

PENGARUH VARIASI JARAK SENGGANG DAN RASIO TULANGAN LONGITUDINAL TERHADAP MEKANISME DAN POLA RETAK KOLOM BERTULANGAN RINGAN AKIBAT BEBAN SIKLIK

Ari Wibowo¹, Sugeng P. Budio¹, Siti Nurlina¹, Eva Arifi¹, Dufanti Ayu W.²

¹Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

² Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Korespondensi: ariwibowo@ub.ac.id

ABSTRAK

Kolom merupakan struktur batang tekan vertikal yang memiliki fungsi utama sebagai penyalur beban-beban bangunan dari atas hingga ke pondasi. Di Indonesia, masih sering dijumpai bangunan tua dan rumah tinggal yang memiliki rasio tulangan longitudinal kurang dari 1% atau biasa dikenal dengan kolom bertulangan ringan. Kolom bertulangan ringan dipercaya memiliki performa yang buruk dalam menahan gempa, padahal di beberapa kasus yang ditemui di banyak negara, kolom bertulangan ringan cukup mampu bertahan terhadap gempa. Di sisi lain jarak sengkang merupakan salah satu aspek konstruksi yang penting pada kolom. Oleh karena itu, perlu penelitian lebih lanjut tentang jarak sengkang dan rasio tulangan longitudinal. Penelitian ini membahas tentang pengaruh jarak sengkang dan rasio tulangan longitudinal terhadap kolom bertulangan ringan akibat beban siklik. 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 sengkang (15 cm dan 25 cm). Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial konstan sebesar 0.1 Pu dan beban siklik hingga kolom melewati keruntuhan beban lateral dengan metode displacement control. Data berupa beban dan perpindahan setiap siklusnya dicatat untuk analisis mekanisme retak. Sedangkan gambar diambil sebagai acuan pola retak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme yang terjadi pada keempat spesimen kolom adalah sama, dimana terjadi retak lentur pada pembeban awal. Keruntuhan lateral terjadi pada drift yang hampir sama pada spesimen dengan rasio tulangan yang sama. Sehingga variasi jarak sengkang tidak begitu berpengaruh pada mekanisme retak kolom tersebut. Adapun besarnya beban saat retak untuk masing-masing spesimen L15C, L25C, M15C, dan M25C berurutan adalah sebesar 1127 kg, 1062 kg, 1008,5, dan 937 kg. Pola retak yang terjadi pada keempat spesimen adalah sama, yang diawali dengan retak lentur dan kemudian dilanjutkan dengan retak geser. Jarak sengkang yang lebih rapat (15 cm) akan menghasilkan jarak retak yang lebih rapat daripada sengkang dengan jarak yang lebih renggang (25 cm).

Kata Kunci : Kolom, ringan, sengkang, rasio tulangan, beban, retak

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan dunia konstruksi di Indonesia semakin meningkat, pembangunan infrastruktur seperti jembatan, jalan raya dan gedung bertingkat banyak dilakukan. Tidak kalah menarik adalah semakin banyaknya pembangunan perumahan rumah tinggal dari tipe sederhana hingga berukuran besar.

Kebanyakan perumahan tempat tinggal tersebut dibangun oleh tukang dengan pendidikan tentang struktur yang tidak mendalam dan tidak mengacu pada peraturan konstruksi.

Indonesia yang terletak di antara lempeng Indo-Australia, Pasifik, dan Eurasia menyebabkan banyak daerahnya

yang berpotensi gempa. Oleh karena itu dalam perencanaan pembangunan harus didesain tahan terhadap gempa. 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. Kenyataan di lapangan masih banyak kolom dengan rasio di bawah 0,01 kali luas penampang atau bisa disebut kolom bertulangan ringan.

Kolom bertulangan ringan dianggap memiliki kapasitas dan daktilitas yang rendah. Penelitian terdahulu oleh Otani (1999), Luzon (1990), dan Kobe (1995) menunjukkan rata-rata kegagalan bangunan beton bertulangan ringan sangatlah rendah. Kegagalan yang terjadi pada kolom dan dinding struktural didominasi kerusakan operasional akibat lentur dan retak pada dinding non struktural.

Penggunaan kolom bertulangan ringan di Indonesia masih sangat banyak dijumpai, khususnya untuk bangunan seperti rumah tempat tinggal. Sedangkan kolom bertulangan ringan dipercaya memiliki kapasitas beban lateral dan simpangan yang rendah. Oleh karena itu penelitian tentang perilaku kolom bertulangan ringan dengan variasi jarak sengkang dan rasio tulangan longitudinal akibat gempa sangat perlu dilakukan. Perilaku tersebut dapat terlihat dari mekanisme dan pola retak yang diberikan oleh kolom. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang dan rasio tulangan longitudinal terhadap mekanisme dan pola retak kolom bertulangan ringan akibat beban siklik.

Untuk menganalisis besarnya beban dan momen yang terjadi pada tahapan keruntuhan beton bertulang, dapat dihitung menggunakan momen kapasitas yang terdiri dari momen retak, momen leleh, dan momen ultimit.

1. Momen Retak

$$M_{retak} = \frac{f_r \times I_g}{Y_b} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_r = 0,6 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{beton} = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{max} = \frac{M_{retak}}{l_n} \dots\dots\dots (4)$$

2. Momen Leleh

$$M_y = \frac{A_s \times f_y \left(d - \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' c b} \right)}{M_{leleh}} \dots\dots (5)$$

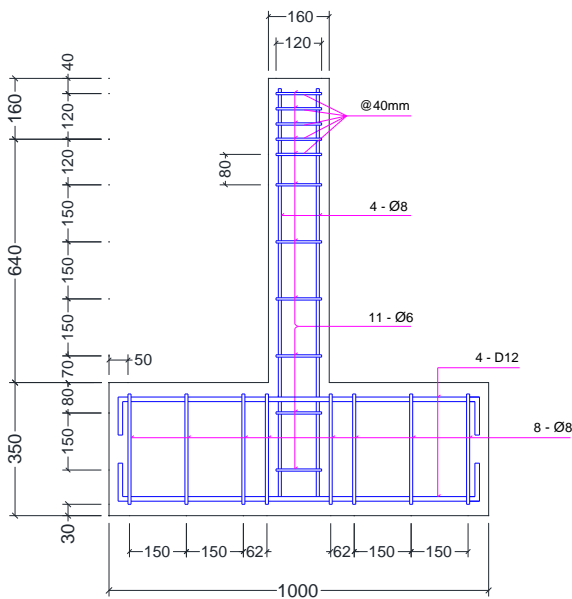
$$Q_{leleh} = \frac{M_{leleh}}{\text{Panjang bersih kolom}} \dots\dots (6)$$

3. Momen Ultimit

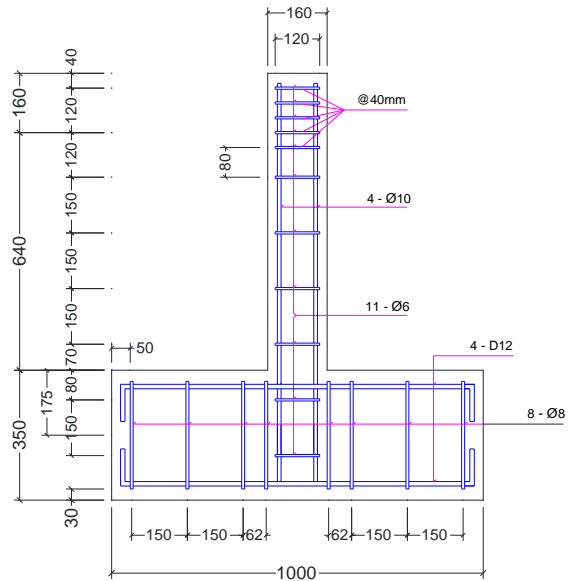
$$M_u = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_s' \cdot s (d - d') \quad (7)$$

2. METODOLOGI PENELITIAN

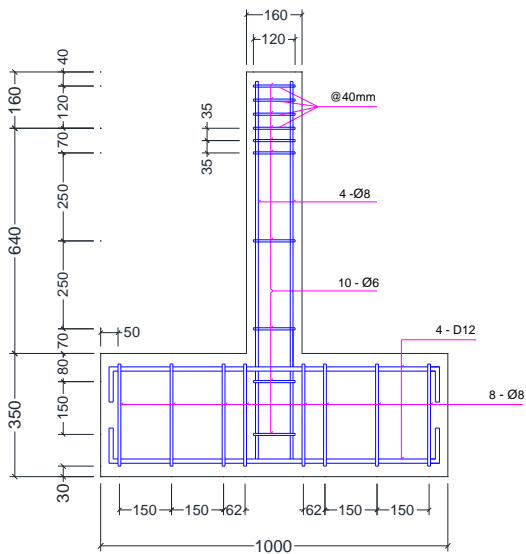
Penelitian mengenai “Pengaruh Variasi Jarak Sengkang dan Rasio Tulangan Longitudinal terhadap Mekanisme dan Pola Retak Kolom Bertulangan Ringan akibat Beban Siklik” ini termasuk dalam penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Penelitian dimulai dari perencanaan benda uji kolom hingga pengujian bahan penyusun kolom yang berupa beton serta baja tulangan dan pengujian siklik dengan hasil berupa hubungan beban – perpindahan. Mekanisme retak didapatkan melalui pembacaan hasil eksperimental melalui hubungan beban – perpindahan. Sedangkan pola dan panjang retak didapatkan melalui pengamatan visual melalui foto dokumentasi penelitian.



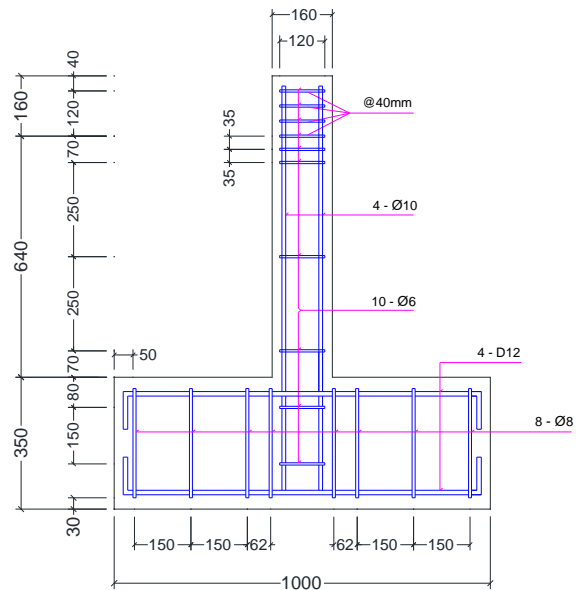
Gambar 1. Benda uji L15C



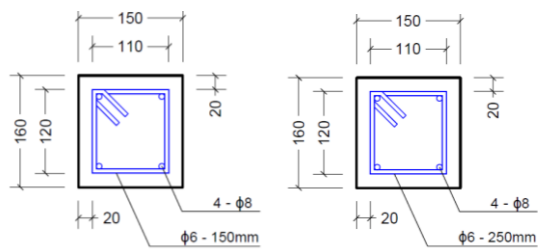
Gambar 4. Benda uji M15C



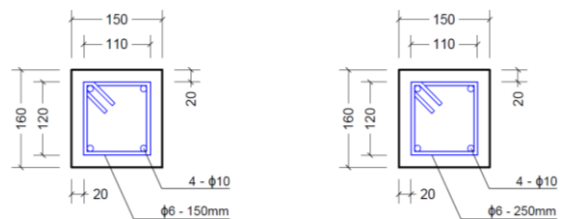
Gambar 2. Benda uji L25C



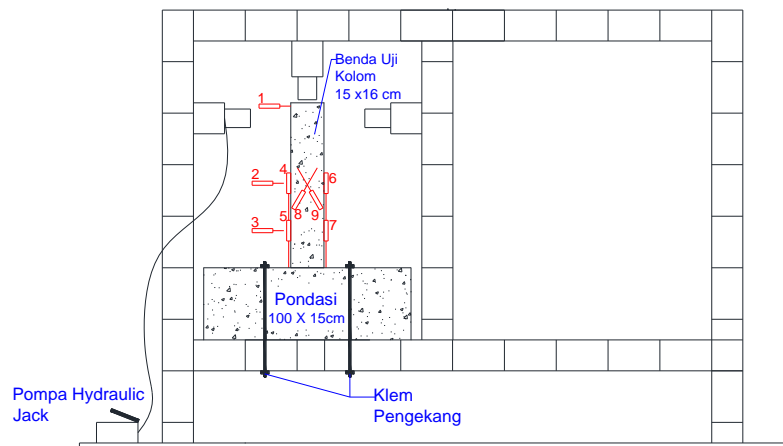
Gambar 5. Benda uji M25C



Gambar 3. Detail benda uji L15C (kiri) dan L25C (kanan)



Gambar 6. Detail benda uji M15C (kiri) dan M25C (kanan)



Gambar 7. Setting alat uji

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Properti Bahan

Nilai mutu beton kolom yang digunakan untuk analisis selanjutnya berasal dari pengujian hammer test secara manual. Nilai mutu beton untuk spesimen L15C, L25C, M15C, M25C berturut-turut sebesar 23,60 MPa; 25,84 MPa; 23,60 MPa; dan 23,73 MPa. Hal tersebut dilakukan karena nilai yang didapatkan dari pengujian tersebut paling mendekati dengan keadaan asli kolom.

Tabel 2. Hasil uji tekan beton

Nama Spesimen	Uji Silinder (MPa)	Hammer Test	
		Digital (MPa)	Manual (MPa)
L15C	18,73	21,50	23,60
L25C	24,45	31,50	25,84
M15C	25,35	19,00	23,60
M25C	20,09	19,00	23,73

Tabel 3. Hasil uji tarik

No. Tulangan	Diameter	Diameter		P (N)	fy (Mpa)	
		Aktual (mm ²)	A (mm ²)			
4	Ø6	5,92	27,53	10359,6	376,36	
					fy	376,36
3	Ø8	7,61	45,48	20000,1	439,72	
2	Ø8	7,61	45,48	20523,5	451,22	
1	Ø8	7,61	45,48	20000,1	439,72	
					fy	443,55
3	Ø10	9,15	65,76	35803,5	544,49	
2	Ø10	9,15	65,76	35476,6	539,52	
1	Ø10	9,15	65,76	36034,7	548,01	
					fy	544,01

3.2 Kekuatan 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 masing-masing spesimen. Nilai mutu beton untuk spesimen L15C, L25C, M15C, M25C berturut-turut sebesar 23,60 MPa; 25,84 MPa; 23,60 MPa; dan 23,73 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 3**.

Tabel 3. Hasil perhitungan kolom teoritis

Kolom	0,1 Pu (kg)	Ph (kg)	Mn (kgm)
L15C	5584,24	1366,21	874,37
L25C	6037,81	1418,60	907,91
M15C	6191,86	1981,83	1268,37
M25C	6218,13	1984,98	1270,39

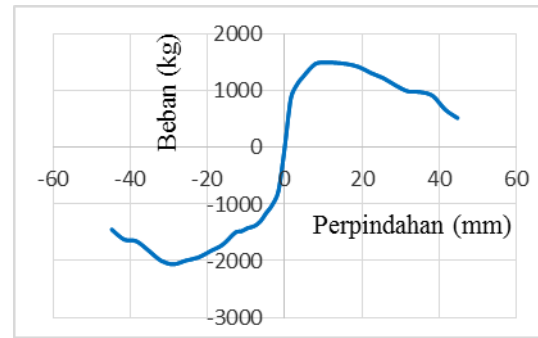
3.3 Mekanisme Retak Kolom

Perilaku keruntuhan kolom beton bertulang yang akan dibahas adalah saat kolom belum mengalami retak (elastis penuh), saat mulai retak (tegangan elastis), dan saat mencapai beban ultimit. Dalam hal ini mekanisme dalam ketiga tahapan tersebut akan dibedakan berdasarkan analisis teoritis dan pengamatan visual.

1. Spesimen L15C

Spesimen L15C dengan rasio tulangan longitudinal sebesar 0,8% dan jarak sengkang 15 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan kontrol *drift* dengan penambahan *drift* sebesar 0,25% hingga mencapai 2% drift. Setelah mencapai drift 2%, dilakukan penambahan sebesar 0,5% untuk tiap siklusnya.

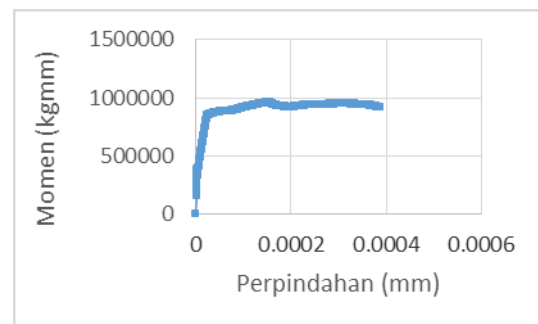
- Fase Retak
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_{cr} sebesar 353.080,4 kgmm dan P_{cr} sebesar 551,69 kg. Dari hasil eksperimen didapatkan P_{cr} sebesar 1127 kg dan M_{cr} sebesar 721.280 kgmm. Sedangkan untuk hasil numerik didapatkan hasil M_{cr} sebesar 389.328,1 kgmm dan P_{cr} sebesar 608,33 kg.
- Fase Puncak (Momen Ultimit)
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_u sebesar 874.374,11 kgmm dan P_{cr} sebesar 1366,21 kg.



Gambar 8. Grafik perbandingan beban - perpindahan

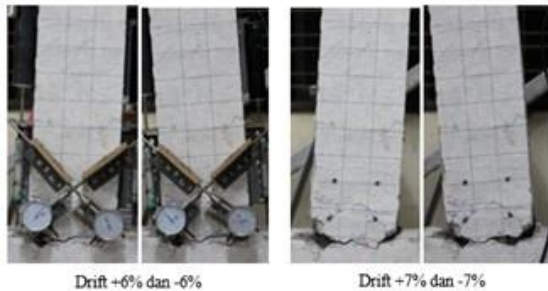
Dari **Gambar 8** grafik perbandingan beban dan *displacement* secara *eksperimental* didapat besarnya beban ultimit dari kolom sebesar 1508,5 kg untuk bagian positif (*push*) dan 2061,25 kg untuk bagian negatif (*pull*). Dari nilai beban tersebut dapat didapatkan besarnya momen ultimit dengan cara mengalikan beban maksimum dengan jarak beban yang diberikan dari dasar kolom, sebesar 640 mm. Sehingga didapatkan hasil sebesar 965.440 kgmm untuk bagian positif (*push*) dan 1.319.200 kgmm untuk bagian negatif (*pull*).

Dari **Gambar 9** perbandingan beban dan perpindahan menggunakan pendekatan numerik didapatkan besarnya momen ultimit sebesar 959.015,5 kgmm. Untuk mendapatkan beban ultimit, besarnya momen tersebut dibagi dengan tinggi kolom sepanjang 640 mm.



Gambar 9. Perbandingan momen-perpindahan dengan pendekatan numerik

- Pengamatan Eksperimental



Gambar 10. Tahapan mekanisme retak

Gambar 10 menunjukkan mekanisme retak yang terjadi pada kolom per penambahan drift. Pada siklus pembebanan yang kedua, dengan drift sebesar 0,5% mulai terjadi retak awal pada bagian dasar kolom dengan pondasi dan sekitar 6,5 cm dari dasar kolom dengan pondasi. Retak ini berupa retak lentur dengan arah mendatar. Retak awal ini terjadi pada sisi tarik dengan beban 1127 kg. Pada siklus ketiga, dengan rasio lateral *drift* sebesar 0,75% untuk push (+) terjadi retak baru pada jarak sekitar 21 cm dari dasar kolom dengan pondasi. Retak yang terjadi merupakan retak lentur dengan pencatatan beban sebesar 1277,5 kg. Beban ultimit dicapai pada siklus ke tujuh, rasio drift 1,75% (+) dengan beban sebesar 1508,5 kg dan perpindahan sebesar 11,2 mm. Sedangkan untuk bagian *pull* (-) beban ultimit dicapai pada siklus ke 13, rasio drift 4,5% dengan beban 2061,25 kg dan perpindahan sebesar 28,8 mm. *Gap opening* terjadi pada siklus ke 10, dengan drift sebesar 3%. Beban yang dicapai pada siklus tersebut sebesar 1428 kg (+) dan 1826,5 kg (-). Pada siklus terakhir, dengan rasio drift 7% nampak retak geser yang terjadi pada kolom. Pengujian dihentikan karena *roll* pada bagian atas beban aksial tidak berjalan dengan semestinya.

2. Spesimen L25C

Spesimen L25C dengan rasio tulangan longitudinal sebesar 0,8% dan jarak sengkang 25 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan kontrol drift dengan penambahan drift sebesar 0,25% hingga mencapai 1% drift. Setelah mencapai drift 1%, dilakukan penambahan sebesar 0,5% untuk tiap siklusnya.

- Fase Retak

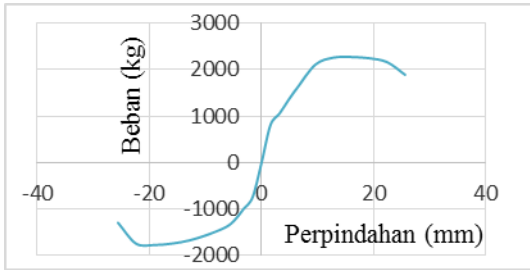
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_{cr} sebesar 361.365,7 kgmm dan P_{cr} sebesar 564,63 kg. Dari hasil eksperimen didapatkan P_{cr} sebesar 1062 kg dan M_{cr} sebesar 679.680 kgmm. Sedangkan untuk hasil numerik didapatkan hasil M_{cr} sebesar 415.087,2 kgmm dan P_{cr} sebesar 648,57 kg.

- Fase Puncak (Momen Ultimit)

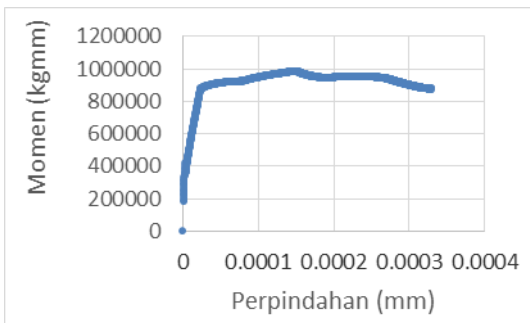
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_u sebesar 907.906,17 kgm dan P_u sebesar 1418,6 kg.

Dari **Gambar 11** perbandingan beban dan displacement didapat besarnya beban ultimit dari kolom sebesar 2270,5 untuk bagian positif dan 1778,5 untuk bagian negatif. Didapatkan besarnya momen ultimit dengan mengalikan beban maksimum dengan jarak beban yang diberikan dari dasar kolom. Sehingga momen ultimit dari kolom sebesar 1.453.120 kgmm untuk bagian positif dan 1.138.240 kgmm untuk bagian negatif.

Dari **Gambar 12** perbandingan momen dan perpindahan menggunakan pendekatan numerik didapatkan besarnya beban ultimit sebesar 1536 kg dan momen ultimit sebesar 983.085,2 kgmm.



Gambar 11. Grafik perbandingan beban - perpindahan



Gambar 12. Perbandingan momen - perpindahan dengan pendekatan numerik

- Pengamatan Eksperimental



Drift 4% dan -4% sisi depan dan belakang kolom

Gambar 13. Mekanisme retak

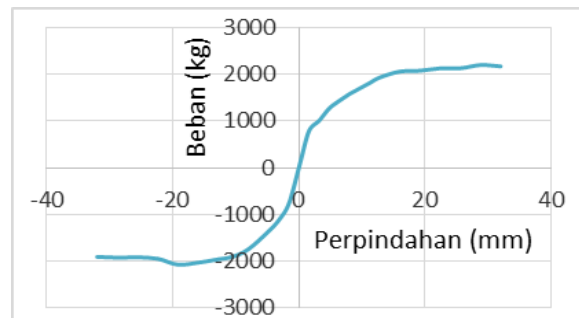
3. Spesimen M15C

Spesimen M15C dengan rasio tulangan longitudinal sebesar 1,1% dan jarak sengkang 15 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan kontrol drift dengan penambahan drift sebesar 0,25% hingga mencapai 2% drift. Setelah mencapai drift 2%, dilakukan penambahan sebesar 0,5% untuk tiap siklusnya.

- Fase Retak
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_{cr} sebesar 363.570,1 kgmm dan P_{cr} sebesar 568,08 kg. Dari

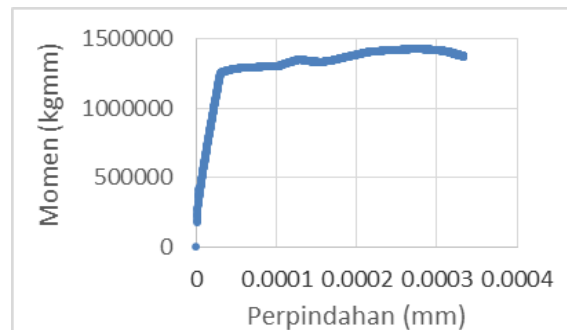
hasil ekperimental didapatkan P_{cr} sebesar 1008,5 kg dan M_{cr} sebesar 645.440 kgmm. Sedangkan untuk hasil numerik didapatkan hasil M_{cr} sebesar 414.556,8 kgmm dan P_{cr} sebesar 647,75 kg.

- Fase Puncak (Momen Ultimit)
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_u sebesar 1.268.373,44 kgmm dan P_{cr} sebesar 1981,83 kg.



Gambar 14. Grafik perbandingan beban - perpindahan

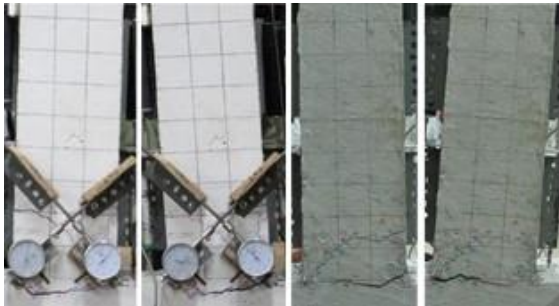
Dari **Gambar 14** perbandingan beban dan *displacement* didapat besarnya beban ultimit dari kolom sebesar 2202,5 untuk bagian positif dan 2079,5 untuk bagian negatif. Dari nilai beban tersebut dapat didapatkan besarnya momen ultimit dengan cara mengalikan beban maksimum dengan jarak beban yang diberikan dari dasar kolom, sebesar 640 mm. Sehingga besarnya momen ultimit dari kolom sebesar 1.409.600 kgmm untuk bagian positif dan 1.330.880 kgmm untuk bagian negatif.



Gambar 15. Perbandingan momen - perpindahan dengan pendekatan numerik

Dari gambar 15 grafik perbandingan beban dan perpindahan menggunakan pendekatan numerik didapatkan besarnya beban ultimit sebesar 2219,57 kg dan momen ultimit sebesar 1.420.523 kgmm.

- Pengamatan Eksperimental
Pengamatan eksperimental dapat dilihat pada **Gambar 16**.



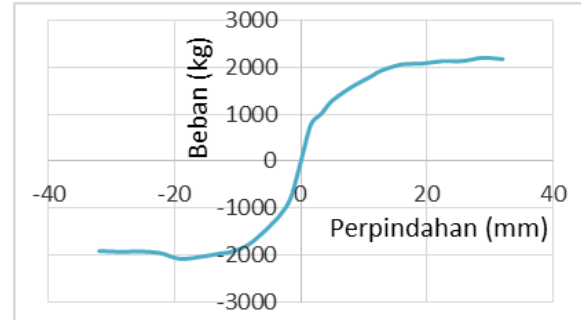
Drift +5% dan -5% sisi depan dan belakang kolom

Gambar 16. Mekanisme retak

4. Spesimen M25C

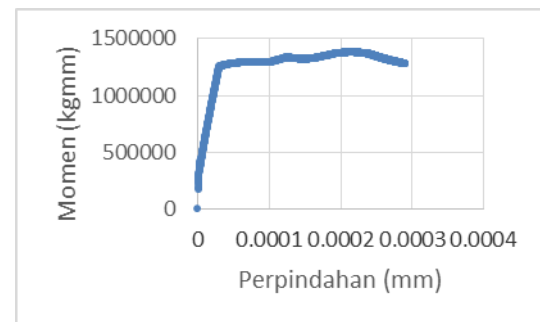
Spesimen M25C dengan rasio tulangan longitudinal sebesar 1,1% dan jarak sengkang 25 cm. Pengujian dilakukan berdasarkan kontrol drift dengan penambahan drift sebesar 0,25% hingga mencapai 2% drift. Setelah mencapai drift 2%, dilakukan penambahan sebesar 0,5% untuk tiap siklusnya.

- Fase Retak
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_{cr} sebesar 364.052,5 kgmm dan P_{cr} sebesar 568,83 kg. Dari hasil ekperimental didapatkan P_{cr} sebesar 937 kg dan M_{cr} sebesar 599.680 kgmm. Sedangkan untuk hasil numerik didapatkan hasil M_{cr} sebesar 415.101,9 kgmm dan P_{cr} sebesar 648,6 kg.
- Fase Puncak (Momen Ultimit)
Berdasarkan hasil analisis teoritis didapatkan M_u sebesar 1.270.387,02 kgmm dan P_u sebesar 1984,98 kg.



Gambar 17. Grafik perbandingan beban - perpindahan

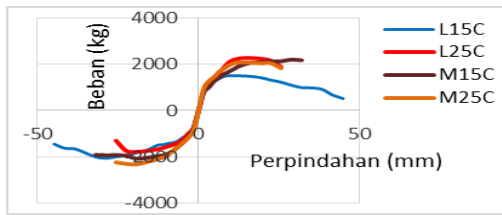
Dari **Gambar 17** perbandingan beban dan *displacement* didapat besarnya beban ultimit dari kolom sebesar 2080 untuk bagian positif dan 2322,5 untuk bagian negatif. Didapatkan besarnya momen ultimit dengan cara mengalikan beban maksimum dengan jarak beban yang diberikan dari dasar kolom, sebesar 640 mm. Sehingga momen ultimit sebesar 1.331.200 kgmm untuk bagian positif dan 1.486.400 kgmm untuk bagian negatif.



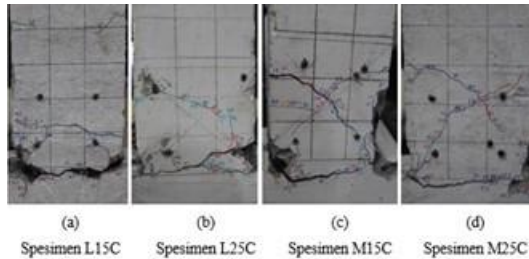
Gambar 18. Perbandingan momen - perpindahan dengan pendekatan numerik

Dari **Gambar 18** grafik perbandingan beban dan perpindahan menggunakan pendekatan numerik didapatkan besarnya beban ultimit sebesar 2151,68 kg dan momen ultimit sebesar 1.377.075 kgmm.

5. Spesimen Gabungan

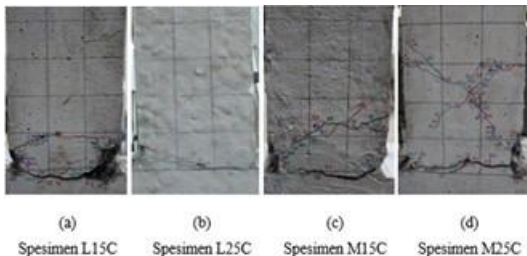


Gambar 19. Gabungan ke-4 spesimen



Gambar 20. (a) Pola retak akhir sisi depan spesimen L15C (b) spesimen L25C (c) spesimen M15C (d) akhir spesimen M25C

Pengaruh variasi jarak sengkang tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap kapasitas kolom. Adanya perbedaan rasio tulangan cukup memberikan pengaruh pada kapasitas kolom.



Gambar 21. (a) Pola retak akhir sisi belakang spesimen L15C (b) spesimen L25C (c) spesimen M15C (d) akhir spesimen M25C

Berdasarkan **Gambar 20** dan **Gambar 21** dapat kita simpulkan bahwa pola retak yang terjadi antara keempat spesimen adalah sama. Retak yang terjadi adalah dominan lentur yang diikuti dengan retak geser. Sedangkan dari **Tabel 6** dapat diperoleh informasi bahwa kolom dengan jarak sengkang 15 cm menghasilkan jarak antar retak yang lebih pendek akan tetapi

menghasilkan panjang retak yang lebih besar daripada kolom dengan jarak sengkang 25 cm. Kolom dengan jarak sengkang 25 cm menghasilkan jarak retak yang lebih renggang dan panjang retak yang lebih pendek.

Tabel 4. Rekapitulasi ke-4 spesimen

Specimen Kolom	Panjang Retak Maksimum (cm)		Jarak Antar Retak (cm)
	Sisi Depan	Sisi Belakang	
L15C	8,5	-	6
L25C	7,5	6,7	11
M15C	7	10	6
M25C	5,7	6,9	15

Dari gambar juga terdapat perbedaan pada banyaknya retak yang terjadi pada sisi depan dan sisi belakang kolom. Sisi kolom bagian depan mengalami retak yang lebih banyak daripada retak yang terjadi pada sisi belakang kolom. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat proses pengecoran, posisi kolom dalam keadaan tertidur. Agregat kasar cenderung memenuhi sisi kolom bagian bawah, sedangkan sisi atas lebih banyak terisi pasir, semen, dan air. Pengujian dilakukan dalam keadaan kolom yang berdiri tegak, sisi bawah kolom menjadi sisi belakang kolom yang diuji. Sedangkan sisi atas kolom saat dicor menjadi sisi depan kolom yang diuji. Perbedaan keseragaman campuran beton kolom menyebabkan hasil retak yang terjadi menjadi berbeda pada sisi depan dan sisi belakang kolom.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian berupa analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak sengkang dan rasio tulangan longitudinal terhadap mekanisme dan pola retak kolom bertulangan ringan akibat beban siklik dapat ditarik kesimpulan:

1. Mekanisme yang terjadi pada keempat spesimen kolom adalah sama, dimana

terjadi retak lentur pada pembeban awal. Keruntuhan lateral terjadi pada drift yang hampir sama pada spesimen dengan rasio tulangan yang sama. Sehingga variasi jarak sengkang tidak begitu berpengaruh pada mekanisme retak kolom tersebut.

2. Pola retak yang terjadi pada keempat spesimen adalah sama, yang diawali dengan retak lentur dan kemudian dilanjutkan dengan retak geser. Jarak sengkang yang lebih rapat (15 cm) akan menghasilkan jarak retak yang lebih rapat daripada sengkang dengan jarak yang lebih renggang (25 cm).

4.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat diperhatikan untuk penelitian serupa di waktu yang akan datang:

1. Jumlah benda uji di tiap variasi ditambah.
2. Penakaran saat mengecor dilakukan sesuai mix design.
3. Pengambilan sampel untuk uji tekan silinder minimal 3, uji hammer test tidak hanya 1x10 pukulan saja.
4. Memperhatikan segala komponen saat pengujian.
5. Lebih menjaga kestabilan beban aksial.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318. 2002. Building Code Requirements for Reinforced Concrete. Michigan : American Concrete Institute.
- Dini, Restian. 2008. Analisis Pengaruh Dimensi Balok dan Kolom Portal Terhadap Lebar Retak Pada Bangunan. Laporan Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- Fernandes, Dede. 2012. Pola Retak dan Lebar Retak balok dalam Kondisi Gempa Akibat Pengaruh dari Variasi Prosentase Luas Tulangan Tekan Terhadap Tulangan Tarik Pada Tumpuan. Laporan Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.
- McCormac, Jack C. 2004. Desain Beton Bertulang Edisi Kelima. Erlangga: Jakarta.
- Nawy, Edward. 2010. Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. Bandung : PT Refika Aditama.
- Otani, S. 1999. RC Building Damage Statistics and SDF Response with Design Seismic Forces. Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 15, No. 3, pp. 485 - 501.
- Sezen, Halil. 2002. Seismic Behavior and Modeling of Reinforced Concrete Building Columns. Disertasi. University of California, Berkeley.
- Wibowo, Ari. 2012. Seismic Performance Of Insitu and Precast Soft Storey Buildings. Laporan Disertasi. Faculty of Engineering and Industrial Sciences Swinburne University of Technology.