

**PENGARUH RASIO TULANGAN LOGITUDINAL DAN JARAK
SENGKANG TERHADAP KAPASITAS BEBAN LATERAL
MAKSIMUM KOLOM BERTULANGAN RINGAN AKIBAT BEBAN
SIKLIK**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL KONSENTRASI STRUKTUR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



STEFAN THEOPHILUS

NIM. 125060107111035

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH RASIO TULANGAN LOGITUDINAL DAN JARAK SENGGANG
TERHADAP KAPASITAS BEBAN LATERAL MAKSIMUM KOLOM
BERTULANGAN RINGAN AKIBAT BEBAN SIKLIK**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL KONSENTRASI STRUKTUR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh
gelar Sarjana Teknik



STEFAN THEOPHILUS

NIM. 125060107111035

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada 2 Mei 2016

Dosen Pembimbing I

Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D

NIP. 19740619 200012 1 002

Dosen Pembimbing II

Ir. Siti Nurlina, MT

NIP. 19650423 199002 2 001

Mengetahui Ketua Program Studi

Dr. Eng. Indradi W, ST, M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Jarak Sengkang Terhadap Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik

Nama Mahasiswa : Stefan Theophilus

NIM : 125060107111035

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

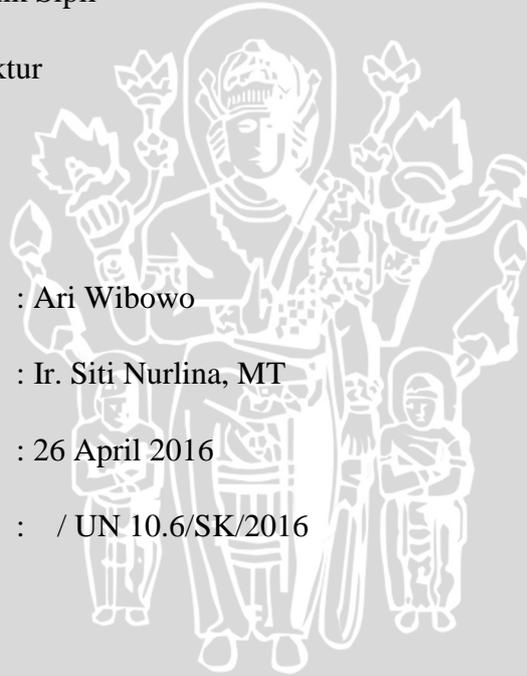
TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ari Wibowo

Dosen Penguji 2 : Ir. Siti Nurlina, MT

Tanggal Ujian : 26 April 2016

SK Penguji : / UN 10.6/SK/2016



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

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

Malang, Mei 2016

Mahasiswa,

Stefan Theophilus

NIM. 125060107111035



RIWAYAT HIDUP

Stefan Theophilus lahir di Jakarta 01 Januari 1994 anak ke-1 dari ayah Budiman Bernandus Nadapdap dan Ibu Poppy Risma Dinauli Samosir. Menjalani pendidikan di Sekolah Dasar di SDK Pamardi Yuwana Bhakti pada tahun 2006. Setelah itu SMP (Sekolah Menengah Pertama) di SMPK Pamardi Yuwana Bhakti tahun 2009. Lalu Melanjutkan pendidikan ke SMAK Kolese Gonzaga Jakarta Provinsi DKI Jakarta lulus tahun 2012.

Kemudian, melanjutkan sekolah di Perguruan Tinggi di Universitas Brawijaya Malang, lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pada saat sedang menjalani kehidupan kampus, ikut berpartisipasi sebagai asisten Laboratorium Komputer pada semester 6, asisten Tugas Besar Hidrologi untuk tahun akademik 2013 / 2014.

Kemudian, melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi di Universitas Brawijaya Malang, lulus Program Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pada saat menjalani kehidupan kampus pernah menjadi asisten tugas besar mata kuliah Analisa Struktur I maupun Analisa Struktur II, aktif di organisasi jurusan dan beberapa acara jurusan. Menjadi anggota himpunan departemen PSDM Periode 2013 dan Ketua Divisi Pelatihan pada Himpunan Mahasiswa Sipil Periode 2014 serta koordinator asisten tugas besar mata kuliah Analisa Struktur I.

Malang, Mei 2016

Penulis

LEMBAR PERUNTUKAN

Pertama saya panjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus dengan berkatNya saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk Bapak, Mama dan kedua adik saya yang selalu memberikan doa dan motivasi tanpa henti agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk Edo Rizky, Desi Putri, Dufanti Ayu, Karina Pearlaura dan Dufanti Ayu sebagai teman skripsi juga ucapkan terima kasih karena sudah bekerja sama untuk menyelesaikan skripsi ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan kelancaran untuk melaksanakan penelitian skripsi ini. Kepada Pak Ari dan Bu Lina yang telah memberikan waktu, ide, masukan dalam skripsi ini sehingga menjadikannya lebih baik. Kepada semua elemen mahasiswa sipil khususnya teman-teman angkatan 2012 dan Kontrakan Sipil 2012 yang telah menemani saya dalam perkuliahan dan memberikan kebahagiaan di lingkungan Teknik Sipil.

Skripsi ini saya persembahkan untuk semua pihak yang berada di bidang sipil maupun non-sipil. Saya berharap skripsi ini dapat bermanfaat sebagai pengetahuan maupun referensi dalam penulisan walaupun kenyataannya mungkin masih banyak kesalahan.

Saya mengucapkan permintaan maaf sebesar-besarnya atas kesalahan yang terjadi selama proses penyusunan skripsi ini maupun selama perkuliahan di Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Semoga Teknik Sipil Universitas Brawijaya terus berprestasi dan memberikan kontribusi positif negara. **TANAH AIR JALAN SIPIL BAJA BETON JIWA SIPIL!**

Malang, Mei 2016

Stefan Theophilus

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa yang atas berkatNya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Jarak Sengkang Terhadap Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik”**.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan akademis agar memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan atas bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak, Mama dan kedua adik saya yang selalu memberikan dukungan dalam segala bentuk moral dan materil.
2. Ir. Sugeng P. Budio, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng. Indradi W., ST., M. Eng. (Prac) selaku Ketua Prodi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah memberikan dukungan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ari Wibowo, ST, MT, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. Siti Nurlina, MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan motivasi, ilmu dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Edo Rizky, Desi Putri, Dufanti Ayu, Chaniva Adnin dan Karina Pearlaura selaku teman skripsi yang sudah banyak membantu dan bekerja keras agar skripsi ini berjalan lancar
6. Semua elemen mahasiswa sipil khususnya teman-teman sipil angkatan 2012 yang telah memberikan motivasi.
7. Putri Rahayu Lesmana dan Kontrakan Sipil 2012 yang sudah banyak sekali memberikan bantuan motivasi, wawasan, dan kebahagiaan.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan skripsi.

Penulis sangat menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritis dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak di masa sekarang maupun masa yang akan datang.

Malang, Mei 2016

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penulisan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Beton Bertulang.....	5
2.1.1 Jarak Tulangan dan Selimut untuk Beton Bertulang.....	5
2.1.3 Pengekangan Beton.....	5
2.1.4 Syarat Penulangan Sengkang Kolom.....	6
2.2 Kolom.....	7
2.3 Parameter yang Mempengaruhi Perilaku Kolom.....	8
2.3.1 Rasio Beban Aksial (n).....	8
2.3.2 Aspek Rasio (α).....	9



2.3.3 Rasio Tulangan Longitudinal (ρ_v).....	9
2.3.4 Presentase Tulangan Transversal (ρ_s)	10
2.4 Beban Siklik.....	11
2.5 Kapasitas Kolom.....	12
2.6 Momen Retak.....	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.4 Rancangan Penelitian	21
3.4.1 Campuran.....	21
3.4.2 Jumlah Benda Uji.....	21
3.5 Prosedur Penelitian.....	25
3.5.1 Persiapan.....	25
3.5.2 Uji Tarik Baja Tulangan.....	25
3.5.3 Uji Tekan Silinder Beton.....	25
3.5.4 Pembuatan Model Kolom.....	25
3.5.5 <i>Setting Up</i>	26
3.5.7 Beban Rencana.....	27
3.5.8 Pelaksanaan Pengujian Siklik.....	27
3.6 Variabel Penelitian.....	28
3.7 Data Pengamatan.....	28
3.8 Analisis Hasil.....	29



3.9 Hipotesa Penelitian.....	30
------------------------------	----

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Sifat-sifat Bahan Penyusun Kolom Beton Bertulang	31
4.1.1 Semen.....	31
4.1.2 Air.....	31
4.1.3 Agregat Halus	31
4.1.4 Agregat Kasar.....	32
4.2 Pengujian Beton Segar.....	33
4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Baja Tulangan.....	34
4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	34
4.3.2 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan.....	31
4.4 Kapasitas Kolom Teoritis.....	36
4.5 Pengujian Kolom Beton dengan Beban Siklik	37
4.6 Analisa Hasil Pengujian Beban Siklik Kolom.....	38
4.6.1 Analisa Hasil Teoritis dan Hasil Eksperimen.....	38
4.6.2 Analisa Hasil Eksperimen benda uji terhadap beban siklik.....	41

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Ring of Fire</i> Indonesia.....	1
Gambar 2.1 <i>Hysteresis Loop</i>	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	17
Gambar 3.2 Benda Uji M15 dan M25.....	18
Gambar 3.3 Benda Uji L15 dan L25.....	19
Gambar 3.4 Benda Uji L15.....	19
Gambar 3.5 Benda Uji L25.....	20
Gambar 3.6 Benda Uji M15.....	20
Gambar 3.7 Benda Uji M25.....	21
Gambar 3.8 Setting Alat Pengujian.....	23
Gambar 3.9 Siklus <i>Lateral Drift</i>	24
Gambar 4.1 Analisis Kolom.....	32
Gambar 4.2 Skema Pembebanan Kolom.....	34
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Eksperimen dan teoritis L15C.....	35
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Eksperimen dan teoritis L25C.....	35
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Eksperimen dan teoritis M15C.....	36
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Eksperimen dan teoritis M25C.....	37
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Eksperimen.....	37
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Spesimen L15C dan L25C.....	38
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Spesimen M15C dan M25C.....	39
Gambar 4.10 Perbandingan Spesimen L25C dan M25C.....	40
Gambar 4.11 Perbandingan Spesimen L15C dan M15C.....	41
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral-Perpindahan.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Kolom	21
Tabel 4.1 Pengujian Agregat Halus	32
Tabel 4.2 Pengujian Agregat Kasar	32
Tabel 4.3 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	32
Tabel 4.4 Pengujian Slump.....	33
Tabel 4.5 Nilai Standar Slump	33
Tabel 4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Uji Silinder.....	34
Tabel 4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	35
Tabel 4.8 Tegangan Leleh (fy) Tulangan Kolom.....	35
Tabel 4.9 Kapasitas teoritis rencana dan aktual.....	37
Tabel 4.10 Perbandingan Spesimen L15C dan L25C.....	42
Tabel 4.11 Perbandingan Spesimen M15C dan M25C.....	43
Tabel 4.12 Perbandingan Spesimen L25C dan M25C.....	44
Tabel 4.13 Perbandingan Spesimen L15C dan M15C.....	45
Tabel 4.14 Rekapitulasi Perbandingan.....	47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Kolom Teoritis	L-1
Lampiran 2	Perhitungan <i>Mix Design</i>	L-12
Lampiran 3	Uji Tekan Silinder Beton.....	L-13
Lampiran 4	<i>Digital Hammer Test</i>	L-14
Lampiran 5	Uji Tarik Baja Tulangan.....	L-16
Lampiran 6	Data Uji Siklik	L-34
Lampiran 7	Perhitungan Beban-Perpindahan Teoritis.....	L-57
Lampiran 8	Dokumentasi Penelitian.....	L-63



RINGKASAN

Stefan Theophilus, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2016, *Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Jarak Senggang Terhadap Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik*, Dosen Pembimbing: Ari Wibowo dan Siti Nurlina

Kolom merupakan komponen struktural yang berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. 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. Kolom bertulangan ringan seringkali dipercaya memiliki performa yang buruk dalam menahan gempa. Padahal di beberapa kasus yang ditemui bahwa di banyak negara, walaupun kolomnya bertulangan ringan, mereka cukup mampu bertahan terhadap gempa. Apabila ditinjau dari bidang ketekniksipilan, perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kolom tulangan ringan tersebut dengan dikaitkan dengan aspek-aspek konstruksi. Aspek-aspek tersebut diantaranya adalah mengenai kekuatan struktur kolom tulangan ringan beserta komponen penyusunnya, daktilitas, kuat kapasitas beban lateral, ketahanan terhadap gempa, pola retak dan lain sebagainya

Dalam penelitian ini kolom beton bertulang digunakan sebagai benda uji dengan banyak benda uji sebanyak 4 buah kolom dengan variasi rasio tulangan longitudinal (0,8% dan 1,1%) dan variasi jarak senggang (15cm dan 25 cm). Kolom benda uji diletakkan diatas *frame* pengujian. Beban lateral siklik dan beban aksial yang juga akan dianalisa kapasitas beban lateral terhadap perpindahan.

Hasil dari penelitian dan pembahasan data menjelaskan bahwa benda Uji L25C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-250$) dapat menahan 2270,5 kg saat kondisi *push* dan 1778,5 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji L15C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-150$) dapat menahan 1508,5 kg saat kondisi *push* dan 2061,25 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji M25C dapat menahan 2080 kg ($\rho = 1,1\%$; $\varnothing 6-250$) saat kondisi *push* dan 2322,5 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji M15C dapat menahan 2202,5 kg ($\rho = 1,1\%$; $\varnothing 6-150$) saat kondisi *push* dan 2079,5 kg pada kondisi *pull*.

Kata kunci: kolom, ringan, kapasitas beban lateral, senggang, rasio tulangan

SUMMARY

Stefan Theophilus, Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Brawijaya University, December 2015, *Effect of Longitudinal reinforcement ratio and Confinement Spacing on Lightly Reinforced Concrete Column Maximum Lateral Load Capacity Subjected To Cyclic Load*, Academic Supervisor: Ari Wibowo and Siti Nurlina.

Column is a structural component that serves as the successor to load the entire building to the foundation. In Indonesia, is still frequently encountered in buildings with column which longitudinal reinforcement ratio is less than 0.01 times the area of the gross cross-section or can be called lightly reinforced column. Lightly Reinforced Column is often believed that has a poor performance in withstand earthquakes. Whereas in some cases that was found in many countries, although column has light reinforcement, they are quite able to withstand earthquakes. When viewed from engineering study, need further research on lightly reinforced columns with construction aspects. These aspects are structure power of lightly reinforced column and its components, ductility, lateral load capacity, resistance to earthquakes, crack patterns.

In this study, reinforced concrete column is used as a specimen with 4 column with longitudinal reinforcement ratio (0.8 % and 1.1 %) and confinement spacing (15cm and 25cm) variation. Column test object is placed on the test frame. Lateral cyclic load and axial load capacity will be given then will be analyzed its lateral load against displacement.

Results from the study and discussion of the data explains that the test object L25C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-250$) can withstand 2270.5 kg in push condition and 1778.5 kg in pull condition. Test objects L15C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-150$) can withstand 1508.5 kg in push condition and 2061.25 kg in pull condition. Test objects M25C can withstand 2080 kg ($\rho = 1.1\%$; $\varnothing 6-250$) in push condition and 2322.5 kg in pull condition. Test object M15C can withstand 2202.5 kg ($\rho = 1.1\%$; $\varnothing 6-150$) in push and 1 2079.5 kg in pull condition.

Keyword: Column, Light, Lateral Load Capacity, Confinement, Ratio reinforcement

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan komponen struktural yang berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Komponen struktural ini menahan beban vertikal yang berasal dari balok dan beban lateral berupa gempa dan gaya lainnya.

Indonesia adalah negara yang sebagian besar wilayahnya merupakan daerah rawan gempa. Indonesia juga dalam *ring of fire*, sehingga Indonesia adalah negara yang rawan bencana baik itu gempa tektonik ataupun akibat vulkanik gunung meletus. Sehingga akan lebih baik jika bangunan di Indonesia didesain tahan gempa.



Gambar 1.1 Ring Of Fire Indonesia

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 berasio tulangan longitudinal kurang dari 0.01 kali luas bruto penampang atau bisa disebut kolom bertulangan ringan.

Kolom bertulangan ringan seringkali dipercaya memiliki performa yang buruk dalam menahan gempa. Kolom bertulangan ringan seringkali dianggap tidak punya kekuatan dan daktilitas yang cukup untuk menahan beban lateral, dalam hal ini adalah beban gempa. Padahal di beberapa kasus yang ditemui bahwa di banyak negara, walaupun kolomnya bertulangan ringan, mereka cukup mampu bertahan terhadap gempa. Penggunaan kolom

bertulangan ringan ini banyak dijumpai di rumah-rumah di negara berkembang dan negara maju yang memiliki zona gempa ringan sampai menengah. Untuk di negara-negara berkembang, terdapat banyak rumah penduduk yang menggunakan ukuran tulangan yang kecil pada kolom.

Apabila ditinjau dari bidang ketekniksipilan, perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kolom tulangan ringan tersebut dengan dikaitkan dengan aspek-aspek konstruksi. Aspek-aspek tersebut diantaranya adalah mengenai kekuatan struktur kolom tulangan ringan beserta komponen penyusunnya, daktilitas, kuat kapasitas beban lateral, ketahanan terhadap gempa, pola retak dan lain sebagainya.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Berapa beban lateral maksimum aktual yang dapat di terima oleh kolom bertulangan ringan akibat beban lateral siklik?
2. Bagaimana pengaruh rasio tulangan longitudinal terhadap perilaku kolom bertulangan ringan yang dibebani beban lateral siklik?
3. Bagaimana pengaruh jarak sengkang terhadap perilaku kolom bertulangan ringan yang dibebani beban lateral siklik?

1.3 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 (160x150) mm dengan rasio tulangan (ρ_v) sebesar 1,1% dan 0.8%
3. Mutu beton yang digunakan $f'c = 20$ MPa.
4. Semen yang digunakan adalah PPC tipe 1.
5. Pengujian dilakukan pada saat beton pada kolom telah berumur 28 hari atau lebih.
6. Kolom diasumsikan terjepit penuh pada bagian bawah dan ujung bebas (dinding kantilever).
7. Pengujian dilakukan di laboratorium struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Untuk mengetahui beban lateral maksimum aktual yang dapat di terima oleh kolom bertulangan ringan akibat beban lateral siklik
2. Untuk mengetahui pengaruh rasio tulangan longitudinal terhadap perilaku kolom bertulangan ringan yang dibebani beban lateral siklik
3. Untuk mengetahui pengaruh jarak sengkang terhadap perilaku kolom bertulangan ringan yang dibebani beban lateral siklik

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran pengaruh beban siklik terhadap beban lateral yang akan terjadi pada kolom tulangan ringan
2. Memberikan pembuktian bahwa kolom tulangan ringan aman untuk diaplikasikan pada bangunan di Indonesia karena mampu menahan gempa yang digambarkan dengan beban lateral siklik pada uji coba.
3. Dapat digunakan sebagai referensi oleh penulis, pembaca, dan pengusaha maupun pengembang sebagai pertimbangan untuk pembangunan gedung dengan kolom tulangan ringan
4. Dapat digunakan sebagai referensi mahasiswa yang akan meneliti lebih lanjut tentang penelitian ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. (Nawy, Edward G, 2008)

2.1.1 Jarak Tulangan dan Selimut Beton untuk Beton Bertulang

Sangatlah perlu untuk menjaga timbulnya rongga-rongga pada beton serta kepastian bahwa campuran beton basah dapat melewati tulangan baja tanpa terjadi pemisahan material. Kandungan agregat untuk beton struktural sering kali berisi agregat kasar berukuran 0,75 inchi (diameter 19 mm), maka diperlukan adanya jarak antar tulangan minimal dan selimut beton minimal yang diperbolehkan. Lagipula, untuk melindungi penulangan dari karat dan kehilangan kekuatannya dalam kasus kebakaran, maka beberapa peraturan mensyaratkan tebal selimut beton minimal yang diperlukan. Beberapa persyaratan utama pada peraturan ACI 318 adalah:

1. Jarak bersih antar tulangan paralel dalam satu acuan tidak boleh kurang dari d_b atau 1 inch (25,4 mm).
2. Jarak bersih antar tulangan memanjang tidak boleh kurang dari $1,5 d_b$ atau 1,5 inch (38,1 mm)
3. Tebal selimut beton minimum untuk balok dan kolom yang dicor di tempat tidak boleh kurang dari 1,5 inch (38,1 mm) bila tidak berhubungan langsung dengan udara luar maupun tanah; persyaratan ini berlaku juga untuk sengkang, sengkang miring, dan spiral.

2.1.2 Pengekangan Beton

Terdapat perbedaan pada mutu beton antara beton yang tidak diberikan pengekangan (*unconfined*) dan beton yang diberikan pengekangan (*confined*).

Pengekangan pada inti penampang kolom (*concrete core*) yang diakibatkan adanya sengkang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan tekan beton pada daerah terkekang dalam menerima kuat tekan secara aksial.

Perbandingan jarak antar sengkang terhadap inti penampang kolom (*concrete core*) daerah terkekang merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan kolom.

Efek dari pengekangan adalah untuk meningkatkan kekuatan dan tegangan ultimit pada beton. Dengan adanya kolom dengan pengekangan yang diakibatkan karena tulangan sengkang sangat berpengaruh sekali terhadap ketahanan struktur yang direncanakan, sehingga kolom tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dan pada penampang kolom lebih dapat menerima gaya aksial yang lebih besar.

Pada umumnya, pengekangan dapat menggunakan sengkang biasa ataupun tulangan berbentuk spiral. Pengekangan kolom dengan tulangan berbentuk spiral sangat rapat (kolom spiral) memiliki perilaku yang lebih daktail daripada pengekangan kolom dengan sengkang biasa ataupun pengekangan kolom dengan spiral kurang rapat (Winter dan Nilson, 1993).

2.1.3 Syarat Penulangan Sengkang Kolom

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002, persyaratan penulangan sengkang untuk kolom harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Semua batang tulangan non-pratekan harus diikat dengan sengkang dan ikat lateral, paling sedikit ukuran $\emptyset 10$ untuk tulangan longitudinal lebih kecil dari $\emptyset 32$, dan paling tidak $\emptyset 13$ untuk tulangan $\emptyset 36$, $\emptyset 44$, $\emptyset 56$, dan *bundle* tulangan longitudinal. Sebagai alternatif, boleh juga digunakan kawat ulir atau jaringan kawat las dengan luas penampang ekuivalen.
2. Spesi vertikal sengkang dan sengkang ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter ukuran tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang dan kait ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tersebut.
3. Sengkang dan kait ikat harus diatur sedemikian hingga setiap sudut dan tulangan longitudinal yang berselang harus mempunyai dukungan lateral yang didapat dari sudut sebuah sengkang atau kait ikat yang sudut dalamnya tidak lebih dari 135° , dan tidak boleh ada batang tulangan yang jarak bersihnya lebih dari 150 mm pada setiap sisi sepanjang sengkang atau sengkang ikat terhadap batang tulangan yang didukung secara lateral. Jika tulangan longitudinal terletak di sekeliling perimeter suatu lingkaran, maka sengkang berbentuk lingkaran penuh dapat dipergunakan.
4. Sengkang dan sengkang ikat di atas pondasi atau lantai pada tiap tingkat harus diletakkan secara vertikal tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ jarak spasi sengkang dan sengkang ikat,

sedangkan di bawah tulangan horizontal terbawah dari panel atau drop panel yang berada di atas harus berjarak tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ jarak spasi sengkang.

5. Jika terdapat balok atau konsol pendek yang menyatu pada keempat sisi suatu kolom, sengkang dan kait ikat boleh dihentikan tidak lebih dari 75 mm di daerah tulangan terbawah dari balok atau konsol pendek yang paling kecil dimensi vertikalnya.

2.2 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atau ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui fondasi (Edward G, Nawy, 1990)

SNI 03-2847-2002 memberikan definisi kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi tiga yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan. Sedangkan komponen struktur tekan tegak yang mempunyai rasio tinggi bebas terhadap dimensi lateral terkecil rata-rata kurang dari tiga disebut dengan pedestal.

Sebagai bagian dari suatu kerangka bangunan dengan fungsi dan peran seperti tersebut, kolom menempati posisi penting dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Pada umumnya keruntuhan atau kegagalan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas dan bersifat mendadak. Oleh karena itu dalam merencanakan struktur kolom harus diperhitungkan secara cermat dengan memberikan cadangan kekuatan lebih tinggi daripada komponen struktur lainnya.

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.

2.3 Parameter yang Mempengaruhi Perilaku Kolom

Beberapa hal sebagai parameter yang mempengaruhi kekuatan dan deformasi dari kolom adalah: rasio beban aksial, aspek rasio, rasio tulangan longitudinal, dan rasio tulangan melintang.

2.3.1 Rasio Beban Aksial (n)

Rasio beban aksial merupakan perbandingan antara beban aksial terhadap kapasitas beban dukung aksialnya $A_g f'_c$ sebagai berikut:

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

dengan:

- n = rasio beban aksial
- P = beban aksial (N)
- A_g = luas bruto penampang kolom (mm^2)
- f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

Beban tekan aksial umumnya mengurangi kapasitas daktilitas kurvatur karena peningkatan kedalaman zona kompresi, yang dapat menyebabkan peningkatan kurva kelengkungan dan penurunan kelengkungan ultimit (Paulay & Priestley, 1992). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sheikh dan Yeh, 1990) mencatat bahwa beban aksial tinggi mengurangi kekuatan dan daktilitas dari bagian terbatas beton sangat signifikan. Namun, peningkatan beban aksial meningkatkan kekuatan geser (Sezen dan Moehle, 2004). Patwardhan (2005) menganalisis data uji termasuk spesimen kolom Sezen (2002) dan mengamati bahwa peningkatan beban aksial meningkatkan geser retak kekuatan terlepas dari aspek rasio, kekuatan beton, dan ukuran kolom, sejak peningkatan beban aksial membuat kolom kaku, penundaan retak dan meningkatkan efek gesekan geser.

Pengaruh rasio beban aksial pada kegagalan beban aksial telah banyak diteliti di Pusat PEER (Lynn 2001; Sezen 2002; dan Elwood 2003). Hasil menunjukkan bahwa kecenderungan pada kegagalan aksial tergantung pada beban aksial pada kolom dan jumlah tulangan melintang. Moehle (2005) mengamati bahwa membangun kegagalan hasil dari hilangnya beban aksial daya dukung pada kolom (kegagalan aksial) bukan dari

pengurangan kekuatan lateral (kegagalan lateral). Akibatnya simpangan pada beban aksial biasanya lebih besar dari simpangan terkait dengan kegagalan beban lateral untuk kolom dengan beban aksial yang rendah. Sebaliknya, kolom mengalami beban aksial lebih tinggi cenderung mengalami kegagalan beban aksial dengan cara yang lebih rapuh mendekati pada kegagalan simpangan beban lateral.

2.3.2 Aspek Rasio (α)

Aspek rasio (α) merupakan perbandingan panjang kolom dengan tinggi penampang kolom seperti yang diberikan oleh:

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

dengan:

L = panjang bentang geser kolom

D = tinggi penampang kolom

Panjang bentang geser dapat didefinisikan sebagai tinggi kolom untuk kolom dengan kelengkungan tunggal seperti kolom kantilever, atau dapat dinyatakan sebagai panjang kolom yang diukur dari titik *contra flexure* ke bagian kritis untuk kolom kelengkungan ganda.

Aspek rasio dapat digunakan sebagai indikator untuk perilaku runtuhnya perkuatan kolom beton akibat beban lateral. Jika aspek rasio meningkat, keuletan meningkat dan perilaku kegagalan berganti dari mode geser (untuk kolom dengan L/D rasio kurang dari 2) ke mode lentur (untuk L/D ratio lebih besar dari 4).

2.3.3 Rasio Tulangan Longitudinal (ρ_v)

Rasio tulangan longitudinal (ρ_v) merupakan perbandingan dari luas total tulangan longitudinal dengan luas efektif pada beton. Ditunjukkan sebagai berikut:

$$\rho_v = \frac{A_s}{b D} \quad (2-3)$$

dengan:

A_s = luas total tulangan longitudinal (mm²)

b = lebar kolom (mm)

D = tinggi penampang kolom (mm)

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.

2.3.4 Presentase Tulangan Transversal (ρ_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 :

A. 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)

$$\rho_s = \frac{A_v(2b_s+2h_s)}{b_h h_h s} \quad (2-4)$$

dengan:

A_v = luas penampang tulangan transversal (mm^2)

b_s dan h_s = dimensi terhadap garis tengah sengkang (mm)

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

B. Rasio Luas

Merupakan rasio antara luas penampang tulangan transversal dengan luas penampang beton yang tegak lurus dengan arah beban lateral

$$A_{v.min} = \frac{0.35 b_v s}{f_{sy}} \quad (2-5)$$

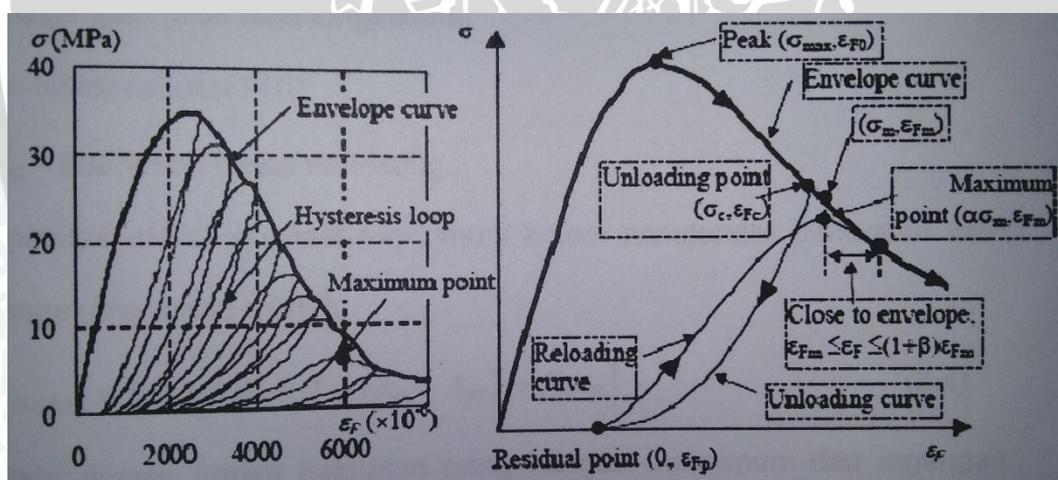
dengan:

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

2.4 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. (Al-Sulayfani & Al-Tae, 2008)

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 Hysteresis Loop

Untuk memprediksi perilaku struktur beton dibawah pembebanan seismik, model tegangan-tegangan beton dibawah beban siklik (*hysteresis loop*) adalah hal yang penting untuk diamati. (Watanabe at. All) Selain itu, tingkat pembebanan dan jumlah siklus sangat mempengaruhi respon tegangan-regangan beton. Seperti dinyatakan dalam model Mander dkk. (1988) untuk beton terkekang. (Saadatmanesh at. All, 1994)

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*. (Al-Sulayfani & Al-Tae, 2008) Unloading curve (σ , ϵ_{Fu}) adalah jika nilai ϵ_F di wilayah pasca-puncak berkurang dengan tegangan (σ) : antara *unloading point* (σ_c , ϵ_{Fc}) dan *residual point* (0 , ϵ_{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* ($\alpha\sigma_m$, ϵ_{Fm}) yang disebut *reloading curve* ($\sigma - \epsilon_{Fr}$). Titik akhir dari *reloading curve* dan titik awal *unloading curve* disebut *envelope curve*. (Watanabe at. All)

2.5 Kapasitas Kolom

A. Sebagai Kolom Pendek

Jika pengaruh kelangsingan kolom dapat diabaikan maka kapasitas kolom juga dibatasi , yakni kuat aksial nominal maksimum $P_{n(max)}$ tidak boleh melebihi $0,8 P_o$ untuk kolom dengan pengikat sengkang, dan $0,85 P_o$ untuk kolom dengan pengikat spiral. Kapasitas kolom terhadap beban aksial sentris P_n max untuk penulangan sengkang adalah:

$$\phi P_{n(max)} = 0,80\phi \{0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + (A_{st} f_y)\} \quad (2-6)$$

dengan:

- f'_c = kekuatan tekan beton (Mpa)
- A_g = luas bruto penampang kolom (mm^2)
- A_{st} = luas total tulangan longitudinal (mm^2)
- f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)

B. Kolom dengan Beban Aksial dan Lentur

Tulangan tekan pada kolom beton yang dibebani eksentris pada tingkat beban ultimit umumnya akan mencapai tegangan leleh sehingga diasumsikan bahwa baja tulangan tekan sudah leleh, kemudian baru regangannya diperiksa apakah memenuhi ketentuan ini:

$$P_n = 0.85f'_c ab + f_y A_{st} - f_s A_{st} \quad (2-7)$$

dengan:

- f'_c = kekuatan tekan beton (Mpa)
 f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)
 f_s = tegangan tulangan longitudinal (Mpa)
 A_{st} = luas total tulangan longitudinal (mm²)

Dengan mengambil momen terhadap tulangan tarik dapat diperoleh persamaan:

$$M_n = P_n \cdot e = 0,85 f'_c ab (h/2 - 1/2 a) + A_s' f_y (d - d') \quad (2-8)$$

dengan:

- f'_c = kekuatan tekan beton (Mpa)
 f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)
 A_s' = luas tulangan longitudinal tekan (mm²)
 a = kedalaman blok tegangan tekan (mm)

C. Kondisi Seimbang (*Balance Failure*)

$$a_b = \beta_1 C_b = \frac{0,003}{0,003E_s + f_y} \beta_1 d, \text{ dengan } f_s = f_y \quad (2-9)$$

dengan:

- β_1 = (nilai koefisien = 0,85)
 C_b = letak garis netral saat balanced (mm)
 E_s = modulus elastisitas baja (Mpa)
 f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)

Substitusikan nilai a_b dan f_s kedalam persamaan maka akan memperoleh beban aksial dan momen lentur untuk kondisi seimbang, sebagai berikut:

$$P_{nb} = P_n = 0,85 f'_c a_b b + f_y A_{st} - f_s A_{st} \quad (2-10)$$

maka,

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 f'_c a_b b (h/2 - 1/2 a) + A_s' f_y (d - d') \quad (2-11)$$

dimana:

- P_{nb} = beban kuat nominal aksial balanced (N)
 e_b = eksentrisitas saat balanced (mm)

- A_s' = luas tulangan tekan (mm^2)
 a_b = tinggi balok tegangan (mm)
 f_y = tegangan leleh baja tulangan (Mpa)
 f'_c = kuat tekan beton (Mpa)

D. Keruntuhan Tarik

Ragam keruntuhan yang terjadi pada kolom mungkin saja bukan keruntuhan seimbang, mungkin saja kolom tersebut mengalami keruntuhan tarik atau keruntuhan tekan. Keruntuhan tarik terjadi jika $P_u < P_b$ yang berarti $\epsilon'_s > \epsilon_y$ atau $e < e_b$. Tegangan pada tulangan tarik sama dengan tegangan lelehnya. Bila tulangan diletakkan secara simetris ($A_s = A_s'$), dan tulangan tekan telah meleleh, maka:

$$P_n = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \quad (2-11)$$

$$M_n = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \left(\frac{h}{2} - a/2 \right) + A_s \cdot f_y (d - d') \quad (2-12)$$

maka,

$$P_n \cdot e = P_n \left(\frac{h}{2} - a/2 \right) + A_s \cdot f_y (d - d') \quad (2-13)$$

$$a = \frac{P_n}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \quad (2-14)$$

maka,

$$P_n \cdot e = P_n \left(\frac{h}{2} - \frac{P_n}{1.7 f'_c b} \right) + A_s \cdot f_y (d - d') \quad (2-15)$$

dengan:

- f'_c = kuat tekan beton (Mpa)
 P_n = beban kuat nominal aksial (N)
 A_s = luas tulangan tarik (mm^2)
 f_y = tegangan leleh baja tulangan (Mpa)
 d = tinggi efektif (mm)
 d' = jarak dari muka tekan sampai titik berat tulangan tekan (mm)

E. Keruntuhan Tekan

Keruntuhan tekan terjadi $P_u > P_b$ yang berarti $\epsilon_s < \epsilon_y$ atau $c > c_b$. Tegangan pada tulangan tarik harus ditentukan.

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d-c}{c} \quad (2-16)$$

$$f_s = \epsilon_s E_s = 0,003 \frac{d-c}{c} E_s \quad (2-17)$$

dimana:

- ϵ_s = regangan baja
- f_s = tegangan tulangan longitudinal (Mpa)
- E_s = modulus Elastisitas Baja (Mpa)

Karena persamaan diatas diasumsikan baja tulangan tekan sudah leleh, maka harus dikontrol dengan melihat regangan pada baja tulangan:

$$\epsilon_s' = 0,003 \frac{c-d'}{c} > \frac{f_y}{E_s} \quad (2-18)$$

dengan:

- f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)
- E_s = modulus elastisitas baja (Mpa)

Jika baja tulangan tekan belum leleh, nilai harus ditentukan melalui diagram tegangannya:

$$f_s = \epsilon_s' E_s = 0,003 \frac{c-d'}{c} E_s \quad (2-19)$$

dengan:

- ϵ_s' = regangan baja
- E_s = modulus elastisitas baja (Mpa)

Dalam kondisi ini, untuk menentukan besarnya kapasitas penampang kolom yang mengalami keruntuhan tekan dicoba menggunakan prosedur pendekatan dari Whitney, yaitu:

$$P_n = \frac{f'c b h}{\left(\frac{3he}{(d)^2}\right) + 1,18} + \frac{As' f_y}{\left[\frac{e}{(d-d')} + 0,5\right]} \quad (2-20)$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton (Mpa)

As' = luas tulangan tekan (mm^2)

f_y = tegangan leleh tulangan longitudinal (Mpa)

2.6 Momen Retak

Menurut Siddiq S. (1992), benda uji yang dibebani dengan beban kombinasi tekan N, beban lateral Q dan momen lentur QxH. 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:

$$M_{\text{retak}} = \frac{f_r I_g}{Y_b} \quad (2-21)$$

dengan:

f_r = modulus retak beton (Mpa)

I_g = momen inersia bruto (mm^4)

Y_b = jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton (mm)

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'c} \quad (2-22)$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton (Mpa)

$$I_{\text{beton}} = 1/12 bh^3 \quad (2-23)$$

dengan:

h = tinggi penampang (mm)

$$Q_{\text{retak}} = M_{\text{retak}} / I_n \quad (2-24)$$

dengan:

M_{retak} = Momen retak (Nmm)

I_n = momen inersia penampang (mm^4)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai “Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dan Jarak Sengkang terhadap Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik” 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. *Strainmeter*

Merupakan alat pembaca data regangan.

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.

j. *Hydraulic Jack*

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

k. *Load Cell*

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

l. *Linear Variable Displacement Transducer (LVDT)*

Digunakan untuk mengukur displacement pada spesimen kolom dengan jumlah 9 buah.

m. *Dial Gauge*

Digunakan untuk mengukur besarnya deformasi yang terjadi pada kolom.

n. *Strain Gauge*

Digunakan untuk menghitung regangan yang terjadi, dipasang pada tulangan baja dan beton di daerah antara kolom dan pondasi.

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. Baja Tulangan.

Baja tulangan longitudinal adalah tulangan polos $\varnothing 8$ dan $\varnothing 10$ sebanyak 4 tulangan pokok untuk masing-masing benda uji kolom, sedangkan tulangan sengkang menggunakan tulangan polos $\varnothing 6$. Sebelum digunakan, dilakukan uji kuat tarik pada baja tulangan. Kawat bendrat digunakan sebagai pengikat antara tulangan dengan sengkang agar kedudukan tulangan tidak berubah.

c. Bekisting

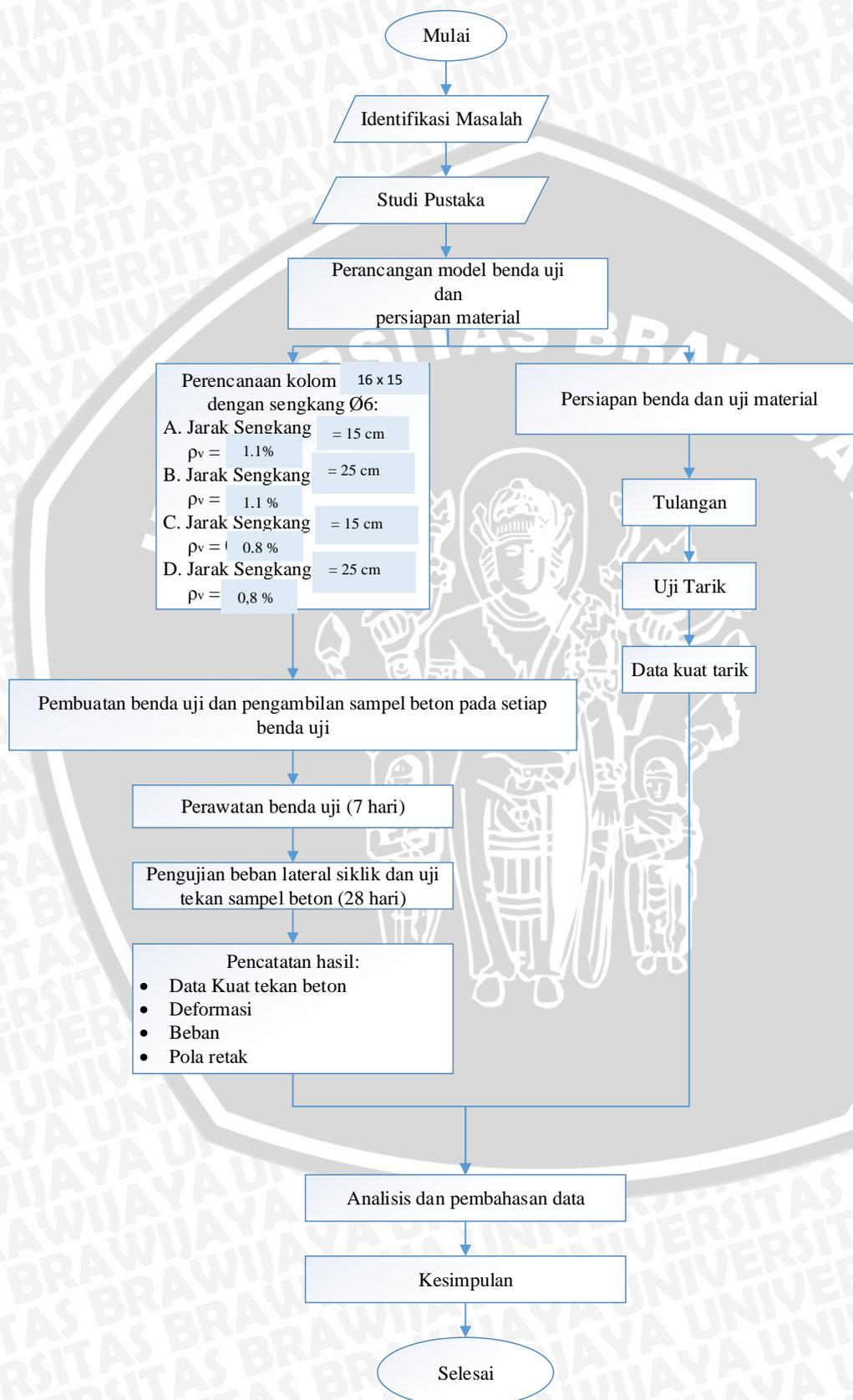
Bekisting menggunakan papan multipleks 9 mm dan diperkuat dengan balok kayu.

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 Pelaksanaan 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

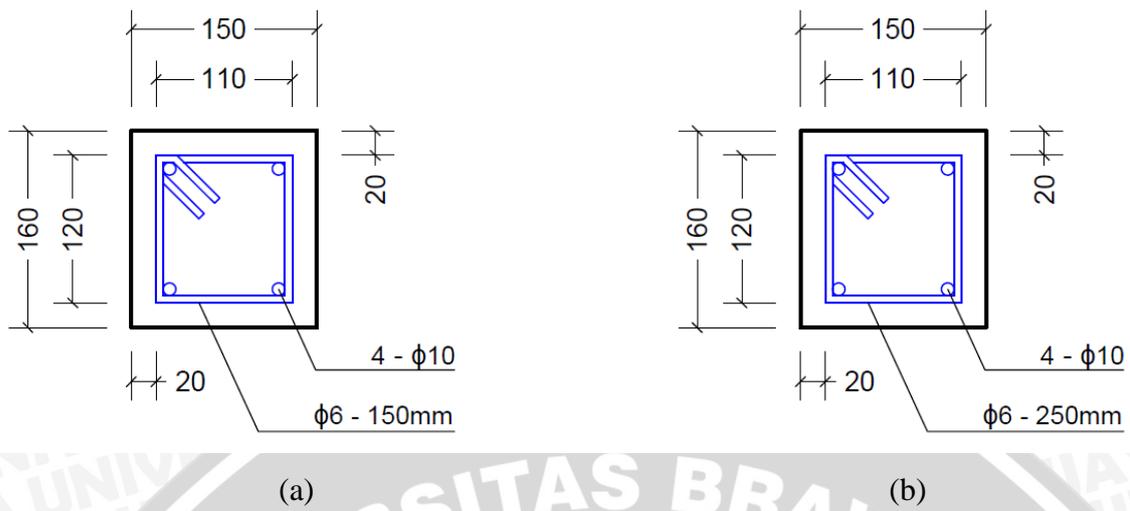
Jumlah benda uji dalam penelitian ini adalah 4 (empat) buah yang terdiri dari :

- Kolom dengan dimensi 160 mm x 150 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- \varnothing 10 dan tulangan transversal \varnothing 6-150 mm.
- Kolom dengan dimensi 160 mm x 150 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- \varnothing 10 dan tulangan transversal \varnothing 6-250 mm.
- Kolom dengan dimensi 160 mm x 150 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- \varnothing 8 dan tulangan transversal \varnothing 6-150 mm.
- Kolom dengan dimensi 160 mm x 150 mm, tinggi 640 mm. Memakai tulangan longitudinal 4- \varnothing 8 dan tulangan transversal \varnothing 6-250 mm.

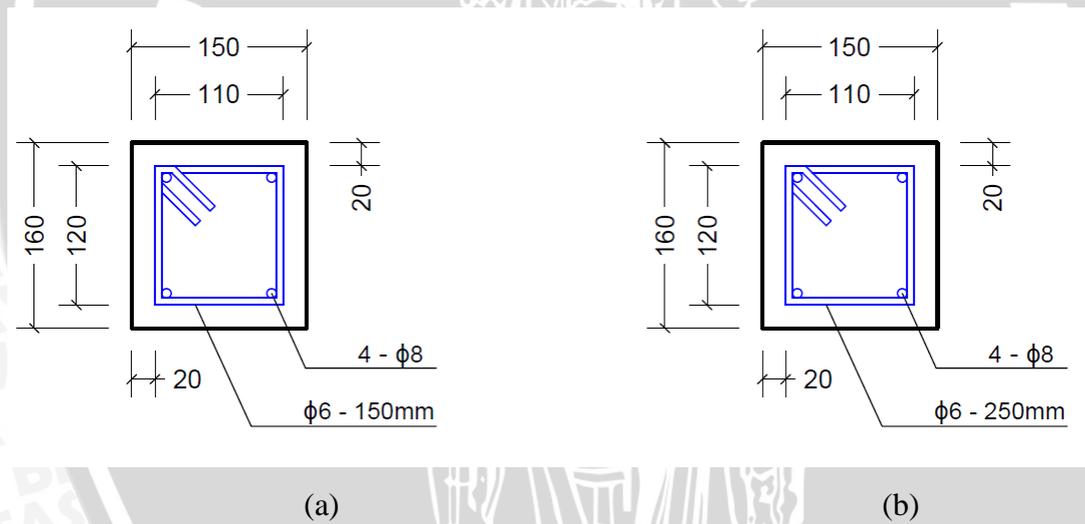
Tabel 3.1 Spesifikasi Benda Uji Kolom

Nama Kolom	Dimensi Kolom (mm)	Tinggi Kolom (mm)	Aspek Rasio	ρ_v (%)	Tulangan Longitudinal	ρ_H (%) Area Volume	Tulangan Transversal	n	f'_c (MPa)
L15C	150 x 160	640	4	0,76	4 \varnothing - 8	0,35 0,61	\varnothing 6 - 150 mm	0,1	20
L25C	150 x 160	640	4	0,76	4 \varnothing - 8	0,21 0,36	\varnothing 6 - 250 mm	0,1	20
M15C	150 x 160	640	4	1,10	4 \varnothing - 10	0,35 0,61	\varnothing 6 - 150 mm	0,1	20
M25C	150 x 160	640	4	1,10	4 \varnothing - 10	0,21 0,36	\varnothing 6 - 250 mm	0,1	20

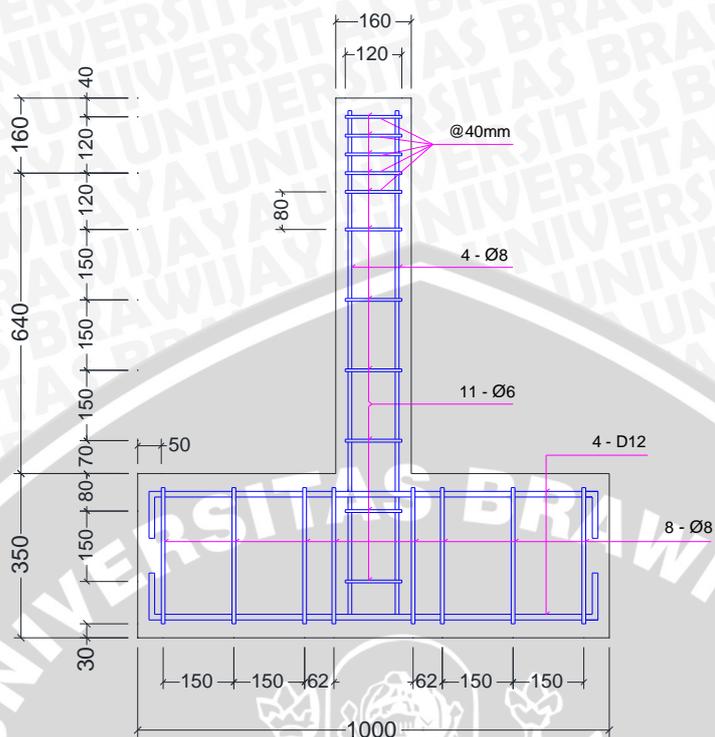
Sumber: Data Pengujian



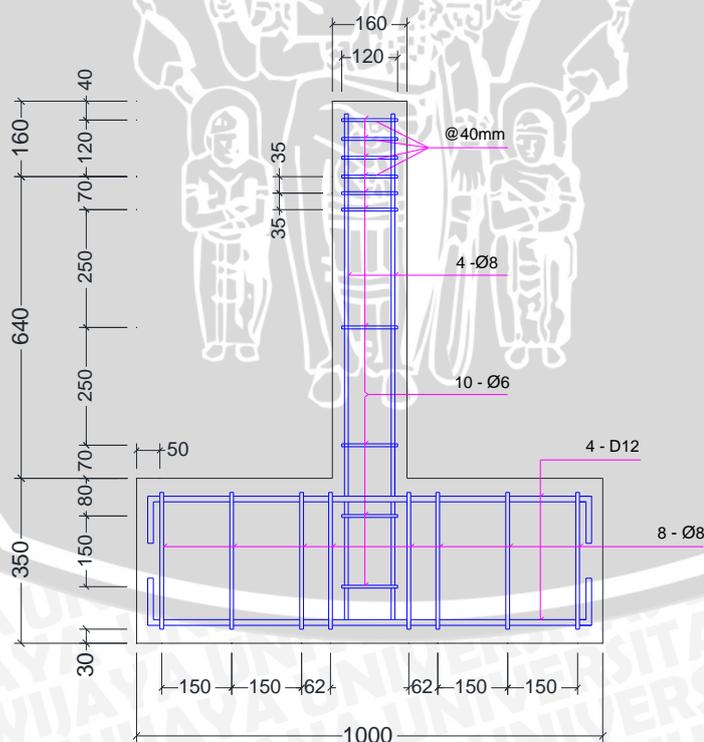
Gambar 3.2 (a) Benda Uji M15C; (b) Benda Uji M25C
 Sumber: Data Pengujian



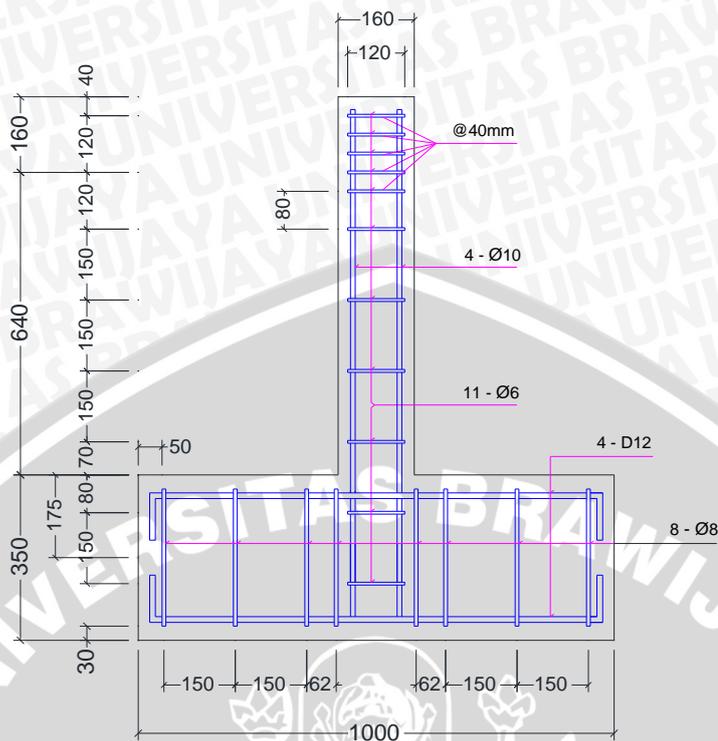
Gambar 3.3 (a) Benda Uji L15C ; (b) Benda Uji L25C
 Sumber: Data Pengujian



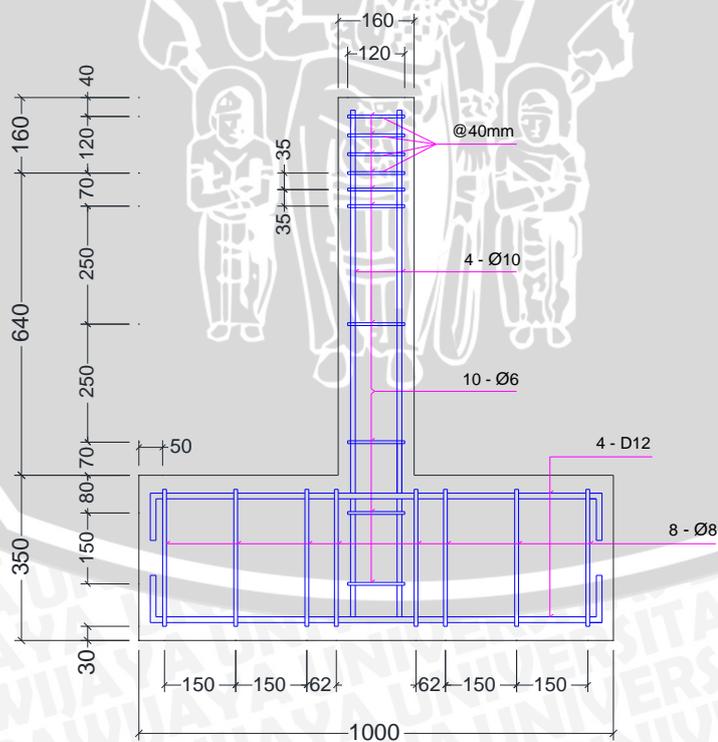
Gambar 3.4 Benda Uji L15C
Sumber: Data Pengujian



Gambar 3.5 Benda Uji L25C
Sumber: Data Pengujian



Gambar 3.6 Benda uji M15C
Sumber: Data Pengujian



Gambar 3.7 Benda Uji M25C
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 $\varnothing 6$ 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. Uji *slump* dilakukan sebanyak 3 kali, masing-masing pada awal pengecoran, pertengahan pengecoran, dan akhir

pengecoran, dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *slump* yang diukur dari tinggi permukaan alat sampai tinggi permukaan beton jatuh.

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.

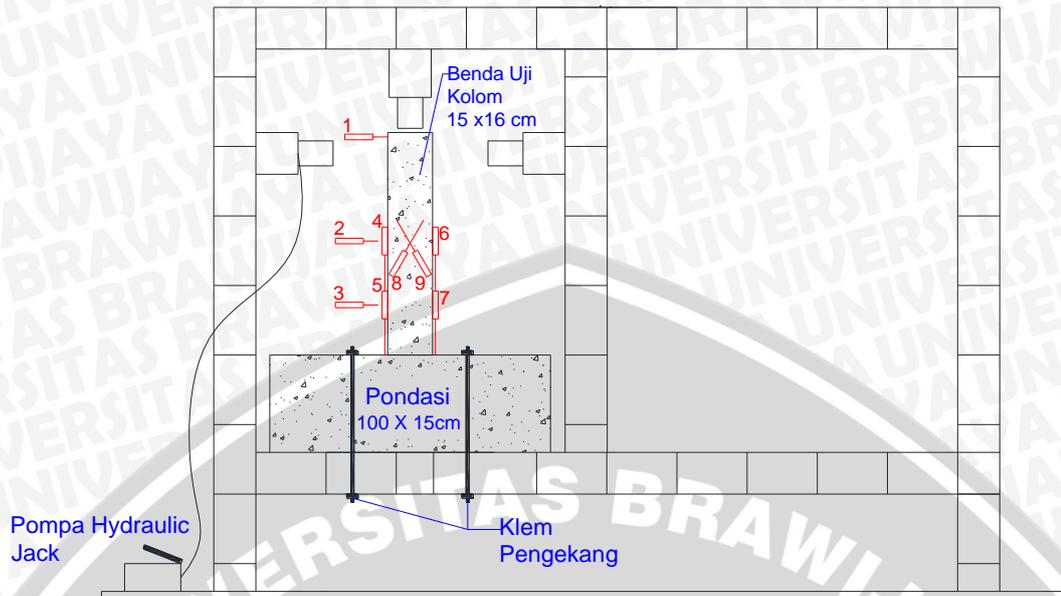
3.5.5 *Setting Up*

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 (LVDT 8-9)



Gambar 3.8 *Setting* Alat Pengujian
Sumber: Data Pengujian

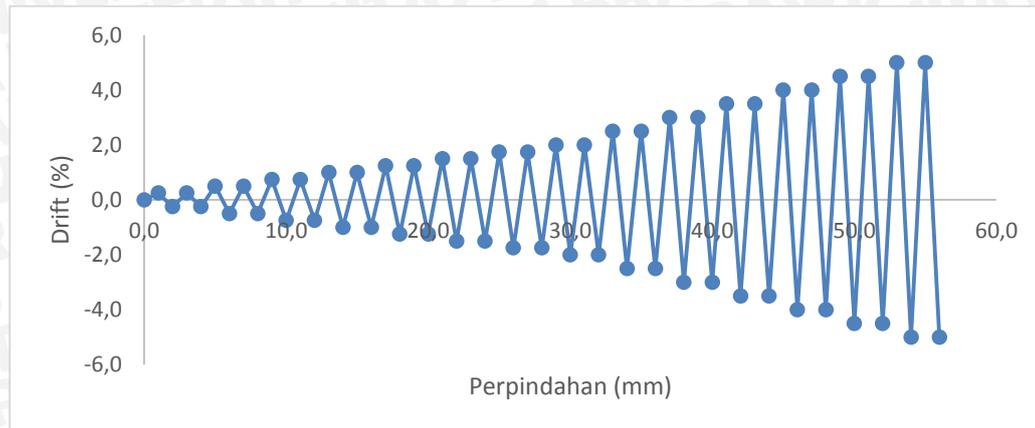
3.5.6 Beban Rencana

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

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 3.9 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 spesimen mengalami keruntuhan beban lateral (*lateral load failure*) yang terjadi saat terjadi penurunan beban lateral sebesar 20% dari beban lateral maksimum.

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 jarak antar sengkang.
2. Variabel Terikat (*dependent variable*), adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah perpindahan dan beban lateral

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 retak, baik mengenai retak awal, lokasi, ukuran, dan juga *spalling* yang terjadi.

1. 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.

2. 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.

3. 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.

3.8 Analisis Hasil

Dalam penelitian ini akan dianalisis hasil yang meliputi :

1. 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.

2. 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.

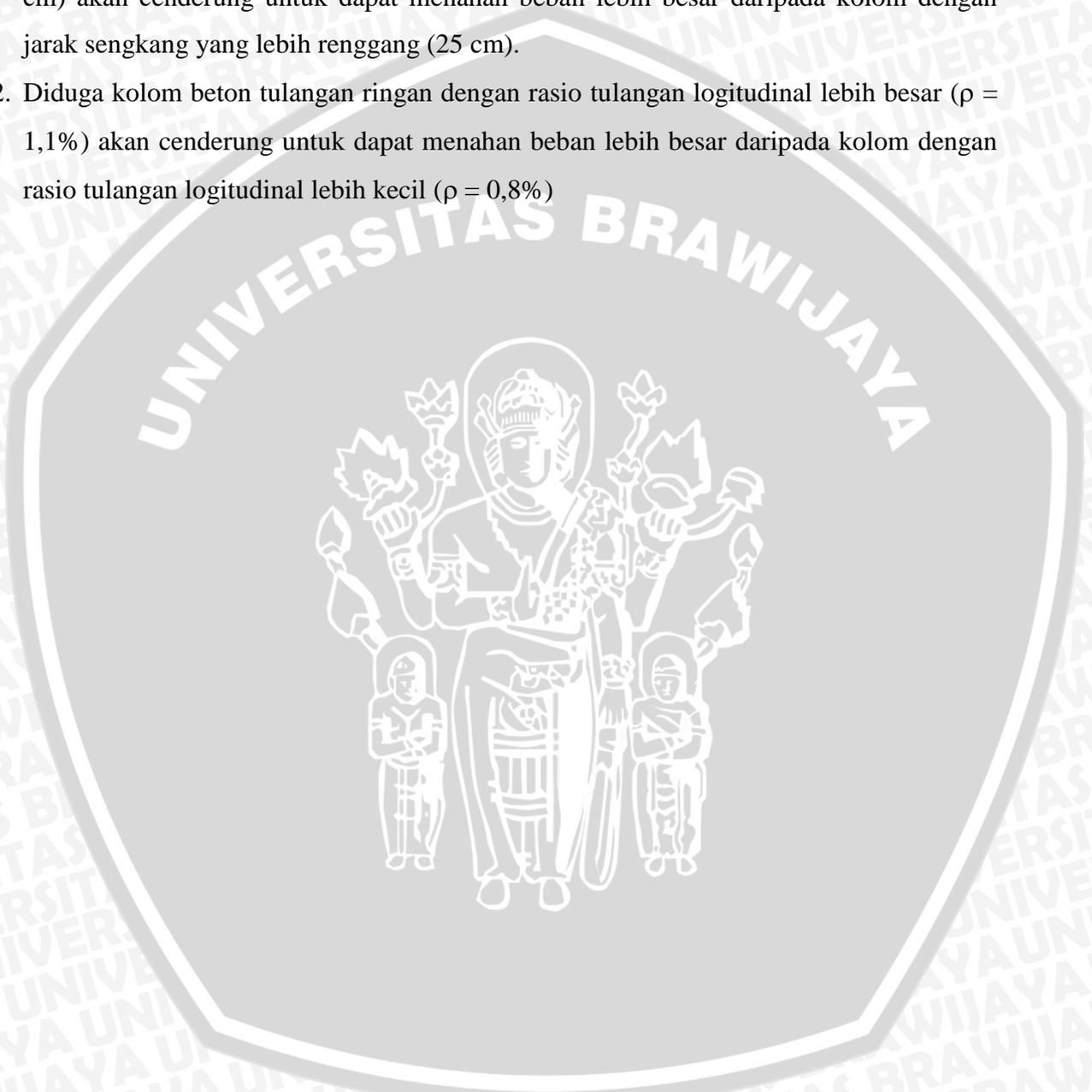
3. Beban Lateral dan Perpindahan

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

3.9 Hipotesa Penelitian

Hipotesa penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Diduga kolom beton tulangan ringan dengan jarak pemasangan sengkang lebih rapat (15 cm) akan cenderung untuk dapat menahan beban lebih besar daripada kolom dengan jarak sengkang yang lebih renggang (25 cm).
2. Diduga kolom beton tulangan ringan dengan rasio tulangan logitudinal lebih besar ($\rho = 1,1\%$) akan cenderung untuk dapat menahan beban lebih besar daripada kolom dengan rasio tulangan logitudinal lebih kecil ($\rho = 0,8\%$)



BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Sifat-Sifat Bahan Penyusun Kolom Beton Bertulang

Pengujian utama dalam penelitian ini adalah pengujian pembebanan kolom dengan dua beban lateral yg simetris dan beban aksial untuk setiap kolom. Beberapa pengujian lain dilakukan untuk melengkapi data yang diperlukan dalam pegujian utama. Pengujian pendukung yang dilakukan itu adalah analisa agregat halus, analisa agregat kasar, pengujian beton segar dengan *slump* dan uji kuat tekan beton keras dengan benda uji silinder.

4.1.1. Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Portland type 1 yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik yang mana umumnya digunakan untuk bangunan dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Pada semen ini tidak dilakukan pemeriksaan lebih lanjut karena telah memenuhi syarat.

4.1.2. Air

Air merupakan suatu material yang sangat berpengaruh dalam pengecoran, air dalam prosesnya akan bercampur dengan semen dan akan beraksi bersama dalam proses pengerasan beton. Dalam penelitian ini air yang digunakan adalah air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Kota Malang yang tersedia di laboratorium dan tidak dilakukan penganalisaan lebih lanjut karena telah memenuhi persyaratan.

4.1.3. Agregat Halus

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah pasir alam yang berasal dari Malang. Dari hasil analisis ayakan didapatkan pasir termasuk dalam daerah gradasi no. 2 berdasarkan ASTM. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus	
Kehalusan	3,7457
Berat Jenis SSD	2,723
Absorpsi (%)	1,399

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.1.5 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari Malang. Dari hasil analisis gradasi ayakan batu pecah didapatkan ukuran butir batu pecah termasuk kedalam max 40 mm. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3**

Tabel 4.2 Pengujian Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Penelitian
Modulus	
Kehalusan	9,95
Berat Jenis SSD	2,47
Absorpsi (%)	3,158

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.3 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Keterangan	Kerikil
Benda Uji Kering Udara (Bk) (gram)	4940
Benda Uji Jenuh Kering Permukaan (Bj) (gram)	5096
Benda Uji Jenuh Kering Permukaan dalam Air (Ba) (gram)	3033

Nomor Contoh	Rumus	Hasil
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(Bj-Ba)$	2,395
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$Bj/(Bj-Ba)$	2,47
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity)	$Bk/(Bk-Ba)$	2,59
Penyerapan (%) (Absorption)	$(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	3,158

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian yang dilakukan pada beton segar adalah pengujian slump. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan kemudahan dalam campuran adukan beton. Nilai slump diperoleh dari besarnya penurunan beton segar yang dimasukkan ke dalam cetakan logam. Cara memasukan beton segar ke dalam cetakan ini yaitu dengan mengisi tiap 1/3 lapisan, dan tiap lapisannya ditusuk-tusuk sebanyak 25 tusukan. Berikut ini adalah data pengujian slump. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada

Tabel 4.4. Pengujian *Slump*

BENDA UJI	Slump (cm)
L15C	7
L25C	9
M15C	9
M25C	7

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Hasil dari pengujian slump ini sesuai dengan PBI 1971.

Tabel 4.5 Nilai Standar *Slump*

	maks	min
-dinding	12,5	5
-pelat pondasi		
-pondasi telapak bertulang		
-pondasi telapak tidak bertulang	9	2,5
-kaison		
-konstruksi di bawah tanah		
-pelat	15	7,5
-balok		
-kolom		
-dinding		
pengerasan jalan	7,5	5
pembetonan masal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Baja Tulangan

4.3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

A. Uji Tekan Silinder

Pembuatan benda uji kuat tekan beton ini diambil 1 sampel dari setiap kali pengecoran. Sampel uji kuat tekan beton berbentuk silinder dengan dimensi diameter 8 cm dan tinggi 16 cm.

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder ini dilakukan dengan direndam selama 14 hari setelah 1 hari dilepas dari bekistingnya. Kemudian diangkat dan didiamkan hingga mencapai umur beton 28 hari atau lebih. Kemudian dilakukan pengujian tekan. Setelah dilakukan pengujian didapatkan hasil pada tabel.

Tabel 4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Uji silinder

Benda Uji	Hari	rv	Luas (mm ²)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	P max (kn)	Fc (n/mm ²)
L15C	65	0,8	17671,46	5303,57	11,2	331	18,73
L25C	44	0,8	17671,46	5303,57	11,15	432	24,45
M15C	46	1,1	17671,46	5303,57	11,1	448	25,35
M25C	64	1,1	17671,46	5303,57	11,85	355	20,09

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Keterangan:

L15C = Benda uji kolom (0,8%) dengan tulangan sengkang berjarak 15 cm

L25C = Benda uji kolom (0,8%) dengan tulangan sengkang berjarak 25 cm

M15C = Benda uji kolom (1,1%) dengan tulangan sengkang berjarak 15 cm

M25C = Benda uji kolom (1,1%) dengan tulangan sengkang berjarak 25 cm

B. Hammer Test

Hammer test adalah suatu metode pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Disamping itu dengan menggunakan metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Berikut adalah data dari *hammer test* Analog dan Digital serta di rata rata dengan uji silinder :

Tabel 4.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kolom	Digital Hammer Test (MPa)	Analog Hammer Test (MPa)	Uji Tekan Silinder (MPa)
L15C	21,5	23,6	18,73
L25C	31,5	25,84	24,45
M15C	19	23,6	25,35
M25C	19	23,73	20,09

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Untuk analisa selanjutnya, digunakan data hasil uji analog *hammer test*.

4.3.2 Pengujian Kuat Tarik 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 4.8 Tegangan Leleh (f_y) Tulangan Kolom

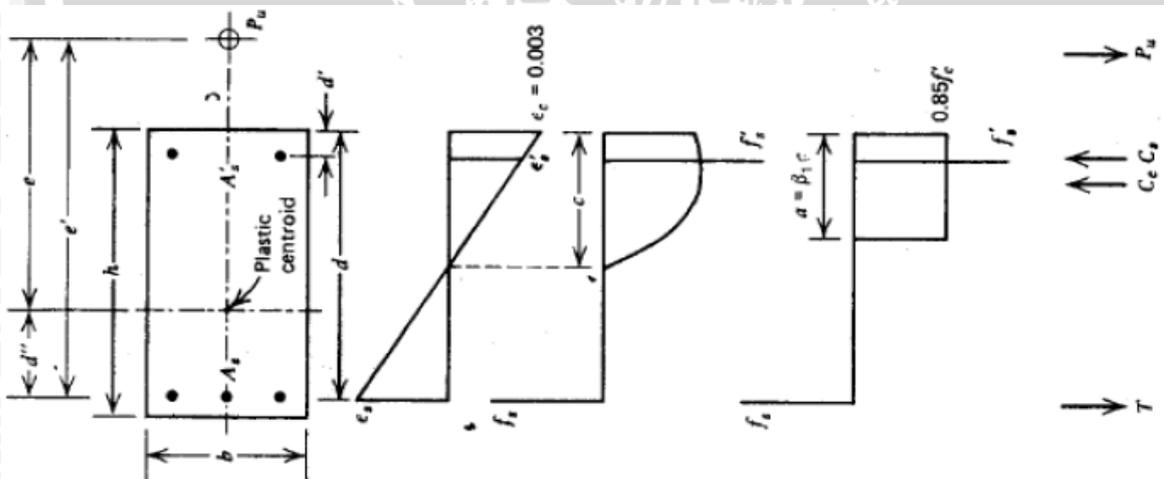
No. Tulangan	Diameter	Diameter Aktual (mm^2)	A (mm^2)	P (N)	f_y (Mpa)
4	$\varnothing 6$	5,92	27,53	10400	377,83
				f_y	377,83
3	$\varnothing 8$	7,61	45,48	20000	439,71
2	$\varnothing 8$	7,61	45,48	20360	447,63
1	$\varnothing 8$	7,61	45,48	19000	417,73
				f_y	435,02
3	$\varnothing 10$	9,15	65,76	35000	532,27
2	$\varnothing 10$	9,15	65,76	34580	525,89
1	$\varnothing 10$	9,15	65,76	36000	547,48
				f_y	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 (f_y) untuk diameter $\varnothing 6$, $\varnothing 8$, dan $\varnothing 10$ berturut-turut sebesar 377,83 MPa, 435,02 MPa, dan 535,22 MPa.

4.4 Kapasitas Kolom Teoritis

Perhitungan kekuatan kolom secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai beban lateral maksimum (P_h), dan Momen ultimit (M_u) yang terjadi dengan beban aksial sebesar 0,1 P_u . Perhitungan dilakukan untuk rasio tulangan longitudinal (ρ_v) 0,8% dan 1,1% dengan f'_c 20 Mpa, serta untuk masing-masing spesimen dengan f'_c sesuai hasil uji kuat tekan beton.



Gambar 4.1 Analisis Kolom

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 P_u . Perhitungan dilakukan untuk rasio tulangan longitudinal (ρ_v) 0,8% dan 1,1% dengan f'_c masing-masing benda uji.

Perhitungan kolom secara teoritis menggunakan analisa kolom segi empat bertulangan 2 sisi dengan asumsi tumpuan jepit bebas. Hasil perhitungan kolom teoritis dengan menggunakan perhitungan diagram interaksi terlampir pada lampiran.

Tabel 4.9 Kapasitas Teoritis Rencana dan Aktual

Kolom	L15C		L25C		M15C		M25C	
f'c (Mpa)	20	23,6	20	25,84	20	23,6	20	23,73
0,1 Pu (kg)	4840,54	5584,9	4840,54	6038,4	5443	6192,5,7	5443,02	6218,7
Ph (kg)	1266,5	1366,28	1266,5	1418,67	1872,7	1981,91	1872,65	1985,05
Mu (kgm)	810,56	874,42	810,56	907,95	1198,5	1268,42	1198,5	1270,43

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel di atas beban lateral maksimum yang mampu ditahan oleh kolom dengan mutu beton 20 Mpa untuk rasio tulangan longitudinal (ρ_v) 0,8% dan 1,1% berturut-turut adalah 1266,5 kg dan 1872,65 kg, sedangkan untuk spesimen kolom L15C, 1L25C, 1M15C, dan 2M25C berturut-turut adalah 1366,28 kg, 1418,67 kg, 1872,65 kg, dan 1985,05 kg. Momen ultimit yang terjadi dengan beban aksial sebesar 0,1 Pu untuk rasio tulangan longitudinal (ρ_v) 0,8% dan 1,1% berturut-turut adalah 810,56 kgm dan 1198,5 kgm sedangkan untuk spesimen kolom L15C, L15C, M15C, dan M15C berturut-turut adalah 874,42kgm, 907,95 kgm, 1198,5 kgm, dan 1270,43 kgm.

4.5 Pengujian Kolom Beton Terhadap Beban Siklik

Pengujian beban lateral semi siklik dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik dengan dua beban lateral dan beban aksial. Kolom berdimensi 16 x 15 x 64 cm, yang telah berumur diatas 28 hari dipersiapkan dan diletakan di atas *frame*. Kemudian dilakukan *setting* peralatan 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 %. Pada setiap analisis nantinya hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan hasil kurva positif lainnya, begitu juga dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif

pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya. Data yang akan diambil pada penelitian ini adalah perpindahan yang terjadi dan beban lateral yang dialami oleh kolom uji.



Gambar 4.2 Skema Pembebanan Kolom

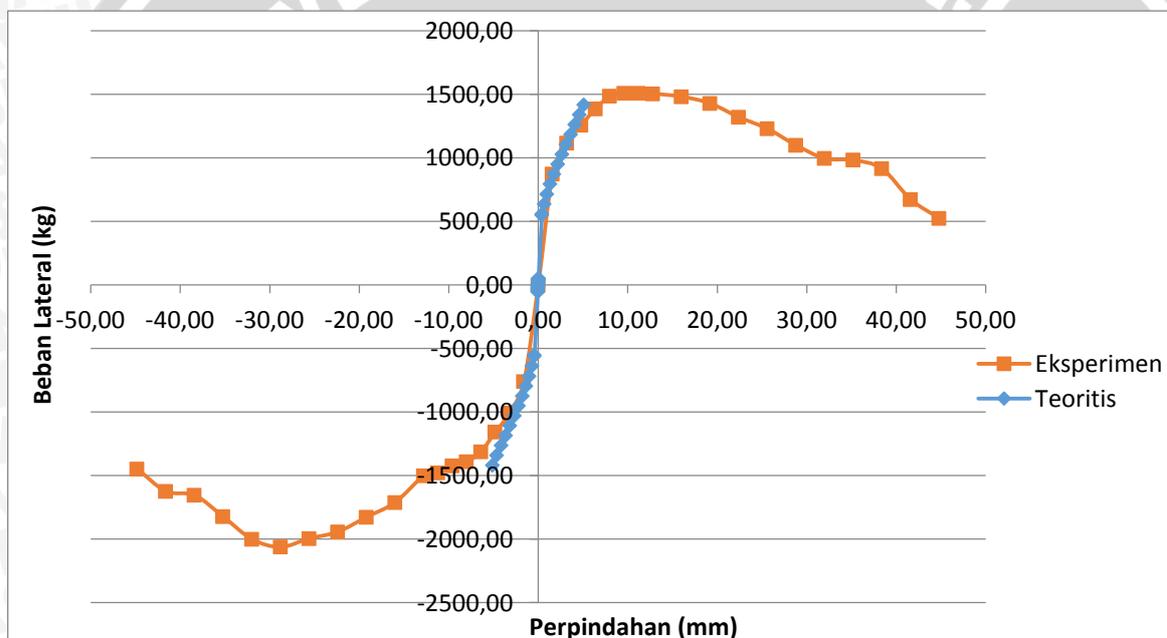


4.6 Analisa Hasil Pengujian Beban Siklik Kolom

Hasil pengujian beban lateral siklik pada kolom menunjukkan bahwa setiap kolom memiliki kapasitas beban yang berbeda-beda. Serta setiap hasilnya menunjukkan perilaku setiap kolom dalam menerima beban.

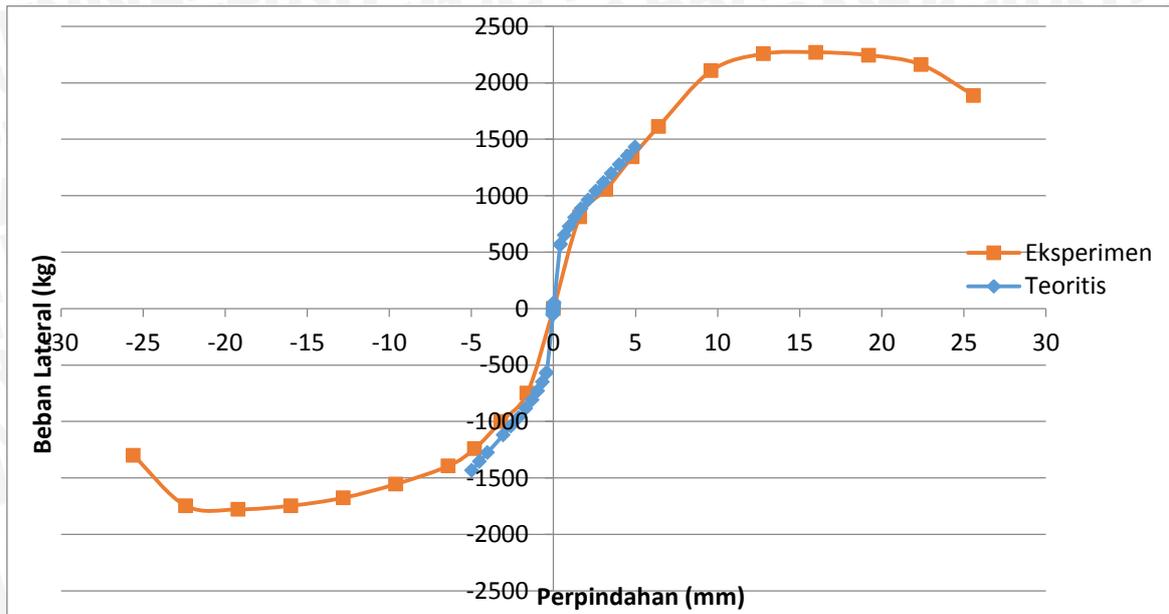
4.6.1 Analisa Hasil Teoritis dengan Hasil Eksperimen

Grafik dibawah ini akan dijelaskan hubungan beban lateral – perpindahan yang didapatkan dari perhitungan beban lateral dan perpindahan yang terjadi sebelum beban maksimum tercapai dengan kondisi kolom normal tanpa sengkang. Perpindahan yang terjadi adalah perpindahan lentur. Grafik tersebut digunakan untuk menganalisis dan mengontrol perilaku hasil eksperimen dengan hasil perhitungan analitis.



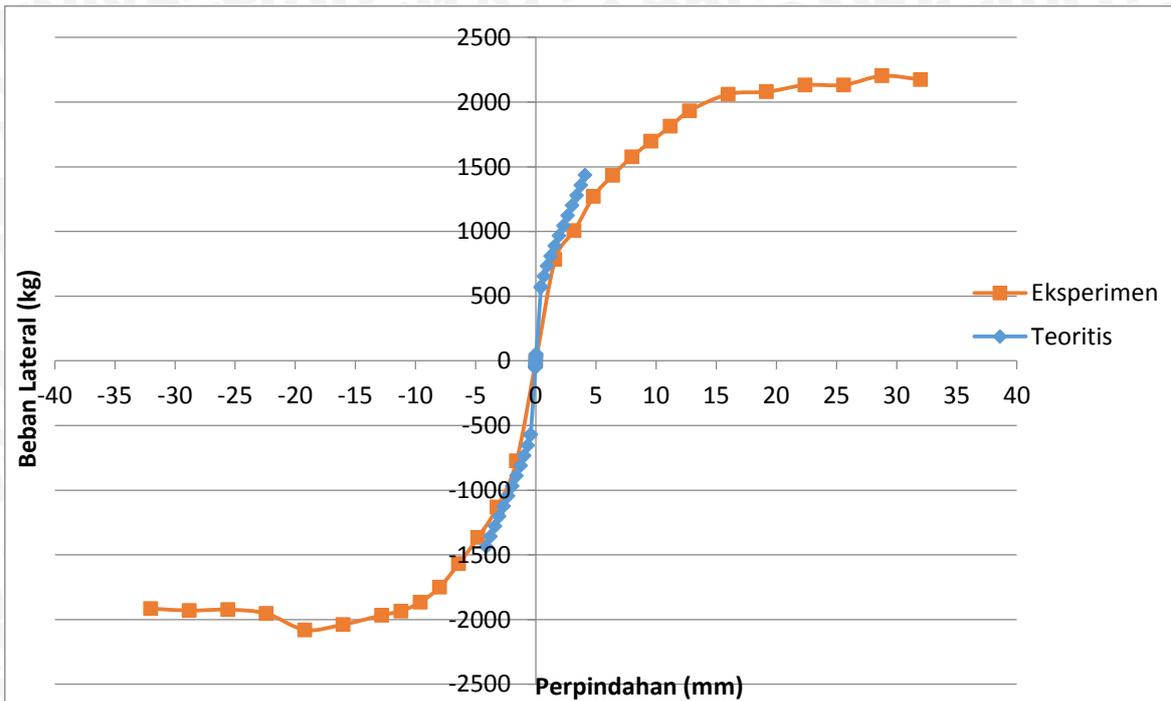
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Eksperimen dan Teoritis L15C
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada gambar, dapat dilihat bahwa grafik eksperimen beban-perpindahan dari hasil pengujian yang terjadi, sebelum beban maksimum tercapai, grafik pada kondisi positif (*push*) berhimpitan dengan grafik beban-perpindahan hasil perhitungan teoritis, begitu juga dengan kondisi negatif (*pull*). Maka disimpulkan bahwa saat sebelum beban puncak, spesimen L15 terkontrol dengan baik sesuai hasil perhitungan teoritis.



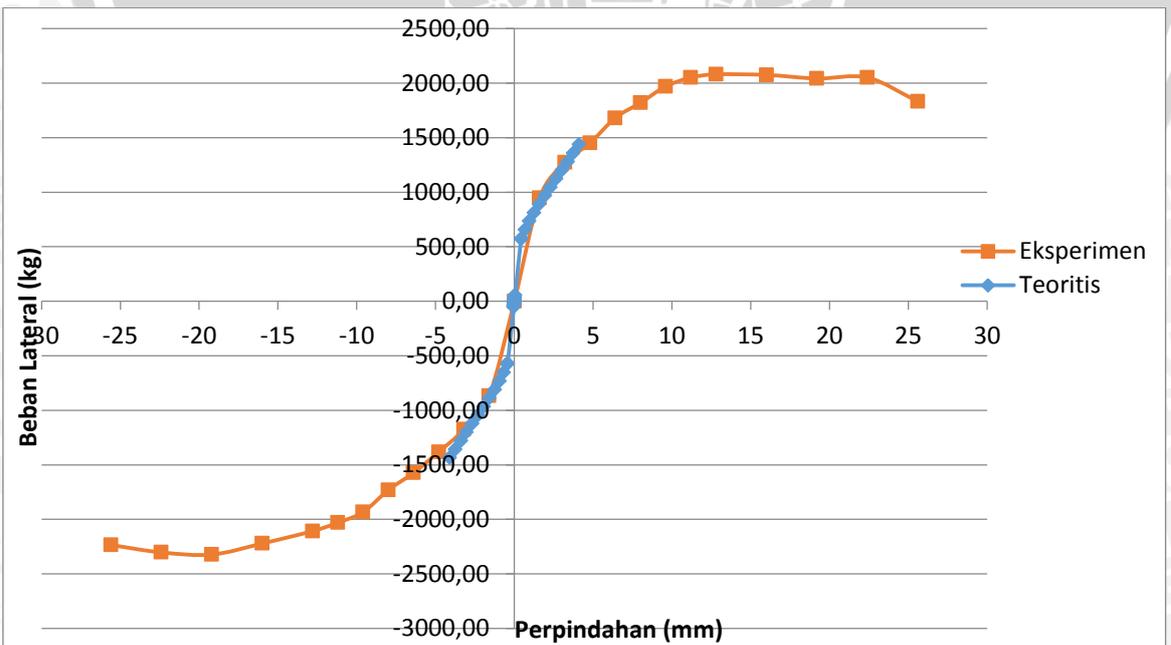
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Eksperimen dan teoritis L25C
 Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada gambar, dapat dilihat bahwa grafik beban-perpindahan eksperimen dari hasil pengujian yang terjadi, sebelum beban maksimum tercapai, grafik pada kondisi positif (*push*) pada awal pembebanan grafik tidak berhimpitan dengan grafik beban-perpindahan hasil perhitungan teoritis, namun setelah itu bisa dilihat grafik beban-perpindahan eksperimen mulai berhimpit dengan grafik hasil perhitungan secara teoritis begitu pula dengan pada kondisi (*pull*). Maka disimpulkan bahwa saat sebelum beban puncak, spesimen L25 masih terkontrol dengan baik sesuai hasil perhitungan teoritis.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Eksperimen dan Teoritis M15C
 Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada gambar, dapat dilihat bahwa grafik beban-perpindahan eksperimen dari hasil pengujian yang terjadi, sebelum beban maksimum tercapai, grafik pada kondisi positif (*push*) berhimpitan dengan grafik beban-perpindahan hasil perhitungan teoritis, begitu juga dengan kondisi negatif (*pull*). Maka disimpulkan bahwa saat sebelum beban puncak, spesimen L15 terkontrol dengan baik sesuai hasil perhitungan teoritis.

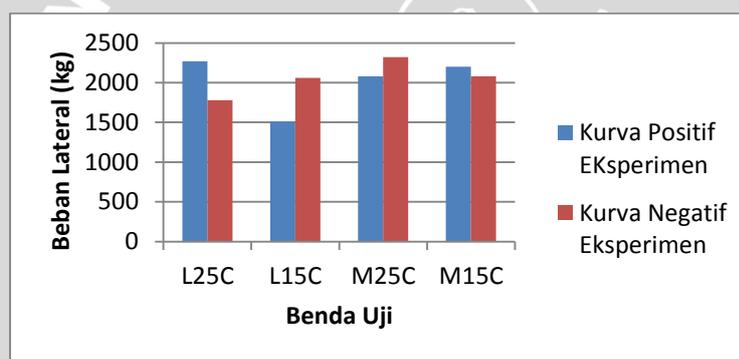


Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Eksperimen dan Teoritis M15C
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Pada gambar, dapat dilihat bahwa grafik beban-perpindahan eksperimen dari hasil pengujian yang terjadi, sebelum beban maksimum tercapai, grafik pada kondisi positif (*push*) dan kondisi negatif (*pull*) pada awalnya grafik cukup berhimpit dengan grafik beban-perpindahan hasil perhitungan teoritis. Namun mendekati beban maksimum, grafik berhimpit. Maka disimpulkan bahwa saat sebelum beban puncak, spesimen M15 masih terkontrol dengan baik sesuai hasil perhitungan teoritis.

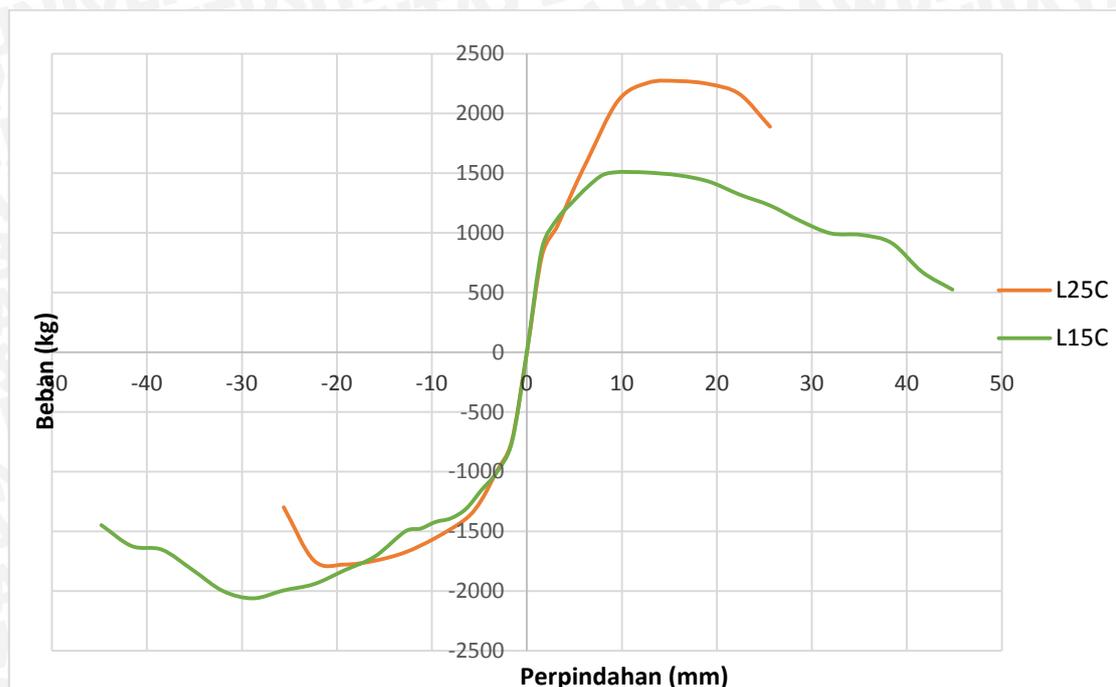
4.6.2 Analisa Hasil Eksperimen Benda Uji Terhadap Beban Lateral Siklik

Dari hasil pengujian laboratorium terhadap kekuatan kolom beton bertulang didapatkan grafik hubungan antara beban dan lendutan, sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Hasil Eksperimen
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Berikut akan di bahas perbandingan masing-masing spesimen :



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral dan Perpindahan Spesimen L15C dan L25C

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.10 Perbandingan Spesimen L15C dan L25C

	L25	L15
P Maksimum + (kg)	2270,5	1508,5
Perpindahan saat maksimum	16	9,6
P Maksimum – (kg)	1778,5	2061,25
Perpindahan saat maksimum (mm)	19,2	28,8

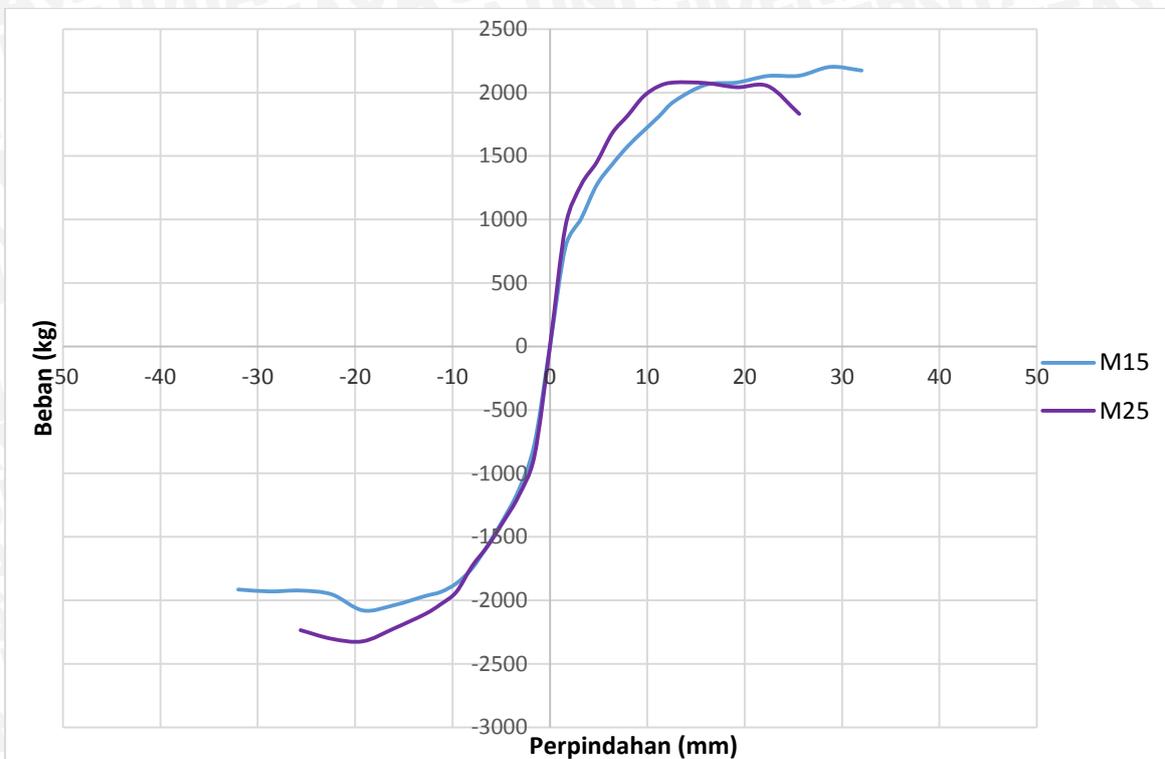
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Kapasitas beban lateral untuk kolom dengan sengkang lebih rapat untuk kondisi negative (*pull*) lebih tinggi dibandingkan bila jarak sengkang lebih renggang, Beban lateral maksimum yang dapat ditahan oleh kolom L15C adalah 2061,25 kg sedangkan beban lateral maksimum pada kolom L25C lebih rendah, yaitu 1778,5 kg

Hasil eksperimen ini sudah sesuai teori, dimana semakin rapat jarak sengkang maka kekangan yang dimiliki oleh kolom juga akan lebih tinggi. Sehingga kolom dapat menahan beban lateral yang lebih tinggi pula.

Namun, hasil yang berbeda terlihat pada kondisi positif (*push*) dimana untuk kolom dengan sengkang lebih renggang kapasitas kolom lebih tinggi. Terdapat kemungkinan bahwa pada kondisi *push* terjadi lonjakan beban lateral diakibatkan kolom tambahan pada *frame* pengujian yang belum kaku. Kolom tambahan tidak terikat secara kaku di *frame*

pengujian, akibatnya ketika *hidraulik jack* menekan kolom spesimen uji, kolom tambahn pada *frame* ikut menggeser, berakibat pada beban lateral yang lebih besar daripada yang seharusnya.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral dan Perpindahan Spesimen M15C dan M25C

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.11 Perbandingan Spesimen M15C dan M25C

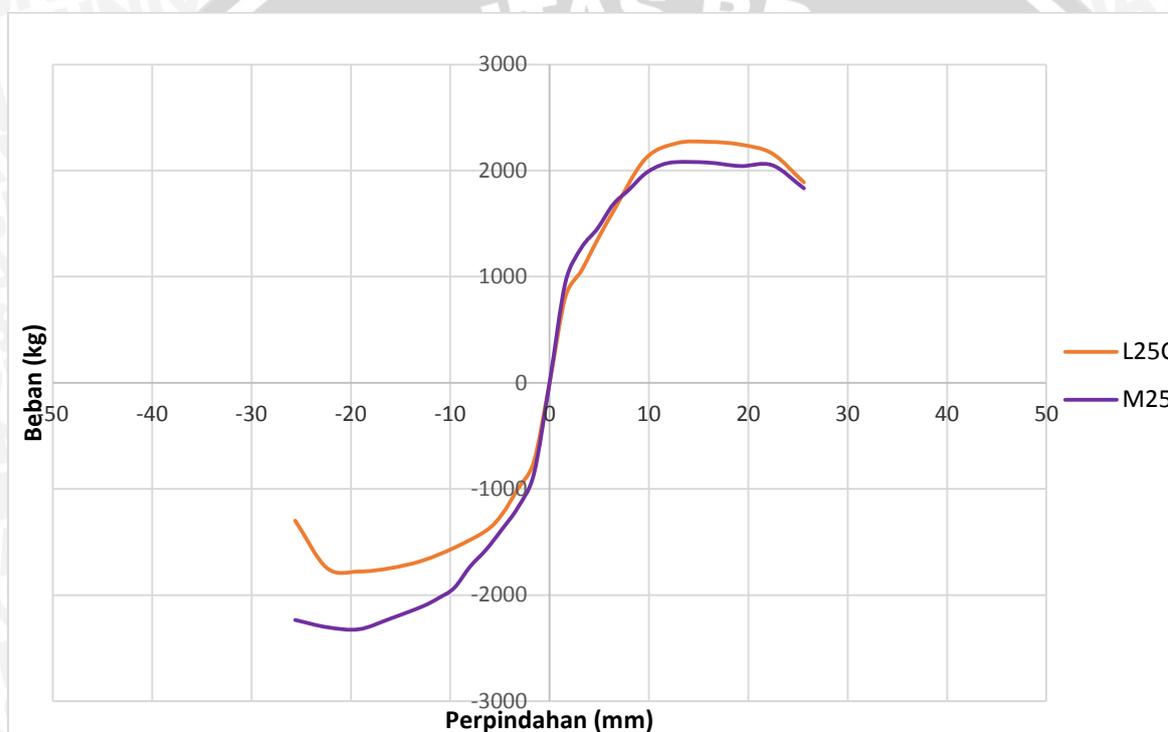
	M25	M15
P Maksimum + (kg)	2080	2202,5
Perpindahan saat maksimum(mm)	12,8	28,8
P Maksimum – (kg)	2322,5	2079,5
Perpindahan saat maksimum(mm)	19,2	19,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Grafik diatas merupakan perbandingan antara perilaku beban lateral-perpindahan antara kolom M15C dengan kolom M25C. Pada kondisi positif (*push*), spesimen M15 memiliki kapasitas beban lateral yang lebih besar dari spesimen M25, yaitu sebesar 2202,5

kg dan 2080 kg. Sedangkan pada kondisi negatif (*pull*), yang terjadi adalah sebaliknya dimana spesimen M25C memiliki kapasitas beban lateral yang lebih besar.

Sebenarnya bila dilihat, kapasitas beban maksimum pada kedua spesimen tidak memiliki selisih yang jauh. Dianalisa bahwa pada spesimen dengan rasio tulangan longitudinal lebih tinggi, jarak sengkang tidak begitu mempengaruhi kapasitas beban lateral yang dapat ditahan oleh kolom. Dibandingkan dengan spesimen kolom dengan rasio tulangan longitudinal yang lebih rendah (L15C dan L25C) dimana parameter jarak sengkang memberikan pengaruh yang lebih besar.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral dan Perpindahan Spesimen L25C dan M25C

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

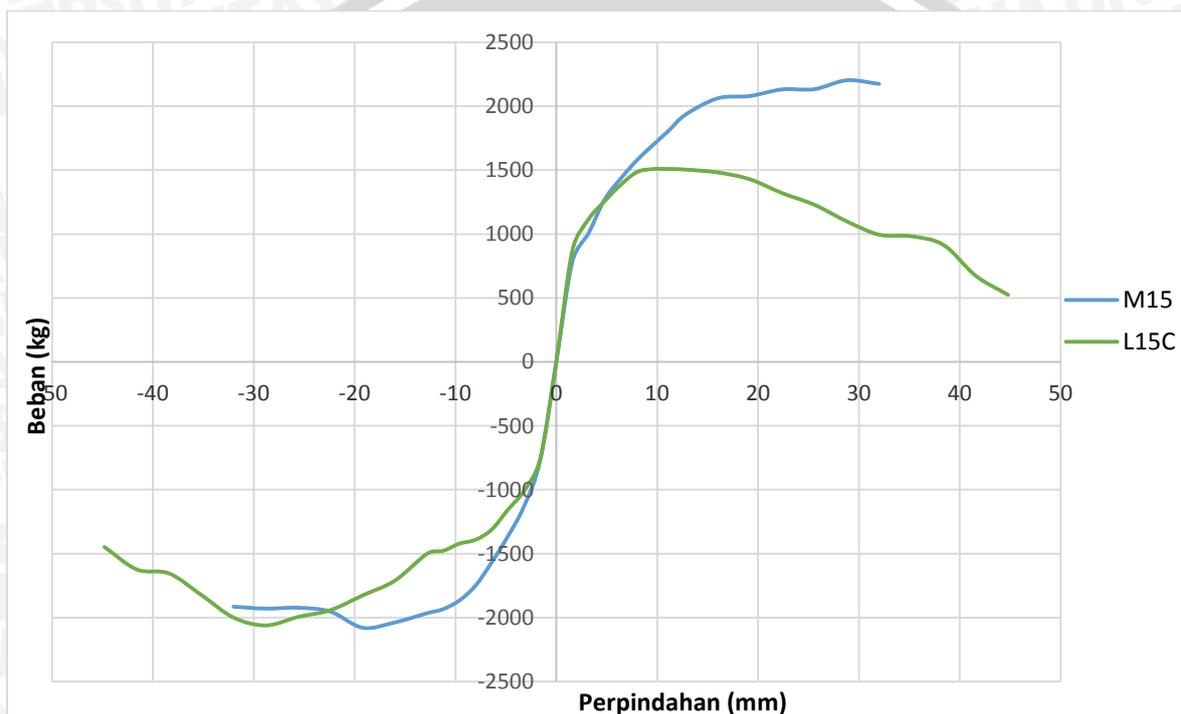
Tabel 4.12 Perbandingan Spesimen L25C dan M25C

	L25	M25
P Maksimum + (kg)	2270,5	2080
Perpindahan saat maksimum (mm)	16	12,8
P Maksimum – (kg)	1778,5	2322,5
Perpindahan saat maksimum (mm)	19,2	19,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Secara teoritis, kolom dengan rasio tulangan longitudinal lebih besar akan memiliki kapasitas beban lateral yang lebih tinggi, karena semakin tinggi rasio tulangan longitudinal maka kapasitas momen kolom akan semakin besar pula. Teori ini terbukti pada hasil

eksperimental spesimen kolom pada kondisi negative dimana spesimen M25 ($\rho = 1.1\%$) memiliki kapasitas beban yang lebih tinggi dibandingkan spesimen L25 ($\rho = 0.8\%$). Namun pada kondisi positif, kapasitas beban pada kedua spesimen kolom hanya berselisih sedikit dan kapasitas beban kolom L25C cenderung lebih tinggi. Seperti penjelasan sebelumnya, hasil ini diindikasikan akibat kolom tambahan pada *frame* yang belum kaku sehingga ikut tergeser saat beban lateral diberikan.



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral dan Perpindahan Spesimen L25C dan M25C

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Tabel 4.13 Perbandingan Spesimen L15C dan M15C

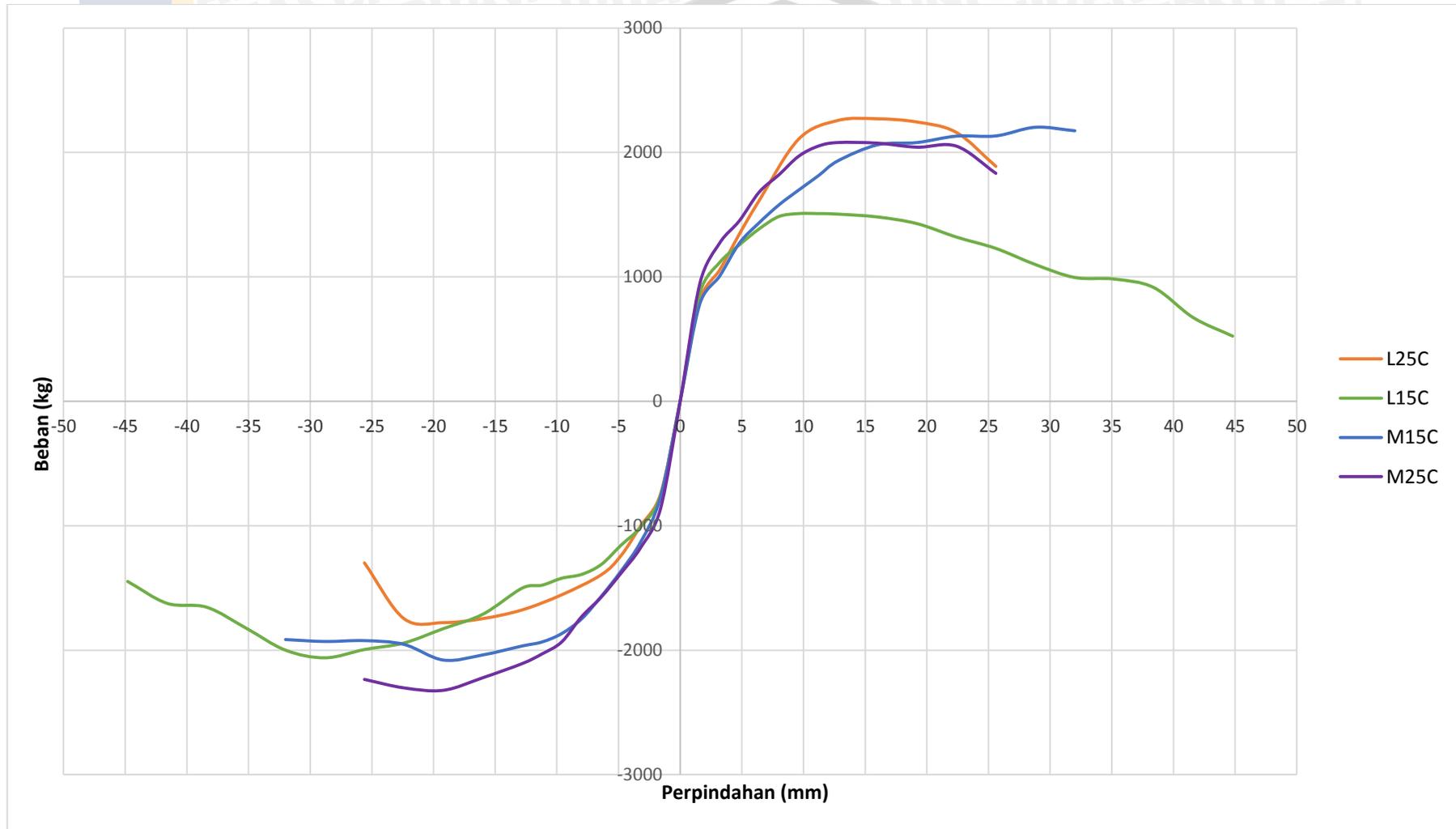
	L15	M15
P Maksimum + (kg)	1508,5	2202,5
Perpindahan saat maksimum (mm)	9,6	28,8
P Maksimum - (kg)	2061,25	2079,5
Perpindahan saat maksimum (mm)	28,8	19,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Begitu pula dengan perbandingan kapasitas beban antara spesimen kolom M15C dengan L25C. Hasil eksperimental telah sesuai dengan teori, dimana kolom dengan rasio

tulangan longitudinal yang lebih tinggi akan memiliki kapasitas beban yang lebih tinggi pula.





Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Hubungan Beban Lateral dan Perpindahan Antar Spesimen

Tabel 4.14 Rekapitulasi Perbandingan

	L25C	L15C	M25C	M15C
P Maksimum positif (kg)	2270,5	1508,5	2080	2202,5
Perpindahan saat maksimum (mm)	16	9,6	12,8	28,8
P Maksimum negatif (kg)	1778,5	2061,25	2322,5	2079,5
Perpindahan saat maksimum (mm)	19,2	28,8	19,2	19,2

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari penjelasan dan hasil perhitungan diatas dapat terlihat bahwa benda uji kolom dengan $\rho = 1.1\%$ (M15 dan M25) dapat menahan beban pada saat kondisi positif (*push*) ataupun kondisi negatif (*pull*) lebih besar daripada benda uji dengan $\rho = 0,8\%$ (L15 dan L25) walaupun pada hasil eksperimen benda uji L25 saat kondisi positif mendapat hasil beban paling besar namun itu terjadi karena *frame* pada bagian itu kurang kaku pada saat pengujian mengakibatkan *frame* bergeser dan beban naik. Dengan melihat pada kondisi negatif (*pull*), terlihat dengan rasio yang sama, spesimen dengan sengkang lebih rapat (L15C) dapat menahan beban lateral lebih besar dari spesimen dengan sengkang lebih renggang. Disimpulkan pada $\rho = 0,8\%$, jarak sengkang mempengaruhi kekuatan dari inti beton sehingga dapat membuat kolom dapat bertahan menuju beban puncaknya dengan perpindahan pada saat beban maksimum lebih panjang.

Untuk spesimen dengan $\rho = 1.1\%$ (M15 dan M25), terlihat tidak jauh berbeda kekuatan masing-masing kolom dalam menahan beban lateral. Sehingga dapat disimpulkan pada kolom dengan $\rho = 1.1\%$, jarak sengkang tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan kolom menahan beban lateral. Namun, kolom dengan jarak sengkang lebih rapat (L15C), dapat bertahan dengan perpindahan yang lebih jauh daripada kolom dengan jarak sengkang lebih renggang (L25).



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban lateral aktual yang dapat di tahan oleh kolom antara lain benda Uji L25C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-250$) dapat menahan 2270,5 kg saat kondisi *push* dan 1778,5 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji L15C ($\rho = 0.8\%$; $\varnothing 6-150$) dapat menahan 1508,5 kg saat kondisi *push* dan 2061,25 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji M25C dapat menahan 2080 kg ($\rho = 1,1\%$; $\varnothing 6-250$) saat kondisi *push* dan 2322,5 kg pada kondisi *pull*. Benda Uji M15C dapat menahan 2202,5 kg ($\rho = 1,1\%$; $\varnothing 6-150$) saat kondisi *push* dan 2079,5 kg pada kondisi *pull*.
2. Kolom dengan $\rho = 1.1\%$ yaitu Spesimen M15C dan M25C dapat menahan beban lateral lebih besar dibanding dengan kolom dengan $\rho = 0,8\%$ dikarenakan kapasitas momen yang dimiliki lebih besar.
3. Untuk kolom dengan $\rho = 0,8\%$, variasi jarak sengkang berpengaruh terhadap kekuatan kolom menahan beban lateral terlihat dengan kolom L15C dapat menahan beban lebih besar daripada L25C tanpa melihat kondisi positif (*push*). Sedangkan untuk kolom dengan $\rho = 1,1\%$, variasi jarak sengkang 15 cm dan 25 cm tidak berpengaruh secara signifikan namun berpengaruh pada perilaku kolom dalam mencapai perpindahan yang lebih panjang pada beban maksimumnya apabila jarang sengkang lebih rapat.

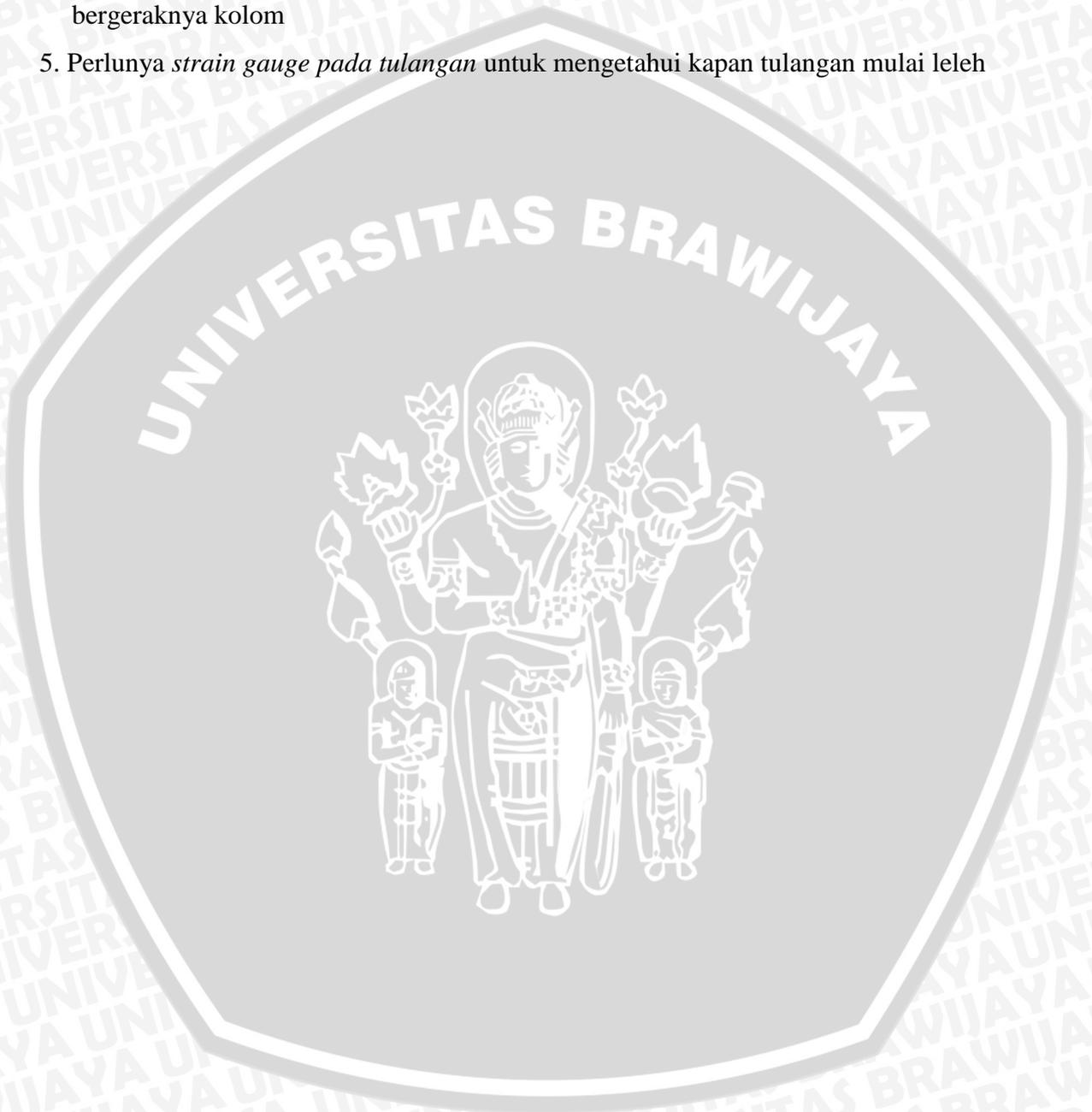
Dari tiga poin diatas, dapat disimpulkan pada kolom bertulangan ringan, rasio tulangan punya pengaruh untuk menaikkan kapasitas beban lateral namun sengkang tidak.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini peneliti menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya, peneliti memberikan saran sebagai berikut:

1. Perhatikan proses pencampuran semen, air, pasir, dan kerikil sehingga mendapatkan hasil sesuai yang direncanakan.

2. Kekakuan *frame* pengujian harus diperhatikan agar pemberian pembebanan pada benda uji kolom tidak terganggu.
3. Perlu diperhatikan stabilitas dari pemberian beban aksial pada benda uji kolom agar hasil yang didapatkan lebih baik.
4. Sebaiknya dibuat rol pada hidraulik jack agar beban aksial dapat mengikuti arah Bergeraknya kolom
5. Perlunya *strain gauge pada tulangan* untuk mengetahui kapan tulangan mulai leleh



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

