

PERKUATAN GESER KOLOM BETON BERTULANG BERPENAMPANG PERSEGI DENGAN KAWAT KASA METODE MORTAR JACKETING BERPENAMPANG BULAT

Dian Eksana W¹, Andreas Triwiyono² dan Suprpto Siswosukarto²

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

² Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

eksa.prince@gmail.com

ABSTRACT

Column reinforcement is essential in a structure. When a column is weak, it will cause total failure to the structure. This study examined the behavior of column reinforced with mortar jacketing method and wire netting. The objective of this study was to identify the contribution of the reinforcement to the shear strength and column ductility. Four column specimens were made. They consisted of one original column (as comparison) in square shape of 150 x 150 mm, and 700 mm height and foundation plate in 1200 x 700 mm with 250 mm thickness and three specimens in same dimensions and strengthened by mortar jacketing to become column with round section in 220 mm diameter and 730 mm height. Longitudinal reinforcement and wire netting in 1.7 mm diameter and consisted of small squares of 25 mm x 25 mm with 1 layer strengthening (KP-1). Two layers (KP-2), and 3 layers (KP-3) were used as the mortar jacketing. Sika Grout 215 New was used as the filler. Loading type used was constant axial and cyclic lateral to simulate earthquake by using the displacement control method. The results showed that in KP-1, KP-2 and KP-3 reinforced column, their lateral load capacities increased by 90.263%, 101.985%, 124.196%, respectively, than the average original column (KA-1). Addition of wire netting for KP-1, KP-2, and KP-3 showed general increase of displacement at a maximum lateral load in compare to the original column (KA-1). Drift ratio at maximum load at KA-1 was 2.07%. As for KP-1 dan KP-3, the maximum loads were 2.52 % and 2.924%, respectively. However, the drift ratio of KP-2 was 1.192%, or smaller than 1.50%. The stiffness values obtained from the tests for KA-1, KP-1, KP-2 and KP-3 were 3.92 KN/mm, 9.04 KN/mm, 9.01kN/mm, and 8.14kN/mm, respectively. Ductility factor (μ) of KA-1, KP-1, KP-2, and KP-3 were 5.451, 6.273, 3.938, and 6.667, respectively. Thus, more netting wire showed increasing ductility, except for KP-2 which had the smallest ductility in compare to other specimens. Based on the test results and the regulation of ACI 374.1-05.200, the reinforced column could be used for structures with maximum R (response modification factor) of 6.

Keywords : Shear collapse, Mortar jacketing, netting wire, cyclic load

PENDAHULUAN

Peningkatan beban pada bagian gedung seringkali tidak diikuti dengan peningkatan kekuatan struktur. Sehingga kemungkinan kegagalan akan terjadi. Perkuatan (*strengthening*) merupakan salah satu metode untuk meningkatkan kekuatan dan daktilitas struktur. Salah satu alternatif dari metode adalah *concrete jacketing*.

Melihat permasalahan dari beberapa kajian dan belum banyaknya penelitian perkuatan dengan metode penyelubungan beton (*concrete jacketing*) pada kolom penampang persegi, maka perlu dilakukan penelitian tentang kuat geser kolom dengan perkuatan tersebut. Untuk itu diharapkan dapat mengkaji kuat geser kolom dengan perkuatan metode penyelubungan beton, pada kolom berpenampang persegi .

Dalam penelitian ini dibuat model sederhana yaitu kolom beton bertulang berpenampang persegi kemudian diperkuat dengan metode penyelubungan *mortar* (*mortar jacketing*) dengan tulangan kawat kasa. Kolom diuji dengan pemberian gaya lateral siklik gaya aksial konstan. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh kawat kasa terhadap kekuatan geser kolom segi empat, mengetahui perilaku *daktilitas* struktur, membandingkan kuat geser kolom hasil pengujian di laboratorium dengan rumusan teoritis dan mengetahui pola retak dan keruntuhan yang terjadi.

LANDASAN TEORI

Triwiyono (1997), menyatakan bahwa kekuatan dan daktilitas kolom bulat dengan tulangan spiral akan meningkat sejalan dengan adanya peningkatan rasio, diameter dan pengurangan spasi tulangan spiralnya.

Wigroho, dkk. (2004) meneliti tentang Pengaruh Penambahan Fiber Kawat Kasa Terhadap Kapasitas Kolom Penampang Segi Empat. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan fiber kawat kasa terjadi peningkatan kapasitas tekan aksial dan momen pada kolom.

Kesumah (2008) meneliti tentang perkuatan geser pada kolom beton bertulang berpenampang persegi dengan metoda *concrete jacketing* dan *carbon fiber jacket* serta kolom perkuatan bentuk bulat kolom dengan menggunakan *mortar jacketing* dan CRFP Wrap. Jenis pembebanan adalah aksial konstan dan lateral siklik untuk mensimulasikan gempa. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa perkuatan kolom terjadi kenaikan kapasitas beban lateral, *displacement*, nilai kekakuan dan duktilitas.

Budi Hakim (2008) meneliti tentang perbaikan beton bertulang pasca kerusakan tahap *collapse* akibat beban siklik dengan metode *jacketing* kawat jala las segi empat. Benda uji berbentuk pertemuan balok-kolom eksterior dengan pembebanan dilakukan secara siklik. Dari hasil penelitian yang dilakukan, kekuatan

benda uji retrofit terjadi peningkatan untuk kekuatan geser ultimit, kekuatan lentur dan daktilitas.

Kuat Geser

Menurut SNI 03-2847-2002, kuat geser struktur beton merupakan gabungan kontribusi beton (V_c) dan baja (V_s). Kuat geser nominal beton dan kuat geser tulangan geser

$$V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V_c = \left[1 + \frac{N_u}{14A_g} \right] \left[\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] b_w d ; \quad \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

V_c = Kuat geser beton;

V_s = kuat geser baja;

N_u = beban aksial;

A_g = Luas total kolom;

f'_c = kuat tekan beton;

b_w = lebar; d = panjang.

Beban Gempa

Menurut SNI 03-1726-2002, beban geser dasar nominal statik ekuivalen yang terjadi, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_t \quad \dots\dots\dots(3)$$

dengan : R = faktor reduksi gempa; C_1 = faktor respon gempa; I = faktor keutamaan struktur; W_t = Berat total struktur (kN)

Daktilitas

Faktor daktilitas (μ), keruntuhan (Δ_u) dan simpangan/regangan pada saat terjadinya pelelehan pertama (Δ_{yield}) yaitu :

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \quad V = \frac{C_1 \cdot I}{R} W_t \quad \dots\dots\dots(4)$$

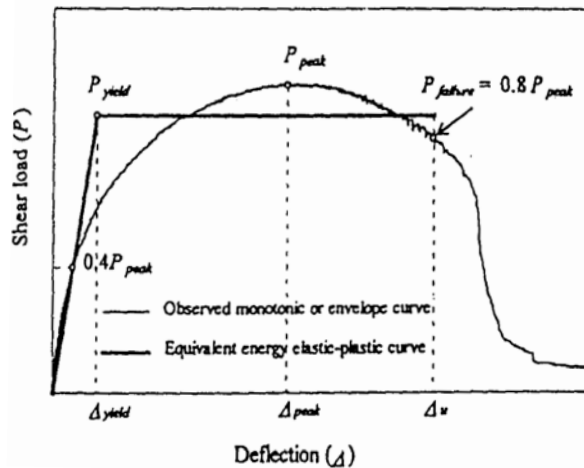
dengan:

μ = Faktor daktilitas;

Δ_u/ϵ_u = simpangan maksimum;

Δ_y/ϵ_y = simpangan saat leleh pertama.

Daktilitas yang diperoleh dengan perbandingan defleksi ini disebut *displacement ductility factor*, μ . Δ_u dan ϵ_u dihitung sebagai lendutan atau regangan yang terjadi saat mencapai 0,8 dari beban atau tegangan maksimum, sedangkan *failure limit state* menyatakan titik dimana hubungan antara beban-simpangan terhadap titik data terakhir dengan beban sebesar atau lebih besar dari $0,8 P_{peak}$.



Gambar 1. Kurva Elastis Plastis

(Sumber : ASTM E 2126-02a, dalam Mutawalli, 2007)

Kekakuan

Kekakuan menurut Gere dan Timoshenko (1987), didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk menghasilkan suatu lendutan. Kekakuan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$K = \frac{P_{cr}}{\Delta_{cr}} \dots\dots\dots(5)$$

dengan:

K = kekakuan;

P_{cr} = beban kritis;

Δ_{cr} = simpangan kritis

METODE

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton jadi produksi PT. Jaya Ready Mix, Sika Grout 215 New, baja tulangan merek dagang KS diameter S13, KS diameter S10 dan JKS diameter P6, kayu lapis dan kayu reng digunakan sebagai *bekisting*.

Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rangka Baja (Loading Frame), Hydraulic Jack dan Hydraulic Pump, Load Cell, Data Logger, LVDT (Linear variable Differential Transducer), Strain Gauge. Dengan setting up pengujian seperti Gambar 2.

Perancangan Model

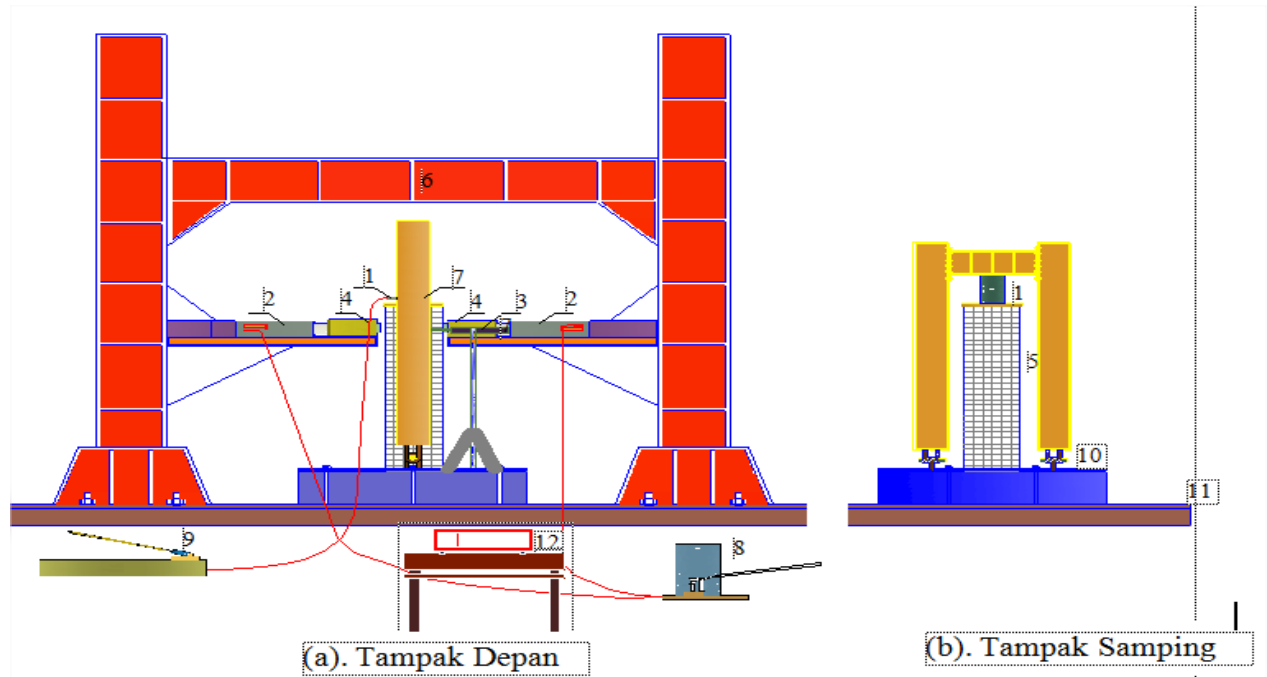
Pada pemodelan penelitian ini digunakan skala 1 : 2. perhitungan dimensinya dihitung berdasarkan perencanaan analisis tampang kolom dengan pemberian beban aksial konstan dan beban siklik secara variabel, sehingga diharapkan akan terjadi runtuh geser. Disamping itu dipertimbangkan terhadap daktilitas benda uji, sehingga direncanakan bahwa daktilitas yang terjadi sedemikian rupa, sehingga struktur daktil. Dalam penelitian ini diangkat permasalahan tentang peningkatan jumlah lantai suatu gedung 2 lantai menjadi gedung 4 lantai, sehingga diperlukan perkuatan kolom. Untuk kolom asli mewakili kolom gedung 2 lantai sedangkan kolom perkuatan mewakili kolom gedung 4 lantai.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan benda uji kolom asli dengan penampang persegi berukuran 150 x 150 mm dan tinggi 700 mm, tebal selimut beton diambil 20 mm, untuk tulangan memanjang digunakan baja ulir (*deformed*) diameter 10 mm sebanyak 8 buah serta sengkang diameter 6 mm dengan jarak 120 mm. Sedangkan untuk 3 kolom setelah perkuatan dipakai penampang lingkaran berukuran 220 mm dengan tinggi 730 mm, , untuk tulangan memanjang digunakan baja ulir (*deformed*) diameter 12 mm sebanyak 8 buah sebagai mortar *jacketing* dipakai kawat kasa dengan diameter kawat 1,7 mm, terdiri dari kotak-kotak kecil yang mempunyai luasan 25 mm x 25 mm dengan tebal lapis perkuatan sebanyak 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapisan. sedangkan sebagai pengisinya mortar *Sika Grout 215 New*.

Benda uji ditempatkan diatas *rigid floor* dengan baut angkur di bawah *loading frame* baja WF 450 x 200 untuk pengujian. Beban lateral siklik dihasilkan dari dua buah *hydraulic jack* yang dipasang pada kiri-kanan *loading frame* dan *load cell* serta indikator *load cell* untuk pembacaan beban lateral. Pemberian beban lateral dengan *hydraulic jack* dilakukan secara bergantian sehingga akan didapatkan gaya lateral siklik. Sedangkan beban aksial konstan diberikan oleh *hydraulic jack* yang diletakkan sentris pada bagian atas benda uji kolom.

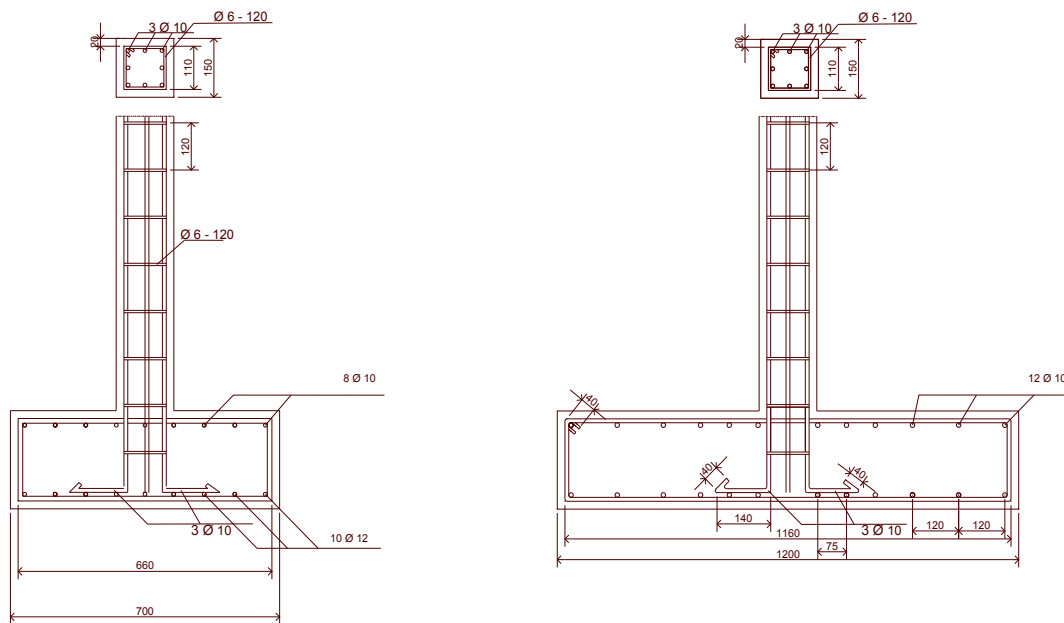
Kriteria kehandalan dalam pengujian sambungan joint kolom-fondasi pada penelitian ini mengacu pada kriteria Amerika Serikat (ACI Standard, (ACI 374.1-05) seperti yang tertuang dalam draft SNI tentang "Metode Uji Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak Untuk Bangunan Gedung".



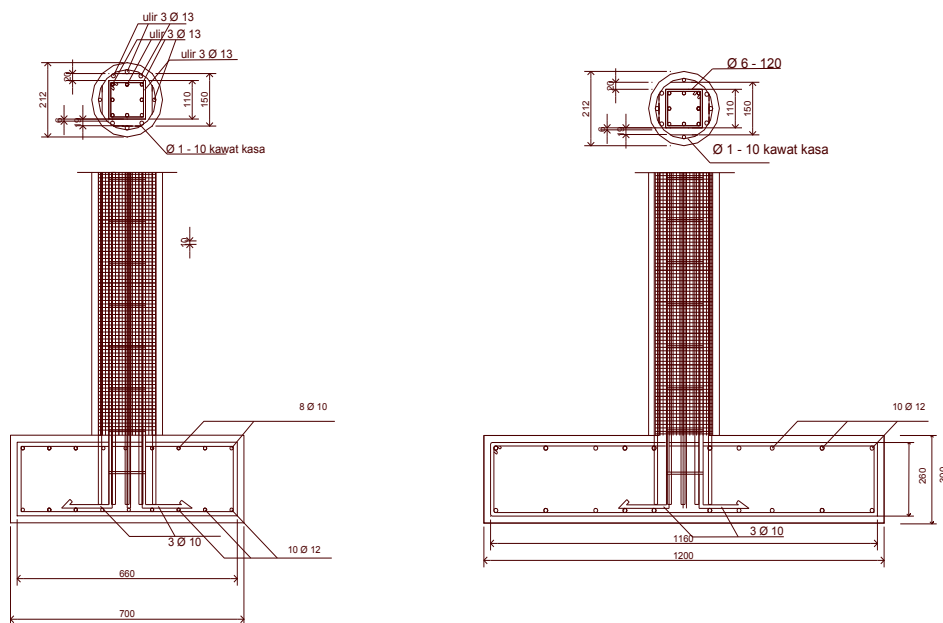
Gambar 2. Setting up pengujian

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------|-------------------------|
| 1. Hydraulic Jack beban aksial | 7. Loading Frame |
| 2. Hydraulic Jack beban lateral | 8. Pompa Hydraulic Jack |
| 3. LVDT | 9. Pompa Hydraulic Jack |
| 4. Load Cell | 10. Sambungan Roof |
| 5. Benda Uji Kolom | 11. Rigid Floor |
| 6. Frame Pengaku | 12. Data Loger |



a. Model Kolom Asli (KA)



b. Model Kolom Perkuatan (KP)

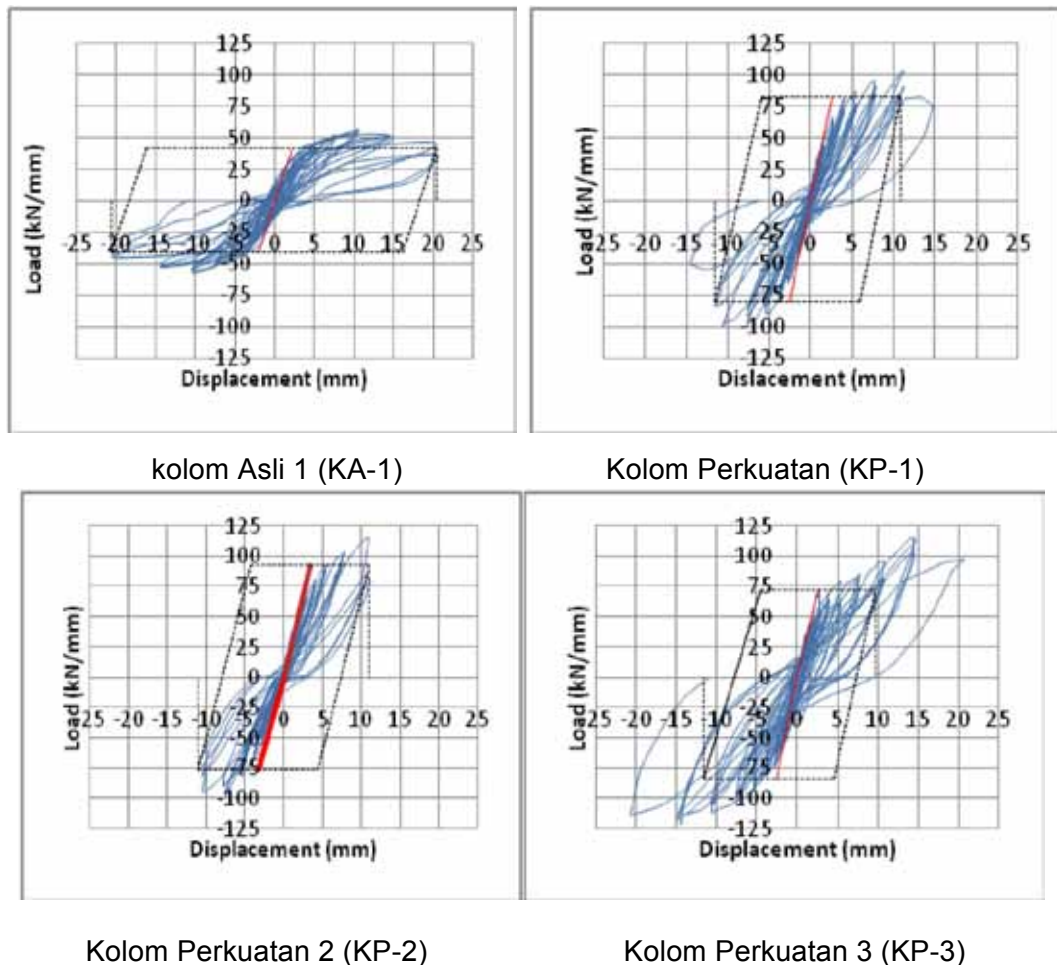
Gambar 3. Prototype benda uji dan penulangannya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Beban dan Displacement (Hyisteritc loop)

Pada Gambar 4 diperlihatkan kurva *hysteritic* yang merupakan hubungan antara beban lateral dan *displacement* pada arah positif dan negatif pada setiap siklusnya. Dari analisis yang dilakukan pada *hysteritic Curve* didapatkan beberapa

parameter hitungan seperti kapasitas beban lateral, kriteria penerimaan, kekakuan, daktilitas, *drift ratio* dan disipasi relatif setiap benda uji kolom.



Gambar 4. Grafik *Hysteresis Loop*

Kapasitas Beban Lateral

Dari hasil penelitian kolom perkuatan yaitu KP-1 terjadi kenaikan kapasitas beban lateral sebesar 90,263%, KP-2 terjadi kenaikan sebesar 101,985%, KP-3 terjadi kenaikan sebesar 124,196% dari rerata kolom asli (KA-1) sebesar 52,90 kN.

Kriteria Penerimaan

Dari Gambar *Hysteritic Curve* (Gambar 4) didapat analisis berdasarkan parameter kriteria penerimaan Darft RSNI 03-XXXX-2006 “Metode Uji Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak Untuk Bangunan Gedung” sebagai berikut : (1) Pada drift rasio 2%, kapasitas gaya lateral kolom hasil pengujian (V_n) pada benda uji KA-1, KP-1, KP-2 dan KP-3 (rata-rata arah positif dan negatif) berturut-turut sebesar 54,9 kN, 101,90 kN, 105,30 kN, dan 108,60 kN. Nilai (V_n) lebih besar dari nilai tahanan leteral (E_n) kolom yang dihasilkan dari

perhitungan analisis struktur sebesar KA-1 : 11,64433 kN dan KP : 36,112 kN. (2) Beban lateral hasil eksperimen (V_n) pada masing-masing benda uji (Tabel 3.1), melebihi batas nilai λ En yang disyaratkan KA: 14,0625 kN, KP : 45,14 kN. (3) Pada pengujian ini baban siklik level maksimum dapat dipenuhi pada rasio drift 2,5% dan memenuhi criteria sebagai berikut: (a) Gaya puncak pada arah beban yang diberikan pada seluruh benda uji kolom tidak kurang dari 0,75 E_{max} pada arah beban yang sama. (b) Disipasi relatif (β) yang merupakan rasio perbandingan antara luasan hysteric loop (A_h) putaran ketiga pada displacement 14,75 mm (nilai drift ratio 2,9%) dengan luasan $(E_1+E_2)(\theta_1'+\theta_2')$ yang ditandai dengan garis putus-putus pada Gambar 4 tidak kurang dari 1/8.

Tabel 1. disipasi relatif

No	Benda Uji	Drift (%)	A_h (kNmm)	E1 (kN)	E2 (kN)	θ_1' (mm)	θ_2' (mm)	β
1	KA-1	2.9	479.915	41.32	41.02	18.29	22.70	0.1593
2	KP-1	2.9	637.217	82.56	80.48	8.40	14.08	0.2326
3	KP-2	2.9	693.244	92.32	76.16	7.60	14.30	0.2707
4	KP-3	2.9	1106.872	72.30	83.47	7.20	14.18	0.4934

Kekakuan pada drift -0,35% sampai 0,35% lebih besar dari 0,05 kali kekakuan awal.

Tabel 2. Perbandingan Nilai kekakuan

No.	Benda Uji	Kekakuan (-0,35%-0,35%) (kN/mm)	0,05 x Ke rerata (kN/mm)
1	KA-1	9,851485	0,492574257
2	KP-1	21,23426	1,061712846
3	KP-2	25,17766	1,258883249
4	KP-3	26.92875	1.346437346

Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa kolom perkuatan dengan kawat kasa memenuhi kriteria penerimaan. Menurut Imran et.al.,(2009) Jika kolom memenuhi kriteria penerimaan, maka kolom dapat digunakan pada SRPMM. Hasil pengujian didapat Kolom perkuatan ini dapat digunakan dengan nilai R (faktor modifikasi respon) maksimum 6.

Kekakuan Kolom

Besarnya nilai kekakuan masing-masing kolom saat mencapai beban lateral maksimum terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban Lateral, *Displacement* dan Kekakuan pada Saat Maksimum

Kode	Beban Lateral	<i>Displacement</i>	Kekakuan
	Vmax (kN)	Δ (mm)	$K = V_{max} / D$
KA1	54,90	14,03	3,913043
KP1	101,90	11,26	9,049733
KP2	98,65	10,96	9,000124
KP3	118,60	14,58	8,134431

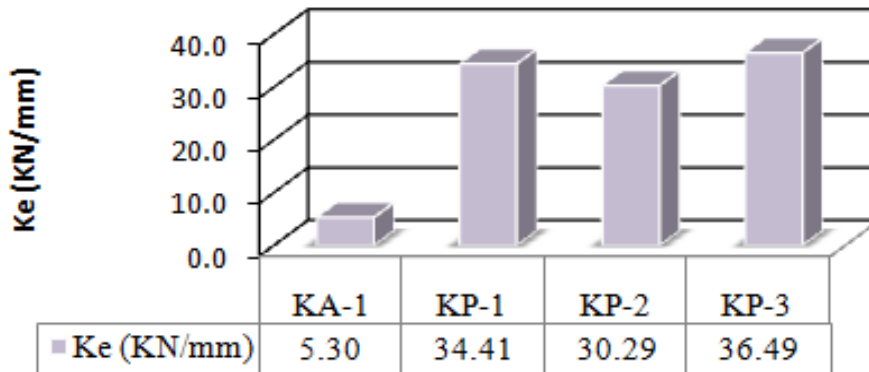
Dari Tabel 3. dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah lapisan kawat kasa maka nilai kekakuan kolom akan semakin menurun.

Daktilitas Kolom

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap kolom asli, yaitu KA-1 diperoleh faktor daktilitas dengan nilai rata-rata $\mu = 5,39$. Terlihat pada Tabel 3.2 pada KP-1 memiliki daktilitas yang lebih besar dibanding kolom asli yaitu 6,273, KP-2 sebesar 3,75, KP-3 sebesar 6,58.

Kekakuan Elastis (Ke)

Nilai kekakuan elastik pada masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.

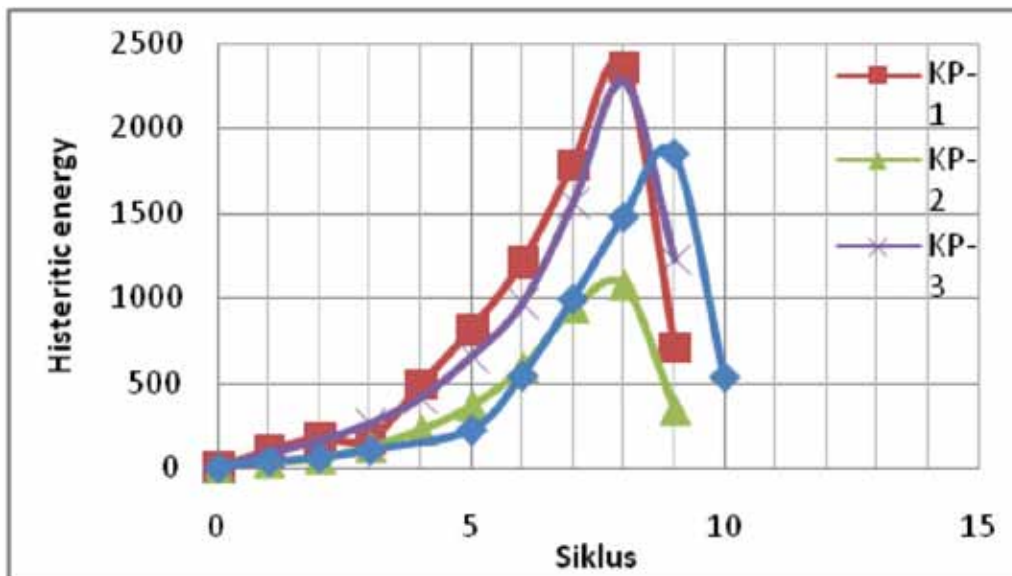


Gambar 5. Nilai rata-rata kekakuan elastis benda uji kolom

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai kekakuan elastik KP-3 paling besar dari benda uji lainnya, sebesar 36,49 kN/mm yang merupakan nilai rata-rata dari kekakuan elastis siklus positif dan siklus negatif sedangkan KP-2 tidak dapat di bandingkan akibat terjadi keruntuhan secara tiba-tiba pada siklus 8 putaran ke 3.

Hysteretic Energy (HE)

Hasil perhitungan *hysteretic energy* dapat dilihat perbandingannya pada Gambar 6.

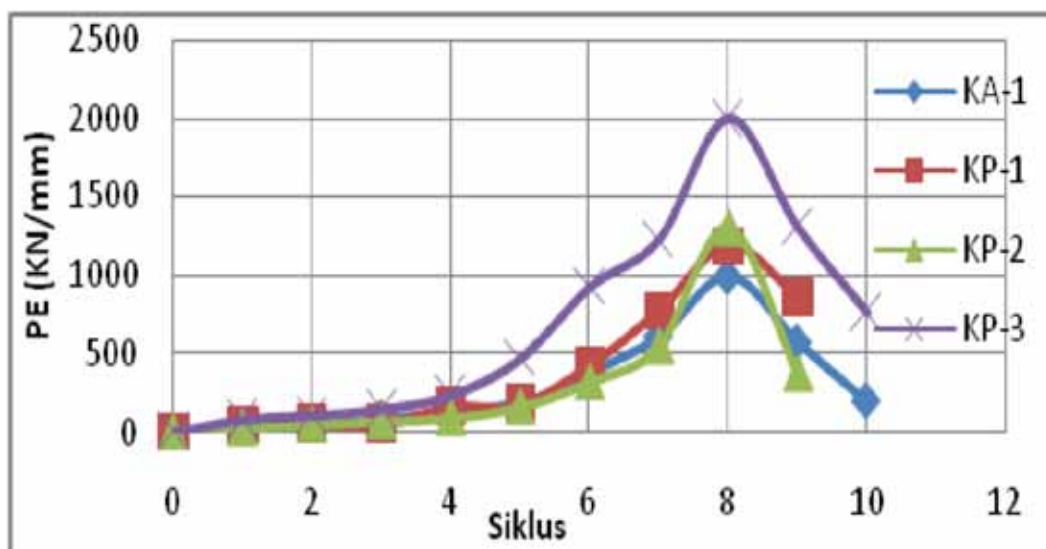


Gambar 6. *Hysteretic Energy* Benda Uji Kolom

Benda uji KP-2 memiliki *hysteretic energy* (HE) yang lebih kecil dibanding benda uji lainnya. Ini menunjukkan bahwa benda uji KP-2 memiliki redaman (*dissipation*) yang lebih kecil. Sedangkan Energi redaman KP-1 lebih besar daripada benda uji lainnya, hal ini berarti KP-1 menyerap gaya horizontal lebih besar dari pada benda uji lainnya.

Potential Energy (PE)

Hasil perhitungan *potential energy* secara ringkas dapat dilihat pada pada Gambar 7.

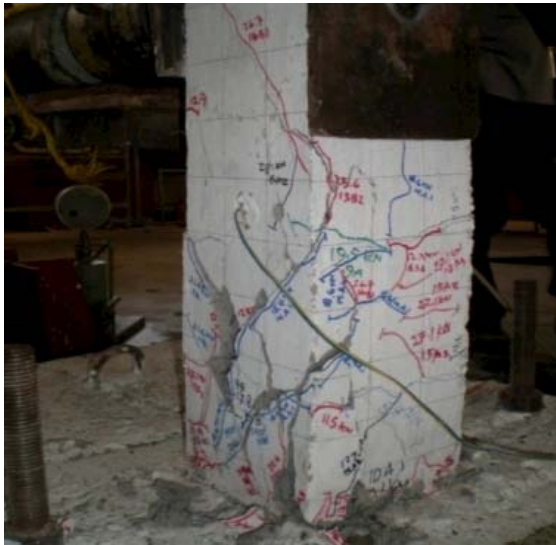


Gambar 7. *Potential Energy* Benda Uji Kolom

Benda uji KP-3 memiliki kapasitas beban dan simpangan yang lebih besar dibanding benda uji lainnya walaupun belum mencapai beban runtuh, sehingga energi potensial (EP) meningkat dibandingkan benda uji lainnya.

Perilaku Retak

Pola retak kolom asli (KA-1) maupun pada kolom perkuatan kawat kasa dengan dengan mortar *jacketting*, yaitu pada KP-1, KP-2 dan KP-3, menunjukkan kerusakan miring atau diagonal yang cukup dominan dalam dua arah. Kerusakan pada KP-3 selain terjadi kerusakan kolom, juga terjadi kerusakan pada daerah pertemuan antara kolom bagian bawah dan fondasi. Pola retak benda uji setelah pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.



a. KA-1



b. KP-1



c. KP-2



d. KP-3

Gambar 8. Pola Retak Kolom Perkuatan

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, kolom perkuatan metode mortar *jacketing* dengan penambahan tulangan dan kawat kasa, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Terjadi kenaikan kapasitas beban lateral sebesar berturut-turut yaitu KP-1 sebesar 190,263%, KP-2 sebesar 201,985%, KP-3 sebesar 224,196% dari rerata kolom asli (KA-1); (2) Kolom KP-3 memperlihatkan bentuk *hysteresis loop* banyak dan luasan *loop* yang lebih besar dibanding kolom lainnya. Dengan disipasi yang lebih besar maka kerusakan struktur akibat gempa diharapkan akan lebih kecil. *Hysteresis loop* kolom perkuatan juga terlihat cenderung tegak dibanding kolom asli yang menunjukkan kekakuan kolom perkuatan yang lebih besar; (3) Penambahan jumlah lapisan kawat kasa pada kolom perkuatan yaitu KP-1, KP-2, KP-3 secara umum terjadi kenaikan *displacement* pada saat beban lateral maksimum dibanding dengan kolom asli (KA-1); (4) *Drift ratio* maksimum pada KA-1 memperoleh nilai 2,07%, Sedangkan KP-1 dan KP-3 berturut-turut 2,52% dan 2,924%. Akan tetapi pada KP-2 nilai *drift ratio* lebih kecil dari 1,50% yaitu 1,192%, kolom termasuk kaku sehingga akan terjadi keruntuhan pada kolom secara tiba-tiba. Sehingga kolom KA-1, KP-1 dan KP-3 memenuhi persyaratan ASCE; (5) Nilai kekakuan yang diperoleh dari pengujian pada kolom perkuatan KA-1 sebesar 3,91 KN/mm, KP-1 sebesar 9,04 KN/mm, KP-2 sebesar 9,01 KN/mm, KP-3 sebesar 8,14 KN/mm; (6) Faktor daktilitas (μ) pada KA-1 adalah 5,451, KP-1 sebesar 6,273, KP-2 sebesar 3,938, KP-3 sebesar 6,667. Dengan demikian semakin ditambah lapisan kawat kasa maka faktor daktilitas semakin meningkat, kecuali KP-2 yang mempunyai nilai daktilitas yang paling kecil dibanding benda uji yang lain. (a) Terjadi kenaikan nilai kekakuan elastik yaitu KP-1 terjadi kenaikan nilai kekakuan elastik sebesar 215,094%, KP-2 terjadi kenaikan sebesar 407,715%, KP-3 terjadi kenaikan sebesar 588,890% dari rerata kolom asli (KA-1) sebesar 5,30 KN; (b) Benda uji KP-3 memiliki kapasitas beban dan simpangan yang lebih besar dibanding benda uji lainnya walaupun belum mencapai beban runtuh, sehingga energi potensial (EP) meningkat dibandingkan benda uji lainnya; (c) Dari pengamatan pola retak yang terjadi pada benda uji kolom asli dan perkuatan dengan kawat kasa, keruntuhannya dapat dikatakan keruntuhan geser, retak yang terjadi didominasi oleh adanya retak miring arah diagonal dalam dua arah.

SARAN

(1) Kemampuan alat dalam pengujian sebaiknya diperhitungkan terlebih dahulu; (2) Dalam pemasangan *loadcell* sebaiknya di pasang dengan posisi yang tepat sehingga data kapasitas lateral siklik dapat terbaca dengan baik; (3) LDVT sebaiknya diperhatikan kapasitasnya, sehingga dalam setiap pengujian tidak perlu merubah letak LVDT; (4) Dalam merencanakan kolom, perlu diperhitungkan kemampuan fondasi sampai mampu menahan beban runtuh pada kolom perkuatan, agar kapasitas kolom dapat bekerja secara maksimum dengan toleransi perhitungan yang lebih longgar, sehingga tidak dipengaruhi oleh kelemahan akibat rusaknya

fondasi, sehingga fondasi sebaiknya didesain secara elastis; (5) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perkuatan *joint* kolom dengan pondasi sehingga penelitian bisa lebih aktual di lapangan; (6) Perlu dilakukan penelitian dengan jenis produk bahan perkuatan ternama lainnya mengenai metode perkuatan ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1]. ACI 374.1-05.2005. **Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing.**
- [2]. Gere, J.M., & Timoshenko, S.P., 1987 (alih bahasa Wospakrik, H. J), **Mekanika Bahan**, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- [3]. Hakim, Budi., 2008, **Perbaikan balok Beton Bertulang Pasca Keruntuhan Tahap Collepes Akibat Beban Siklik dengan Metode Jacketing Kawat Jala las Segi Empat**, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4]. Imran, I., eddy, L., Mujiono dan Fadilla, E., 2009, **Studi Eksperimentl Sambungan Kolo-Kolom Pada Sistem Beton Pracetak Dengan Menggunakan Sleeves**, Seminar dan Pamean HAKI.
- [5]. Kesumah, A., 2008, **Perkuatan Geser Pada Kolom Beton Bertulang Berpenampang Persegi dengan Metoda Concrete Jacketing dan Carbon Fiber Jacket (3 Lapis)**.Tesis, JTS FT UGM, Yogyakarta.
- [6]. Mutawalli, M., 2007, **Stabilitas sambungan struktur baja ringan Smart frame Type T terhadap Beban Siklik pada Bangunan Rumah Sederhana Tahan Gempa Sistem Knock Down**, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [7]. RSNI 03-XXXX-2006, "**Metode Uji Sistem Struktur Rangka Pemikul Momen Beton Bertulang Pracetak Untuk Bangunan Gedung**"., Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- [8]. SNI 03-2847-2002, 2002, **Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- [9]. SNI 03-1726-2002, 2002, **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- [10]. Triwiyono, A., 1997, **Analytical Study for Strength and Ductility of Concrete Column Confined**, The Internasional Advanced Course of Earthquake Disaster Prevention for Building Engineers.
- [11]. Wigroho, dkk. (2004). **Pengaruh Penambahan Fiber Kawat Kasa Terhadap Kapasitas Kolom Penampang Segi Empat**. Jurnal Ilmiah. Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.