

DAKTILITAS KOLOM BETON BERTULANG DENGAN PENGEKANGAN DI DAERAH SENDI PLASTIS

ROFIKOTUL KARIMAH, DAN YUSUF WAHYUDI

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: Karimah@umm.ac.id

ABSTRAK

Daktilitas merupakan faktor penting dalam desain kolom beton bertulang, hal ini berguna untuk mencegah terjadinya keruntuhan mendadak akibat getaran gempa. Untuk menunda proses keruntuhan dan menyediakan waktu lebih untuk penghuni bangunan untuk melarikan diri maka, dilakukan metode untuk meningkatkan daktilitas dan kapasitas beban kolom dengan anggota pengekangan lateral di wilayah plastik engsel. Daerah sendi plastis merupakan daerah kritis di mana terjadinya kegagalan terjadi. 27 spesimen dalam bentuk ukuran kolom persegi $150 \times 150 \times 900$ mm dengan tulangan longitudinal $8 \phi 8$ mm dan sanggurdi ϕ jarak 6 mm bervariasi dari 100 mm, 50 dan 25 mm, yang sarat dengan kombinasi beban lateral siklik dan beban aksial konstan $0.1 f_c'Ag$, $0.2 f_c'Ag$, $0.3 f_c'Ag$. Kelas beton yang digunakan $f_c' = 20.48$ MPa, mutu baja longitudinal yang $f_y = 387$ MPa, dan sanggurdi $f_y = 539$ Mpa. Pengujian dilakukan dalam dua tahap, beban terkontrol dan perpindahan controlled. Hasilnya menunjukkan peningkatan kapasitas beban deformasi lateral, dan tingkat daktilitas dalam kolom yang memiliki jarak lebih ketat daripada kolom dengan jarak renggang lagi. Efek beban aksial yang diberikan kepada kolom memberikan sangat berpengaruh untuk jarak behel karena kolom dengan jarak renggang lebih dengan beban aksial melebihi $0.20 f_c'Ag$ akan menurunkan daktilitas dan energi disipasi dari kolom beton bertulang.

Kata kunci: kolom, kurungan, sendi plastis, daktilitas

ABSTRACT

Ductility is an important factor in the design of reinforced concrete columns, it is useful to prevent the occurrence of sudden collapse due to earthquake vibrations. To delay the process of collapse and provide more time for building occupants to escape hence, was carried out methods to improve the ductility and load capacity of columns with lateral restraint member plastic hinge region. Plastic hinge region is a critical area where the occurrence of failure is happened. 27 specimens in the form of a square columns size $150 \times 150 \times 900$ mm with 8 longitudinal reinforcement $\phi 8$ mm and stirrup $\phi 6$ mm spacing varies from 100 mm, 50 mm and 25 mm, which is loaded with a combination of cyclical lateral loads and constant axial load of $0.1 f_c'Ag$, $0.2 f_c'Ag$, $0.3 f_c'Ag$. Grade of concrete used $f_c' = 20.48$ MPa, the quality of longitudinal steel $f_y = 387$ MPa, and stirrup $f_y = 539$ Mpa. Testing was performed in two stages, load controlled and displacement controlled. The result showed an increase in lateral load capacity, deformation and degree of ductility in columns that have a tighter spacing than the columns with more tenuous spacing. The axial load effect given to the columns give highly influential for stirrup spacing because columns with more tenuous spacing with the the axial load exceeds $0.20 f_c'Ag$ will decrease ductility and energy dissipation of reinforced concrete columns.

Key words: columns, confinement, plastic hinge, ductility

PENDAHULUAN

Kejadian gempa pada tiga tahun terakhir disejumlah daerah di Indonesia seperti Bengkulu, Yogyakarta dan Aceh, menimbulkan banyak kerusakan dan kerugian berupa korban jiwa, harta, dan kerusakan struktur bangunan. Rusaknya struktur bangunan tersebut salah satu yang dominan disebabkan oleh kurang baiknya perencanaan dan daktilitas struktur. Perencanaan dan daktilitas pada struktur beton bertulang, merupakan hal penting terutama pada saat gempa terjadi, di mana struktur rangka pemikul momen (SRMP) tahan gempa,

persyaratan dan pertimbangan ekonomis biasanya menghendaki agar input *energy seismic* yang besar terhadap bangunan diserap dan disebarkan (disipasikan) melalui mekanisme deformasi *inelastic* yang besar tetapi tetap terkendali (Park and Paulay, 1975). Deformasi tersebut harus dibatasi sampai pada suatu nilai, di mana kerusakan pada struktur atau non struktur, tidak mencelakakan isi bangunan serta bangunan lain disekelilingnya. Untuk mencapai penyerapan energy dan kapasitas disipasi energy yang besar, yang biasanya diistilahkan dengan daktilitas, bagian-bagian yang berpotensi mengalami

keruntuhan mendadak (getas), harus dikurangi dan dibatasi sekecil mungkin, dengan mencegah terjadi kegagalan geser atau pecah secara dini.

Kolom sebagai salah satu bagian struktur rangka yang dominan menerima beban tekan, harus memiliki kekuatan, stabilitas dan daktilitas di dalam meneruskan beban dari balok dan diteruskan ketanah melalui pondasi. Sebagai bagian struktur dengan fungsi dan peranan tersebut, kolom menempati posisi penting karena kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, dan atau merupakan batas runtuh total keseluruhan struktur bangunan. Menurut Siddiq (1997), daktilitas kolom beton bertulang sangat ditentukan oleh cara terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujungnya, akibat beban luar terutama yang ditimbulkan oleh gempa. Untuk mendapatkan kolom yang daktil dapat diperoleh dengan *detailing confinement* (pengekangan yang

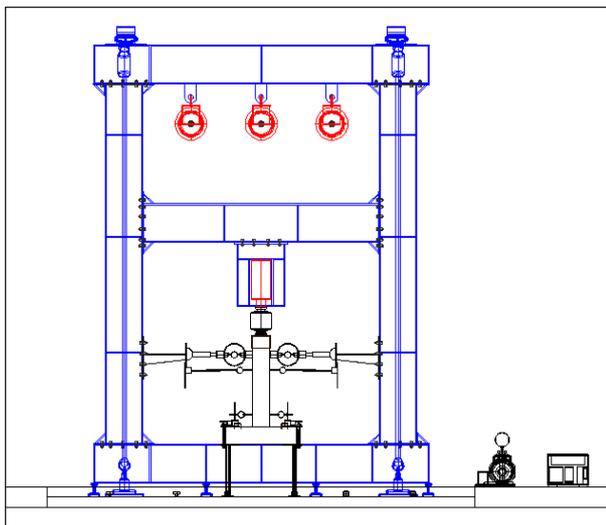
baik). Kekangan yang ditimbulkan oleh tulangan lateral tersebut, dipengaruhi antara lain oleh persentase tulangan lateral, kuat leleh tulangan lateral, kuat tekan beton, spasi tulangan lateral, konfigurasi tulangan lateral terutama untuk beton berpenampang persegi (Bayrak dan Sheik, 2002).

Tujuan penelitian ini membentuk sendi-sendi plastis yang mampu memencarkan energy dengan memberi pengekangan pada kaki kolom dan membatasi besarnya beban gempa yang masuk ke dalam struktur. Mengetahui pengaruh kombinasi beban aksial konstan dan beban lateral siklis akibat pengekangan di daerah sendi plastis kolom terhadap daktilitas. Menhasilkan model pengekangan kolom tahan gempa dengan sengkang.

METODE

Untuk setiap pekerjaan, gambar kerja, spesifikasi, dan perhitungan struktur harus diserahkan kepada yang berwenang untuk mendapatkan persetujuan. Perhitungan harus berdasarkan pada beban dan kondisi pembebanan yang disyaratkan oleh ketentuan yang berlaku. Parameter-parameter perencanaan pada pasal ini digunakan agar panel-panel tersebut dapat menyalurkan beban secara merata ke masing-masing plaster bertulang di kedua sisi. Penampang melintang panel jaring kawat baja tiga dimensi las pabrikan diperhitungkan sebagai penampang melintang plaster bertulang komposit. Metode perhitungan penampang melintang beton bertulang yang biasa berlaku juga untuk struktur bangunan yang menggunakan sistem struktur panel jaring kawat baja tiga dimensi las pabrikan.

Metode perhitungan yang digunakan pada pasal ini mengikuti ketentuan pada SNI 03-2847-1982, Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung. Bila kekuatan las pabrikan tidak



Gambar 1. Set-Up Pengujian Kolom

Tabel 1. Data benda uji kolom

Benda Uji 150 × 150 × 900 mm	Tulangan Longitudinal (mm)	Sengkang pada Sendi plastis (mm)	Mutu Beton (fc')	P _{axial} (ton)	Jumlah	Notasi Spesimen
I.K.SPASI-A						
KSA- 1	8 Ø8	Ø6-100	20	4,5	3	KSA-11, KSA-12, KSA-13
KSA - 2	8 Ø8	Ø6-100	20	9	3	KSA-21, KSA-22, KSA-23
KSA - 3	8 Ø8	Ø6-100	20	13.5	3	KSA-31, KSA-32, KSA-33
II.K.SPASI-B						
KSB - 1	8 Ø8	Ø6-50	20	4,5	3	KSB-11, KSB-12, KSB-13
KSB - 2	8 Ø8	Ø6-50	20	9	3	KSB-21, KSB-22, KSB-23
KSB - 3	8 Ø8	Ø6-50	20	13.5	3	KSB-31, KSB-32, KSB-33
III.K.SPASI-C						
KSC - 1	8 Ø8	Ø6-25	20	4,5	3	KSC-11, KSC-12, KSC-13
KSC - 2	8 Ø8	Ø6-25	20	9	3	KSC-21, KSC-22, KSC-23
KSC - 3	8 Ø8	Ø6-25	20	13.5	3	KSC-31, KSC-32, KSC-33
Jumlah Benda Uji						27 KOLOM

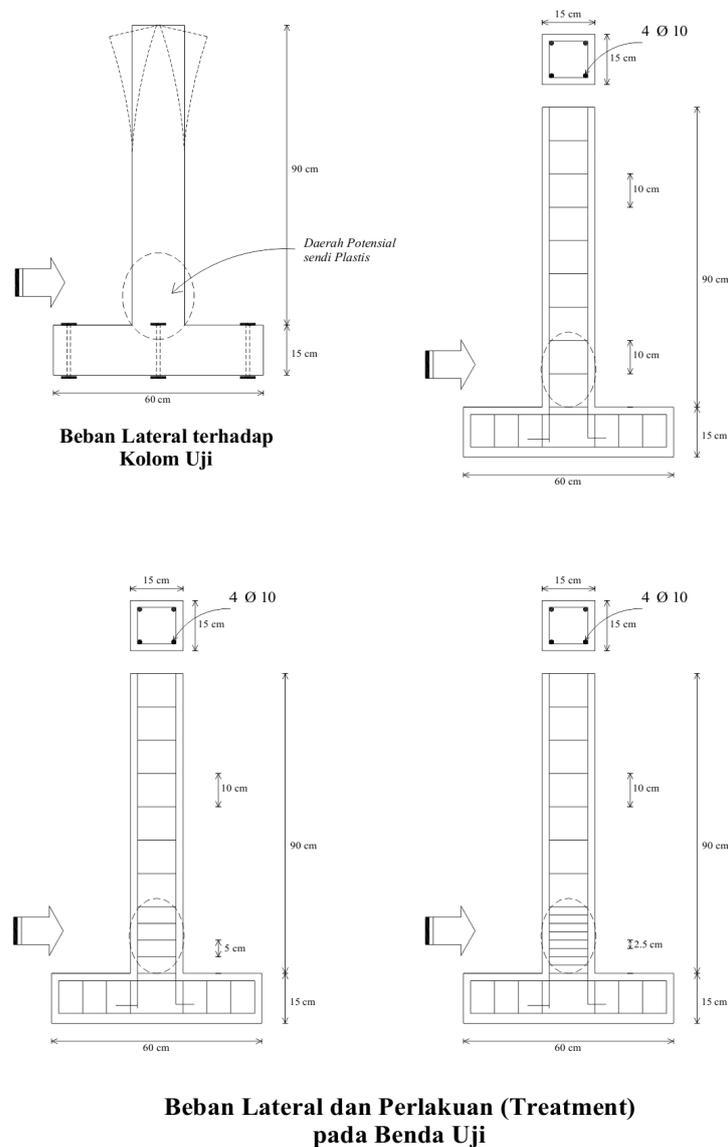
mampu memikul beban aktual, maka panel tersebut dapat dikombinasikan dengan rangka struktur beton bertulang di mana tambahan rangka struktur beton bertulang tersebut harus dihitung sesuai dengan standar yang terkait. Jika diperlukan panel yang lebih kuat, jumlah tulangan dapat ditambah dengan diameter yang tetap. Jika diperlukan penambahan penulangan, maka dapat dipasang tambahan *wire mesh* atau baja tulangan pada tempat-tempat yang diperlukan.

Rancangan Penelitian

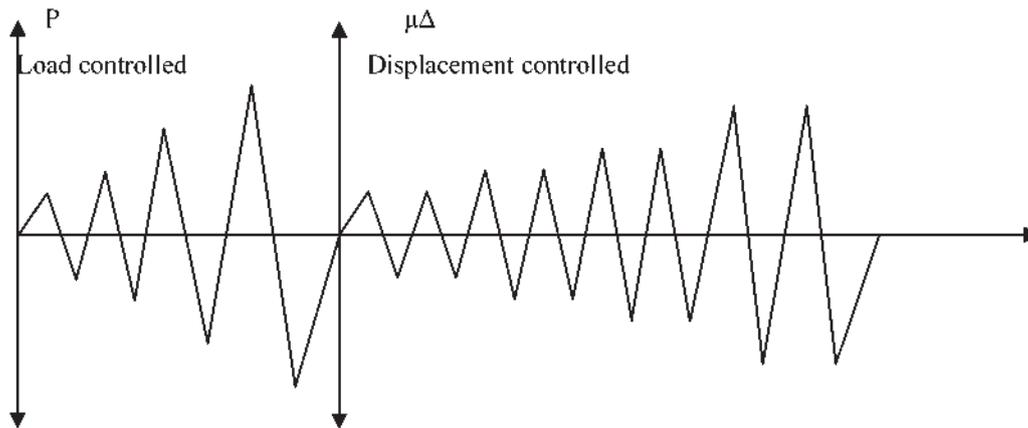
Kolom yang akan diuji adalah kolom persegi berjumlah 27 (dua puluh tujuh) buah dengan ukuran (150×150) mm dan panjang kolom 900 mm, mutu beton (f_c') 20 Mpa, dan mutu baja (f_y) 340 Mpa. Variasi jarak sengkang pada daerah sendi plastis mulai 10cm,

5cm, dan 2,5cm, ditempatkan pada daerah sendi plastis. Kolom dibebani dengan beban aksial (P) konstan masing-masing 0,1 $fc'Ag$; 0,2 $fc' Ag$; 0,3 $fc'Ag$ yang dikombinasikan dengan beban lateral siklis (Q) pada kolom setinggi 75 cm terhadap plat kaki, seperti pada Gambar 1.

Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari dari pengecoran. Benda uji diletakkan pada *loading frame* satu persatu, setiap benda uji dipasang *dial gauge* sebanyak 4 buah diletakkan pada sisi atas 2 buah dan bawah 2 buah. Pengujian dimulai dengan pemberian beban aksial sebesar 4,5 ton selanjutnya diberi beban lateral siklis pada kolom setinggi 75 cm terhadap plat kaki . Beban lateral ini dianggap mewakili beban gempa, beban yang dihasilkan oleh *Hydraulic jack* yang mempunyai kapasitas 20 ton.



Gambar 2. Beban Lateral dan perlakuan pada benda uji



Gambar 3. Pola Pembebanan (Sumber: Jiuru, dkk, 1992)

Tabel 2. Kapasitas beban pada saat retak pertama, leleh dan maksimum

Benda Uji 150 × 150 × 900 mm	Tulangan Longitudinal (mm)	Senggang pada Sendi plastis (mm)	P_{axial} (ton)	Beban saat retak pertama Q (ton)	Beban saat leleh Q_y (ton)	Beban maksimum Q_{max} (ton)
I.K.SPASI-A						
KSA- 1	8 Ø8	Ø6-100	4,5	0.588	1.030	1.389
KSA - 2	8 Ø8	Ø6-100	9	0.867	1.253	1.695
KSA - 3	8 Ø8	Ø6-100	13.5	1.059	1.419	1.916
II.K.SPASI-B						
KSB - 1	8 Ø8	Ø6-50	4,5	0.771	1.097	1.493
KSB - 2	8 Ø8	Ø6-50	9	0.930	1.268	1.775
KSB - 3	8 Ø8	Ø6-50	13.5	1.105	1.488	2.008
III.K.SPASI-C						
KSC - 1	8 Ø8	Ø6-25	4,5	0.867	1.327	1.779
KSC - 2	8 Ø8	Ø6-25	9	1.93	1.440	1.996
KSC - 3	8 Ø8	Ø6-25	13.5	1.80	1.506	2.213

Setiap pengujian kolom-uji dilakukan pembacaan beban dan deformasi secara bersamaan untuk setiap kenaikan beban pada beban horisontal siklis, seperti pada tabel 1.

Pengujian dilakukan dalam dua tahap yaitu *load controlled* dan *displacement controlled*, Setelah *setting up* pengujian sesuai yang telah ditentukan, ujung kolom dibebani dengan hydraulic jack sebesar yang ditentukan di atas yang mewakili beban tekan akibat gravitasi, *dial gauge* untuk mengukur deformasi lateral kolom menunjukkan posisi nol, serta *strain indicator* yang menunjukkan regangan *strain gauge* juga pada posisi nol.

Tahap pertama adalah *load controlled* dengan memberikan beban horisontal kearah kanan dengan puncak beban 100 kg. Deformasi lateral kolom yang ditunjukkan oleh kedua dial gauge dicatat, dan regangan yang ditunjukkan oleh strain gauge pada tulangan longitudinal dan sengkang juga dicatat. Beban horisontal kearah kiri juga diberikan sebesar 100 kg, untuk mendapatkan satu siklus penuh.

Puncak-puncak beban berikutnya adalah 200 kg, 300 kg, 400 kg dan seterusnya baik untuk beban horisontal kearah kiri maupun kearah kanan.

Hal penting yang perlu diamati adalah terjadinya retak pertama (*first crack*). Beban dan deformasi pada beban tersebut harus dicatat. Beban leleh dan deformasi saat leleh juga perlu dicatat. Ketika deformasi pada saat leleh (Δ_y , *displacement at yield*) telah tercapai (arah kanan dan kiri), maka tahap *load controlled* dihentikan.

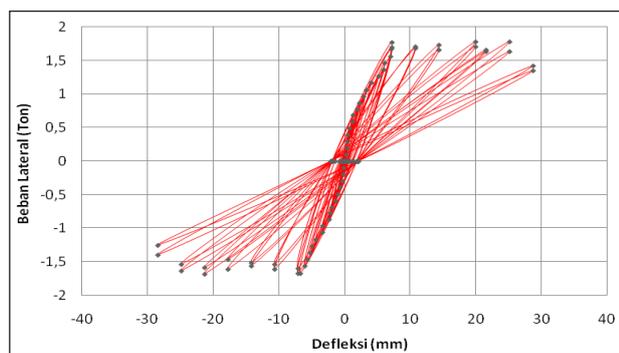
Tahap kedua adalah *displacement controlled*. Setelah diketahui *displacement at yield* dari tahap *load controlled* maka dapat ditetapkan nilai μ , *displacement ductility factor* ($\mu = \Delta / \Delta_y$). Mengacu pada pembebanan menurut Jiuru dkk. (1992) dalam Suhendro B (2004), *displacement ductility factor* adalah 1; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; dan seterusnya sampai terjadi penurunan beban lateral atau beban sudah tidak bisa naik lagi. Pada penelitian ini digunakan tiap *displacement ductility* terdiri dari 2 (dua) siklus pembebanan.

Pola pembebanan dapat dilihat pada gambar 3. Pembebanan diberikan sampai terjadi penurunan beban lateral sehingga diperoleh nilai kapasitas beban lateral kolom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas Beban Lateral Kolom

Nilai kapasitas beban saat retak pertama (*first crack*), pada saat leleh dan defleksi maksimum terdapat pada tabel 2. *Beban first crack* yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian berdasarkan *Load controlled* menunjukkan bahwa spasi sengkang yang lebih rapat mampu meningkatkan kapasitas beban pada saat *first crack* dan pada saat leleh. Sedangkan beban aksial tekan yang lebih besar dari 0,1 $f_c' A_g$ yang diberikan kepada kolom mampu meningkatkan kapasitas beban pada saat *first crack* dan pada saat leleh.

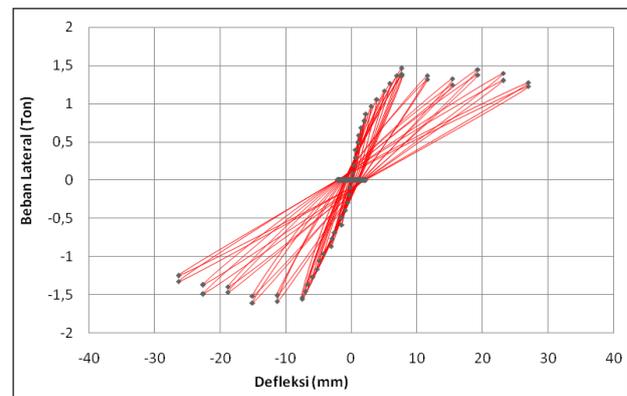


Gambar 4. Grafik *Hysteresis Loop* antara Kombinasi Beban Aksial-Lateral (Q) dan Defleksi (Δ) – spasi 2,5 cm

Hubungan Beban Lateral dan Deformasi

Dari grafik hubungan antara beban lateral dan deformasi kolom bersifat elastis dan daktil selama baja tulangan dan beton kolom belum mencapai tegangan leleh. Pada saat baja tulangan mencapai titik leleh, retak lentur mulai terjadi pada daerah ujung kaki kolom. Pada tingkat ini, kolom masih daktil. Pada saat kolom mengalami deformasi horisontal yang lebih besar jumlah retak semakin bertambah dan sendi plastik terbentuk pada daerah ujung kaki kolom. Bila deformasi lebih besar lagi, ikatan antara beton-tulangan utama sudah rusak dan atau retak geser telah terjadi, maka sendi plastik akan lebih sempurna terbentuk pada daerah sepanjang lebar kolom (Siddiq S.1994). Deformasi kolom pada saat retak pertama dapat dilihat pada tabel 3.

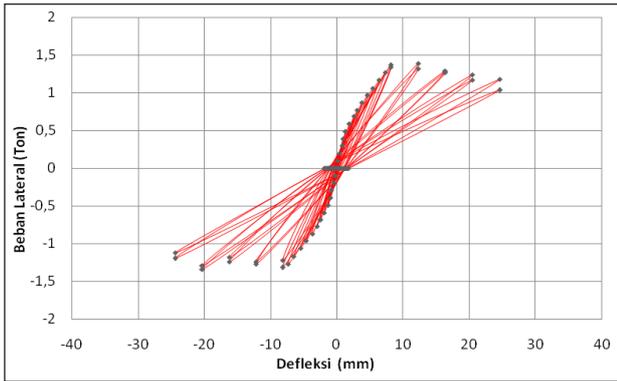
Hasil uji beban terhadap kolom uji disajikan dalam hubungan antara beban dan deformasi berupa kurva *hysteresis loop* yang dapat dilihat pada gambar (4–9).



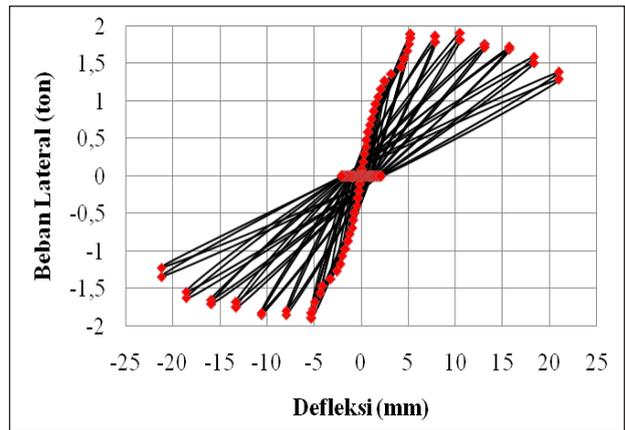
Gambar 5. Grafik *Hysteresis Loop* antara Kombinasi Beban Aksial-Lateral (Q) dan Defleksi (Δ) – spasi 5 cm

Tabel 3. Deformasi kolom pada saat retak pertama, leleh dan maksimum

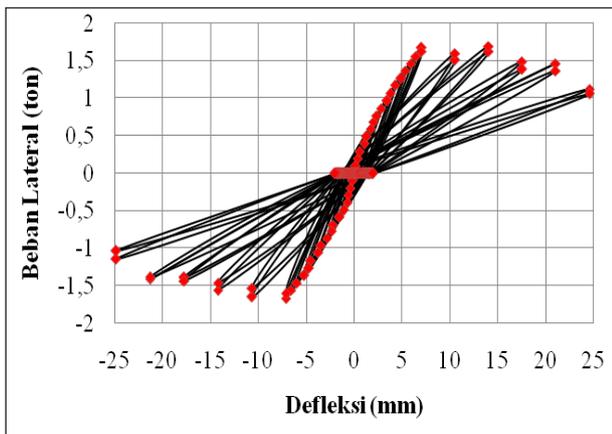
Benda Uji 150 × 150 × 900 mm	Tulangan Longitudinal (mm)	Sengkang pada Sendi plastis (mm)	P_{axial} (ton)	Deformasi saat retak pertama Δ (mm)	Deformasi saat leleh Δ_y (mm)	Deformasi maks Δ_{max} (mm)
I.K.SPASI-A						
KSA- 1	8 Ø8	Ø6-100	4,5	1.95	6.80	16.38
KSA – 2	8 Ø8	Ø6-100	9	2.78	6.40	14.02
KSA – 3	8 Ø8	Ø6-100	13.5	2.00	5.00	10.48
II.K.SPASI-B						
KSB – 1	8 Ø8	Ø6-50	4,5	1,88	5.90	19.05
KSB- 2	8 Ø8	Ø6-50	9	2.38	5.60	16.40
KSB – 3	8 Ø8	Ø6-50	13.5	2.00	4.80	13.80
III.K.SPASI-C						
KSC – 1	8 Ø8	Ø6-25	4,5	2,25	7.20	28.60
KSC – 2	8 Ø8	Ø6-25	9	1.93	6.70	25.30
KSC – 3	8 Ø8	Ø6-25	13.5	1.80	6.00	21.70



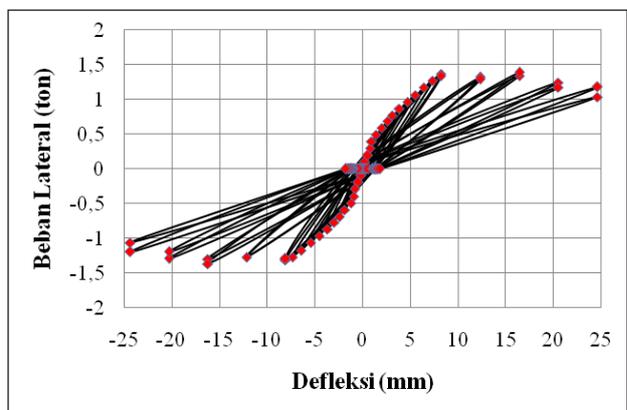
Gambar 6. Grafik *Hysteresis Loop* antara Kombinasi Beban Aksial-Lateral (Q) dan Defleksi (Δ) – spasi 10 cm



Gambar 8. Hubungan antara beban lateral dan defleksi pada kolom dengan 20% P_{aksial}



Gambar 7. Hubungan antara beban lateral dan defleksi pada kolom dengan 10% P_{aksial}



Gambar 9. Hubungan antara beban lateral dan defleksi pada kolom dengan 30% P_{aksial}

Tabel 4. Perhitungan Nilai Daktilitas Kolom Beton bertulang

Benda Uji	Tulangan Longitudinal (mm)	Senggang pada Sendi Plastis (mm)	P_{aksial} (ton)	Deformasi saat leleh Δ_y (mm)	Deformasi maks Δ_{max} (mm)	Nilai Daktilitas
I.K.SPASI-A						
KSA- 1	8 Ø8	Ø6-100	4,5	6.80	16.38	2.41
KSA – 2	8 Ø8	Ø6-100	9	6.40	14.02	2.19
KSA – 3	8 Ø8	Ø6-100	13.5	5.00	10.48	2.09
II.K.SPASI-B						
KSB – 1	8 Ø8	Ø6-50	4,5	5.90	19.05	3.23
KSB- 2	8 Ø8	Ø6-50	9	5.60	16.40	2.93
KSB – 3	8 Ø8	Ø6-50	13.5	4.80	13.80	2.87
III.K.SPASI-C						
KSC – 1	8 Ø8	Ø6-25	4,5	7.20	28.60	3.97
KSC – 2	8 Ø8	Ø6-25	9	6.70	25.30	3.78
KSC – 3	8 Ø8	Ø6-25	13.5	6.00	21.70	3.62

Disipasi energi ditentukan oleh luasan loop dari kurva beban-defleksi jika kapasitasnya lebih besar, berarti kemampuan kolom untuk menyerap energi juga besar tanpa banyak kehilangan kekuatan dan kekakuan. (Park, *et al.*,1982). Pada kelompok Benda uji dengan jarak sengkang yang lebih renggang dan beban aksial melebihi 0,1 fc' Ag keruntuhan didahului oleh retak geser akibat tarik miring dan diikuti dengan terlepasnya selimut beton.

Hysteresis Loop

Dari hasil pengujian kolom didapatkan hubungan beban lateral dan deformasi berupa kurva menutup yang disebut *hysteresis loops*. Luasan area tertutup menunjukkan besarnya dissipasi energy (*dissipation of energy*) yang dimiliki pada setiap benda uji. Untuk lebih jelasnya bentuk grafik *hysteresis loop* dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 6.a - 6.f .

Kolom yang menerima beban aksial lebih besar mempunyai jumlah siklus yang lebih banyak hal ini dapat dilihat dari banyaknya titik-titik yang menghubungkan antara beban lateral dan deformasi. Semakin besar beban aksial yang diterima oleh kolom maka deformasi yang terjadi semakin kecil. Sedangkan pengekanan dengan spasi sengkang 2,5 cm mempunyai rata-rata area kurva yang lebih luas dibandingkan spasi sengkang 5 cm, dan begitu pula spasi sengkang 5 cm memiliki rata-rata area kurva yang lebih luas dibandingkan dengan spasi sengkang 10 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pengekanan dengan spasi yang lebih rapat dapat menambah tingkat penyerapan energi (*energy dissipation*) pada kolom akibat beban lateral.

Nilai Daktilitas

Daktilitas kolom beton bertulang, sangat ditentukan oleh pemasangan tulangan longitudinal dan sengkang dilakukan secara tepat dan benar, jumlah sengkang yang tersedia, konfigurasi sengkang, khususnya di zone berpotensi sendi plastis, (*Siddiq 1997*). Hasil perhitungan nilai daktilitas kolom dapat dilihat pada tabel 4. Benda uji (kolom) yang menggunakan jarak spasi yang lebih renggang akan menurunkan nilai daktilitas dibandingkan dengan kolom yang menggunakan sengkang dengan variasi jarak yang semakin rapat. Begitu pula dengan peningkatan beban aksial yang diterima beton menyebabkan terjadinya penurunan daktilitas pada kolom beton bertulang.

Daktilitas suatu struktur dalam penelitian ini adalah kemampuan struktur untuk mengalami perubahan bentuk akibat beban siklik atau dinamik, setelah mencapai batas leleh tanpa mengalami keruntuhan sambil mengembangkan mekanisme sendi plastis untuk menyerap energi beban tersebut. Setelah mencapai leleh dan retak mulai berkembang nyata maka benda uji yang mempunyai jarak spasi yang lebih rapat dengan beban aksial tidak melebihi 0,2 fc' Ag, menunjukkan tingkat kemampuan menyimpan energi lebih besar dan terjadi peningkatan daktilitas.

SIMPULAN

Pengekanan pada daerah sendi plastis kolom dengan merapatkan jarak spasi sengkang akan berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas beban lateral yang bekerja pada kolom, dengan meningkatnya beban lateral yang bekerja pada kolom maka kekuatan kolom juga akan bertambah. Jarak spasi sengkang yang lebih rapat dengan beban aksial tekan tidak melebihi 0,2 fc'Ag akan terjadi peningkatan daktilitas dan kemampuan kolom untuk menyerap energi juga besar tanpa banyak kehilangan kekuatan dan kekakuan. Secara Umum dapat disimpulkan bahwa penurunan daktilitas dan energi disipasi pada kolom beton bertulang disebabkan oleh jarak spasi sengkang yang semakin renggang dan peningkatan beban aksial yang bekerja pada kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318. 2002. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318- 02), American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- Bayrak, and Sheik, S.A. 2002. Response Prediction by Plastic Hinge Analysis Tehcniqe. Departement of Civil Engineering, University of Toronto, Ontario, Canada.
- Park, R. and Paulay, T. 1975. Reinforced Concrete Structure, John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Park., R, Priestley M.J.N and Gill, W.D, 1982. Ductility of Square-Confined Concrete Coloumns, Journal of the Structural Division, ASCE, vol 108, p. 929-950.
- Paulay, T. and Pristley, M.J.N. 1991. Seismic Design Of Reinforced Concrete And Masonry Buildings. John Wiley 7 Sons. Inc. Canada
- Siddiq, 1997. Perilaku Kolom Terhadap Beban Kombinasi Aksial Dan Lentur Berulang, Jurnal Pemukiman VoIX No 11-12, Nopember-Desember, 6-19 hal.