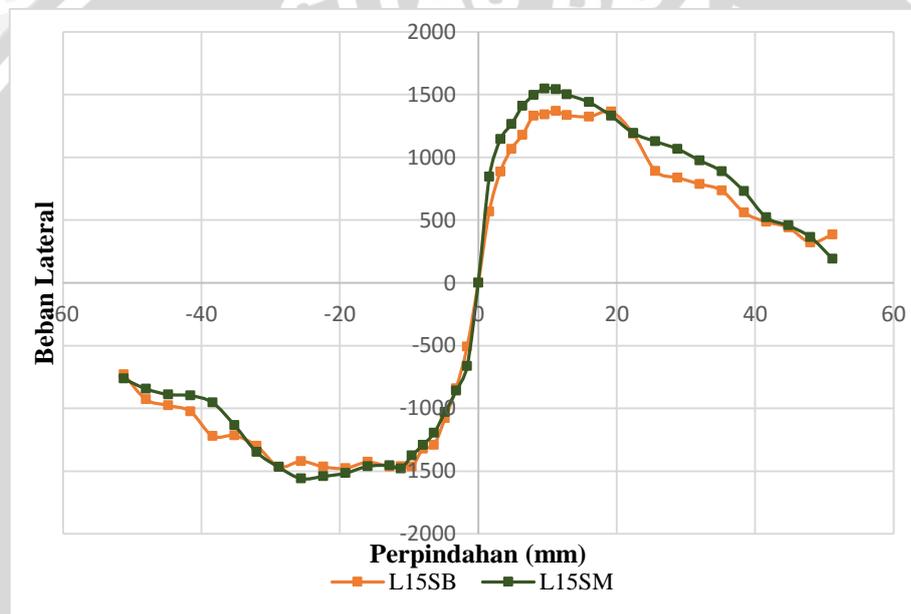
Gambar 4.10 Pola Retak Kolom (a) drift 3.5% (b) 6.5%  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Gambar 4.10 (a) merupakan pola retak kolom L15SM ketika drift mencapai 3.5% terlihat bahwa untuk membentuk kurva positif muncul retak 11.1 di bagian kanan sedangkan di waktu bersamaan muncul retak 11.1 di bagian kiri. Ketika siklus dilanjutkan hingga drift mencapai 6.5% maka retak-retak tadi akan saling berhubungan dengan retak-retak lainnya sehingga menyebabkan beton terlepas. Dilihat dari gambar 4.10 (b) lepasnya beton pada bagian kanan kolom terjadi sepanjang 4 kotak dari dasar kolom karena leleh nya tulangan ataupun tertariknya tulangan ditunjukkan dengan dominasi nomor siklus 1 dan 5, sedangkan pada bagian kiri kolom hanya terjadi 1,5 kotak dari dasar kolom dengan variasi siklus retak 1 ,3 , 5 dan 7 sehingga retak tidak hanya disebabkan oleh kondisi tarik namun juga kondisi tekan. Kemungkinan besar hal tersebut dikarenakan lekatan spesi dibagian kiri bawah yang kurang maksimal menyebabkan beton terlepas ketika mengalami tekanan, sehingga tulangan tidak leleh namun beton sudah terlepas. Kemungkinan besar inilah yang menyebabkan perpindahan kolom L15SM pada kurva bagian negatif lebih besar dibandingkan dengan kurva bagian positif.

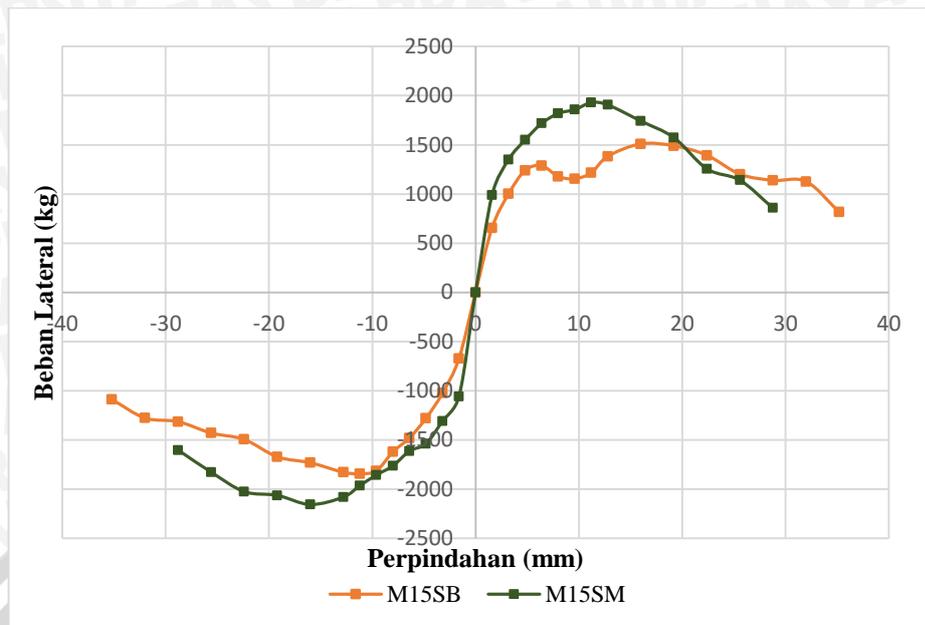
Pada gambar 4.9 juga nampak bahwa penggunaan *lap splice* di bawah kolom dapat membuat suatu kolom memiliki perpindahan yang lebih besar untuk menanggung beban yang sama dengan kolom normal tanpa *lap splice*. Hal tersebut terjadi pada semua kolom dengan *lap splice* di bawah, yaitu L15SB dan M15SB.

Berdasarkan semua penjelasan di atas, untuk analisis selanjutnya hasil daktilitas perpindahan pada kurva negatif L15SM dan kurva positif M15SB yang tertera pada tabel 4.6 yaitu berturut-turut sebesar 4.12 dan 4.853 tidak dijadikan acuan untuk dimasukkan perbandingan.

#### 4.3.4.1 Daktilitas Perpindahan akibat Variasi Lokasi *Lap Splice*



Gambar 4.11 Perbandingan Envelope L15SB dengan L15SM  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

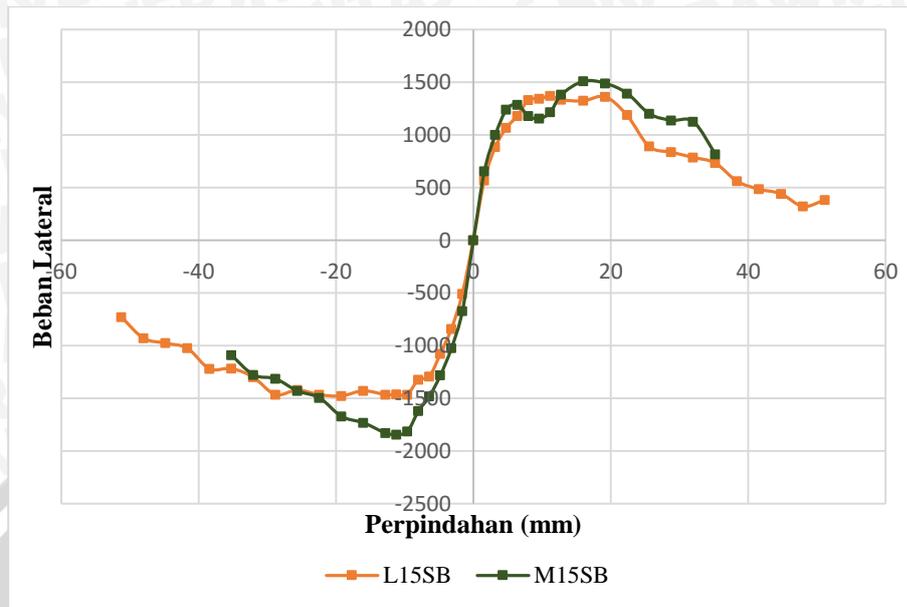


Gambar 4.12 Perbandingan Envelope M15SB dengan M15SM  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

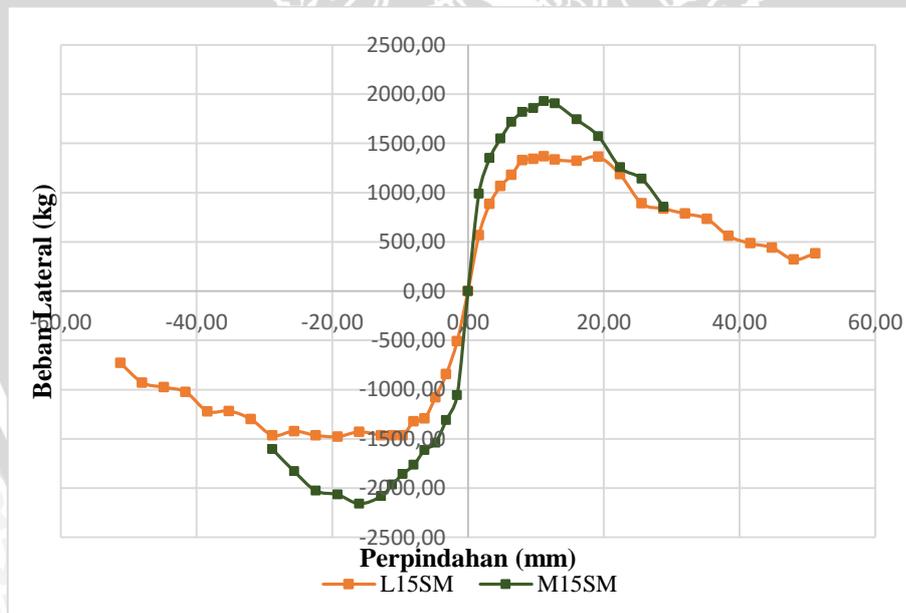
Berdasarkan tabel 4.6 kolom dengan *lap splice* di tengah memiliki daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan kolom dengan *lap splice* di bawah. Untuk kolom dengan rasio tulangan 0.8 % dengan memindahkan lokasi *lap splice* dari bawah kolom ke tengah kolom, terjadi peningkatan daktilitas sebesar 13.6% dari 4.122 ke 4.683. Untuk kolom dengan rasio tulangan 1.1 % dengan memindahkan lokasi *lap splice* dari bawah kolom ke tengah kolom, terjadi peningkatan daktilitas yang tidak cukup signifikan sebesar 0.85% dari 3.079 ke 3.105.

Jika dilihat grafik perbandingan antara kolom dengan *lap splice* di bawah dan di tengah pada gambar 4.11 dan gambar 4.12, sangat terlihat bahwa kurva kolom dengan *lap splice* di bawah selalu berada di bawah kurva kolom *lap splice* di tengah dari awal dimulainya pembebanan sampai mengalami beban puncak, selepas dari beban puncak ke dua kurva memiliki kelandaian yang tidak jauh berbeda. Dengan menganggap beban puncak tidak jauh berbeda atau relatif sama, hal tersebut menunjukkan bahwa kolom dengan *lap splice* di tengah memiliki perpindahan yang lebih kecil untuk menahan beban yang sama di awal-awal siklus.

#### 4.3.4.2 Daktilitas Perpindahan akibat Variasi Rasio Tulangan Longitudinal



Gambar 4.13 Perbandingan Envelope L15SB dengan M15SB  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



Gambar 4.14 Perbandingan Envelope L15SM dengan M15SM  
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berdasarkan tabel 4.6 kolom dengan rasio tulangan longitudinal 0.8 % memiliki daktilitas yang lebih besar dibandingkan kolom dengan rasio tulangan longitudinal 1.1 %. Pada kolom dengan *lap splice* di bawah peningkatan nilai

daktilitas dengan mengecilkan rasio tulangan longitudinal sebesar 87.78% dari 3.079 ke 5.781, sedangkan pada kolom dengan *lap splice* di tengah terjadi peningkatan nilai daktilitas sebesar 23.99 % dari 3.777 ke 4.683. Dari hal tersebut dapat terlihat bahwa rasio tulangan longitudinal lebih berpengaruh terhadap daktilitas suatu kolom dibandingkan dengan mengubah lokasi *lap splice* dari bawah ke tengah.

Jika dilihat dari grafik perbandingan antara kolom dengan rasio tulangan 0.8% dengan 1.1% pada gambar 4.13 dan gambar 4.14 nampak bahwa kolom dengan rasio tulangan 1.1% memiliki kurva yang memuncak dan curam, dimana kurva tersebut berada di atas kurva kolom dengan rasio tulangan 0.8% dari awal pembebanan namun hanya sampai beberapa sikus setelah beban lateral maksimum tercapai hingga memotong kurva kolom dengan rasio tulangan 0.8%. Bentuk kurva kolom dengan rasio 0.8% jauh lebih landai jika dibandingkan dengan kolom dengan rasio 1.1%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kolom dengan rasio tulangan longitudinal 1.1% lebih mampu dalam menahan beban yang besar, namun runtuh di perpindahan yang lebih kecil dibandingkan kolom dengan rasio tulangan longitudinal 0.8% atau dalam kata lain kolom dengan rasio tulangan longitudinal 1.1% memiliki kapasitas beban lateral yang besar namun memiliki daktilitas yang rendah, sedangkan kolom dengan rasio tulangan longitudinal 0.8% memiliki kapasitas beban lateral yang rendah namun memiliki daktilitas yang tinggi.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian berupa analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan longitudinal dan letak *lap splice* terhadap daktilitas kolom bertulangan ringan akibat beban siklik dapat ditarik kesimpulan bahwa: kolom dengan rasio tulangan 0.8% yaitu L15SB dan L15SM memiliki daktilitas yang lebih besar dari pada kolom dengan rasio tulangan 1.1% yaitu M15SB dan M15SM dengan peningkatan 87.78% dan 23.99% hal tersebut dikarenakan kolom dengan rasio lebih besar runtuh pada perpindahan yang lebih kecil, sedangkan kolom dengan letak *lap splice* di tengah yaitu L15SM dan M15SM memiliki daktilitas yang lebih besar dari pada kolom dengan letak *lap splice* di bawah kolom yaitu L15SB dan M15SB dengan peningkatan sebesar 13.6% dan 0.85%.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian tentang pengaruh uji beban siklik terhadap daktilitas kolom berton tulangan ringan dengan variasi rasio tulangan dan letak *lap splice* terdapat beberapa saran yang direkomendasikan untuk penelitian serupa yang akan datang:

1. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi akan lebih baik jika ditambah sehingga data yang didapatkan lebih akurat.
2. Pada saat pengecoran benda uji harap dilakukan penakaran yang tepat sesuai dengan *mix design* yang telah direncanakan sebelumnya untuk menghasilkan nilai mutu beton yang sesuai dengan apa yang telah direncanakan.
3. Sebaiknya diambil sampel untuk uji tekan silinder minimal 3 buah agar data yang didapatkan data yang lebih valid. Pengujian hammer test baik secara analog dan digital sebaiknya tidak hanya dilakukan 1 x 10 pukulan saja agar data mutu beton bisa lebih akurat.
4. Saat pengujian di laboratorium harus benar-benar diperhatikan komponen-komponen yang mendukung jalannya pengujian seperti roll yang digunakan untuk

menyalurkan beban aksial kepada kolom. Akan lebih baik jika ada alat yang bisa membuat beban aksial benar-benar tersalurkan tepat di tengah penampang kolom. Jika tidak ada, maka beban aksial harus benar-benar terkontrol nilainya pada setiap siklus agar tetap stabil.

5. Penelitian ini dapat dijadikan dasar mengenai pengaruh uji beban siklik terhadap daktilitas kolom dengan variasi aspek rasio ataupun terhadap energi disipasi dengan variasi *lap splice*.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318. 2002. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Michigan: American Concrete Institute.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. SNI-03-1726-2002*. Jakarta.
- Ghannoum, W.M., Moehle, J.P., and Bozorgnia, Y. 2008. *Analytical Collapse Study of Lightly Confined Reinforced Concrete Frames Subjected to Northridge Earthquake Ground Motions*. *Journal of Earthquake Engineering*, Vol 12, pp 1105–1119.
- Nawy, Edward G. 2010. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT Refika Aditama
- Park. 1988. *Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing*. Japan: Ninth World Conference on Earthquake Engineering
- Park dan Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley & Sons
- Paulay dan Priestley. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry buildings*. New York: Wiley Interscience
- Wibowo, Ari. 2012. *Seismic Performance of Insitu and Precast Soft Storey Building*. Victoria: Swinburne University of Technology. Disertasi