

PERILAKU KOLOM BETON YANG DIPERKUAT KOMBINASI WIRE ROPE DAN WIRE MESH

Abdul Kadir¹, Iman Satyarno², Bambang Suhendro³, Andreas Triwiyono⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

^{2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281 Telp 0274 545675

Email: Kadir12340@yahoo.com

Abstrak

Kolom-kolom struktur yang dibangun sebelum Code-Code kegempaan diterapkan berpotensi mengalami keruntuhan saat gempa terjadi. Untuk meningkatkan kinerja elemen dan menghindari resiko keruntuhan dan kehilangan investasi maka diperlukan tindakan perkuatan. Tulisan ini mengevaluasi perilaku dan kinerja kolom yang diperkuat wire rope saja dan kombinasi wire rope dan wire mesh. Benda uji berupa kolom kantilever yang diuji dengan pola quasi statik dan beban aksial konstan. Hasil uji menunjukkan bahwa kolom yang diperkuat wire rope saja dan kombinasi wire rope dan satu lapis wire mesh tidak memberikan banyak peningkatan kekuatan dan kekakuan kolom akan tetapi daktilitas yang dihasilkan signifikan yakni sebesar 2,1 dan 2,77 kali terhadap kolom kontrol. Perkuatan kombinasi wire rope dan wire mesh juga efektif mereduksi dan mencegah formasi retak diagonal dan mampu merubah keruntuhan geser menjadi keruntuhan daktail sehingga perilaku seismik kolom menjadi lebih baik.

Kata kunci: kolom;perkuatan;wire rope;wire mesh, quasi statik

PENDAHULUAN

Kejadian gempa dalam kurun 10 tahun terakhir cenderung meningkat baik frekwensi maupun intensitasnya. Gempa-gempa tersebut menyebabkan banyak bangunan struktur mengalami kerusakan dari kerusakan ringan sampai kerusakan berat bahkan sampai keruntuhan struktur.

Laporan yang disampaikan oleh Ghobarah dkk. (2006) untuk gempa Aceh; EERI (2006), Elnashai dkk (2006), Nizam dan Mardjono (2006), Bali, dkk (2006), Widodo (2007) untuk gempa Yogyakarta; dan Mangkoesobroto (2010) dari gempa Padang menyatakan bahwa tipikal kerusakan atau kegagalan kolom diindikasikan sebagai kerusakan geser atau kegagalan tulangan memanjang akibat tekuk. Penyebab kerusakan dipicu oleh desain struktur yang tidak atau belum sepenuhnya mengikuti kaidah perencanaan struktur tahan gempa. Kerusakan struktur juga terjadi akibat gempa yang melanda melampaui gempa rencana seperti halnya Gempa Aceh dan Padang (Imrandan Hendrik. 2010) dan Gempa Yogyakarta (Elnashaidkk. 2006).

Pada kolom-kolom struktur yang berpotensi mengalami resiko kegagalan atau keruntuhan akibat gempa di masa datang maka diperlukan tindakan perkuatan. Perkuatan dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja pada struktur atau elemen misalnya peningkatan kekuatan, kekakuan, daktilitas atau gabungan. Bahan-bahan perkuatan telah mengalami banyak inovasi dalam tahun-tahun terakhir. Penggunaan bahan-bahan perkuatan selain mempertimbangkan tipe perkuatan yang diinginkan juga ketersediaan dan fleksibilitas dalam penerapannya.

Pemakaian *wire rope* dan *wire mesh* sebagai bahan perkuatan didasarkan pada pertimbangan bahwa selain mudah diperoleh, *wire rope* dan *wire mesh* juga fleksibel dalam membentuk pola kekangan seperti kekangan persegi, hexagonal maupun berbentuk bulat. *Wire rope* merupakan bahan yang mempunyai kuat tarik sangat tinggi, akan tetapi dalam penerapannya sebagai bahan perkuatan, membutuhkan alat dan penanganan khusus. *Wire mesh* merupakan kawat baja anyaman dengan pola anyaman dapat berupa persegi atau hexagonal. *Wire mesh* memiliki sifat-sifat struktural dan mekanikal seperti baja pada umumnya.

Kajian-kajian mengenai efektifitas *wire rope* sebagai perkuatan masih minim dan belum banyak terungkap. Riset-riset perihal kekangan dengan menggunakan *wire rope* baru sebatas perkuatan eksternal yang bersifat aktif. Yelcin (1997), Saatcioglu dan Yelcin (2003), Yarandi (2004),

Yang dkk. (2009) dan Saatcioglu (2010). Hasil-hasil uji menunjukkan bahwa kolom-kolom yang diperkuat dengan *wire rope* dengan penegangan awal dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan dan daktilitas.

Pada penelitian ini dicoba diteliti efektivitas pemakaian *wire rope* dan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* yang diselubungi mortar sebagai bahan perkuatan kolom yang potensial mengalami kegagalan geser atau kombinasi geser-lentur. Penyelubungan atau lilitan *wire rope* dilakukan dengan manual atau tanpa penegangan awal. Tambahan *wire mesh* dimaksudkan agar *wire mesh* dapat berperan lebih awal sebelum *wire rope* bekerja sehingga dapat bersinergi dalam peningkatan kinerja kolom perkuatan.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Karakteristik Benda Uji

Bahan yang digunakan terdiri dari bahan dasar pembuat beton konvensional yakni kerikil, pasir, air dan semen serta bahan pengekang *wire rope* dan *wire mesh*. *Wire rope* yang digunakan dalam penelitian terdiri dari 6 buah pilinan kawat (*strand*) dengan inti berupa pilinan *strand* baja yang disimbolkan dengan 6 x 37 IWSC (*Independent wire strand core*) produksi China. Piliinan *wire rope* merupakan jenis pilinan searah Z. Diameter rata-rata adalah 5,6 mm. *Wire mesh* yang digunakan adalah jenis *Galvanized welded wire mesh* yang merupakan buatan China diproduksi dalam ukuran lebar 0,9 m dan panjang 30 m, dengan diameter kawat 1,67 mm dan jarak grid 40 mm. Hasil uji tarik dilakukan di Laboratorium Vokasi Teknik Mesin UGM. Tegangan leleh *wire mesh* = 466,012 MPa.

Pada penelitian ini rancangan adukan beton untuk benda uji kolom menggunakan standar SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 20 MPa sebagaimana Tabel 1. Rancangan adukan mortar menggunakan mutu rencana 35 MPa. Komposisi bahan campur mortar disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Rancangan campuran benda uji kolom

Kode	Mutu Rencana (MPa)	Campuran (/m ³)				Slump (mm)	Fas
		Berat (kg)					
		Semen PPC	Pasir 0 – 4,8 mm	Kerikil 0 – 20 mm	Air		
C/S	20	375	709	979	225	100-180	0,6

Tabel 2. Rancangan campuran mortar

Mutu rencana (MPa)	Campuran (/m ³)				Rasio semen pasir	Fas
	Berat (kg)					
	Semen PPC	Pasir 0 - 2 mm	Air	Viscocrete 1,4% b. Semen		
35	665,71	1333,93	306,23	9,32	1:1,65	0,46

Program pengujian

1. Benda Uji

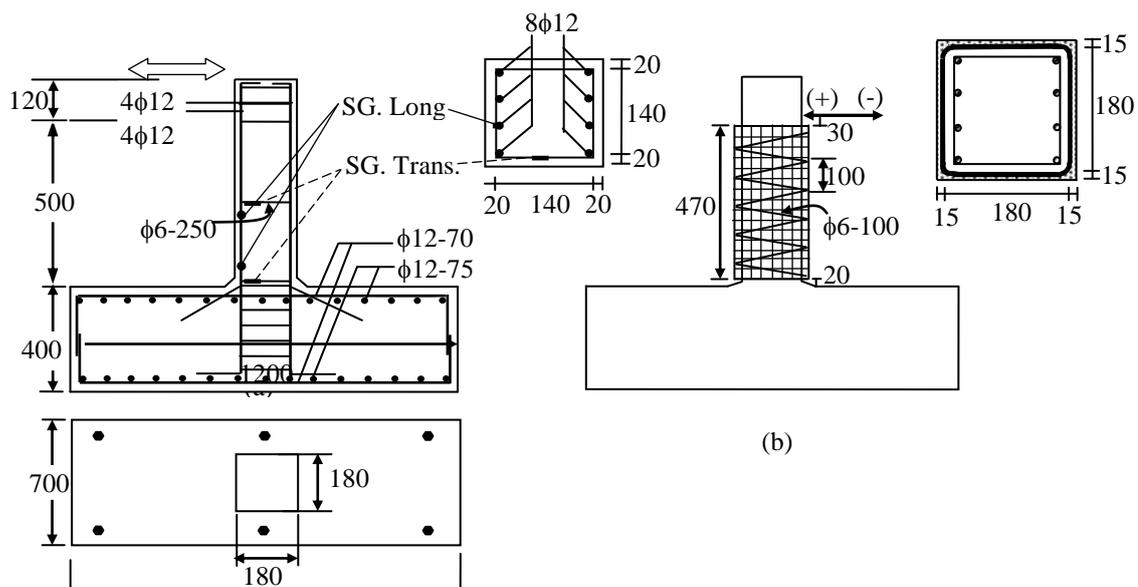
Benda uji terdiri dari satu buah kolom kontrol dan dua buah kolom perkuatan. Kolom kontrol (C-KTR) merepresentasikan kolom pada struktur bangunan lama yang didesain sebelum Code kegempaan diterapkan dan potensial terjadi kegagalan geser. Untuk memungkinkan kolom gagal dalam geser maka rasio tulangan lentur diperbesar dan jarak sengkang diperlebar. Karakteristik dan detail benda uji kontrol disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 1(a). Kolom perkuatan terdiri dari satu buah perkuatan *wire rope* (C-WR) saja dan satu buah perkuatan dengan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* (C-WR-M1). Karakteristik benda uji perkuatan disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Karakteristik benda uji kontrol

Kode Benda Uji	Dimensi (mm)	Tul. memanjang		Tulangangeser			Mutubeton f'_c (MPa)	kait
		Rasio (%)	f_y (MPa)	Rasio (%)	Rasio vol.	f_{yh} (MPa)		
C-KTR	180 x 180	3,189	301,599	0,113	0,303	379,296	28,330	90 ⁰

Tabel 4. Karakteristik benda uji perkuatan

Kode	Wire rope (ϕ -mm)	Wire mesh (V_r)	Rasio vol. (ρ_v) (%)	Mutubeton (MPa)	Mutumortar (MPa)	Tebaljaket (mm)
C-WR	$\phi 6-100$	-	0,531	27,964	35,466	15
C-WR-M1	$\phi 6-100$	0,008	0,636	26,872	36,271	15



Gambar 1. (a) Detail benda uji kolom kontrol, (b) Detail kolomperkuatan

Perkuatan dengan *wire rope*

Perkuatan kolom dengan *wire rope* (C-WR) dilakukan dengan melilitkan *wire rope* setinggi perkuatan kolom. Lilitan *wire rope* dimulai dari dasar kolom dengan sekali lilitan horisontal mengitari kolom dan dilanjutkan ke-bagian atas kolom berbentuk spiral dengan spasi lilitan 100 mm. Sebelum lilitan ke bagian atas dimulai, ujung *wire rope* diikat pada angker disisi kolom sebagai pegangan saat pengencangan atau penarikan *wire rope* dan kemudian diputus setelah lilitan selesai. Pengencangan atau penarikan *wire* dilakukan secara manual, sekuat tenaga orang dewasa.

Perkuatan dengan *wire rope* + *wire mesh*

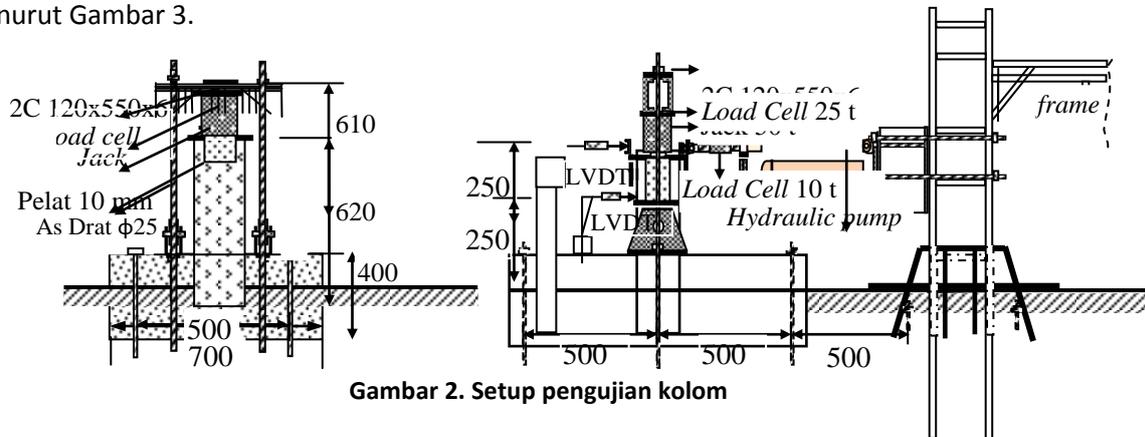
Perkuatan kolom dengan gabungan *wire rope* dan *wire mesh* (C-WR-M1) adalah kombinasi menggunakan dua bahan perkuatan dimana *wire rope* ditempatkan pada sisi bagian dalam dan *wire mesh* berada pada sisi bagian luar. Tidak ada pemisah antara lapisan *wire rope* dan *wire mesh*.

2. Instrumen dan Setup Pengujian

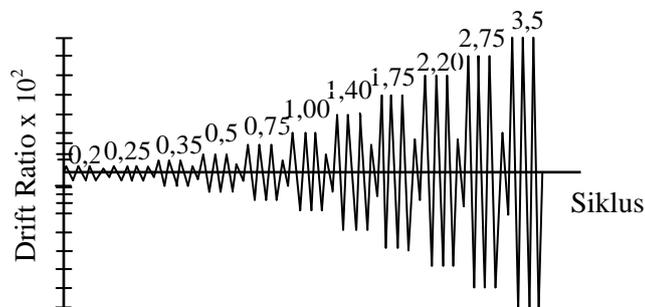
Sebelum diuji, blok pondasi kolom di jepit/angker pada lantai kaku laboratorium. Dua buah LVDT *Linier variable differential transducer* (LVDT-1, dan 2) masing-masing dipasang pada tinggi dan setengah bentang geser kolom. Posisi pengukuran perpindahan ditunjukkan dengan Gambar2. Lokasi penempatan *strain gauge* dipilih sedemikian sehingga dapat memperoleh informasi yang

mewakili perilaku regangan pada tulangan, baik tulangan memanjang maupun tulangan sengkang. Lokasi *strain gauge* pada kolom uji control ditunjukkan dengan Gambar1(a)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua kondisi beban yakni beban aksial dan horisontal. Beban aksial diberikan oleh *hydraulic jack* sebesar $0,25A_g f_c$ atau 162 kN dengan besaran yang konstan selama pengujian. Beban horizontal diberikan *hydraulic jack* dengan riwayat beban menurut Gambar 3.



Gambar 2. Setup pengujian kolom

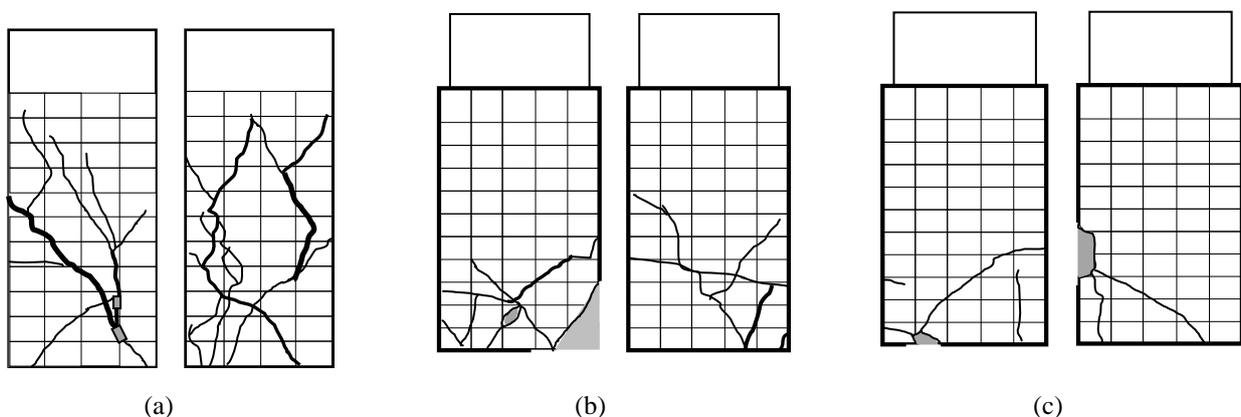


Gambar 3. Skenario pembebanan benda uji kolom control dan kolom perkuatan (ACI T1.1-01, 2001)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perilaku retak

Retak pada kolom kontrol didominasi retak diagonal dan retak belah. Formasi retak lebih banyak dan cenderung menuju ke atas atau tumpuan yang membentuk mekanisme *strut* atau busur. Lebar retak sangat lebar pada kedua sisi kolom.



Gambar 4. Pola retak yang terjadi, (a) Kolom kontrol (C-KTR), (b) Kolom perkuatan *wire rope* (C-WR), (c) Kolom perkuatan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh*

Retak yang terjadi pada kolom perkuatan dengan *wire rope* saja (C-WR) lebih sedikit dibanding dengan retak pada kolom C-KTR. Retak belah tidak tampak sebagaimana retak pada

kolom kontrol. Sudut-sudut retak terhadap bidang horisontal lebih kecil dibanding sudut retak pada kolom kontrol. Tampak bahwa perkuatan dengan *wire rope* mampu menghambat pertumbuhan retak miring atau retak diagonal.

Retak pada kolom perkuatan kombinasi *wire rope* + *wire mesh* lebih sedikit dibanding retak pada kolom kontrol (C-KTR) maupun kolom C-WR. Cabang-cabang retak tidak terjadi dan hanya berupa retak-retak tunggal dengan sudut lebih kecil dari kolom kontrol dan kolom C-WR.

Perkuatandengan *wire rope* saja maupun kombnasi *wire rope* dan *wire mesh* dapat membentuk mekanisme truss yang menghambat pertumbuhan retak miring, mengurangi lebar retak dan memperkecil sudut retak terhadap bidang horisontal sehingga perilaku geser atau perilaku gempunya menjadi lebih baik.

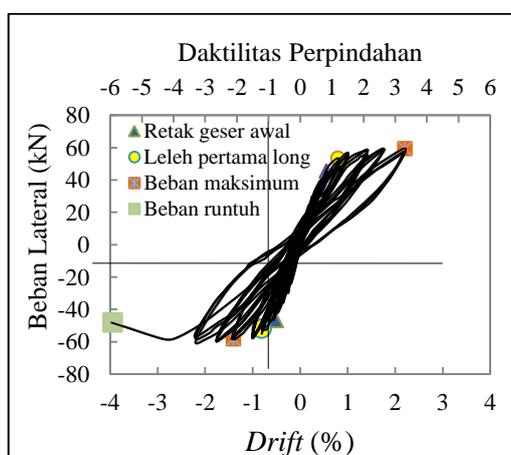
Perilaku siklik kolom kontrol dan kolom perkuatan

Perilaku siklik kolom kontrol (C-KTR)

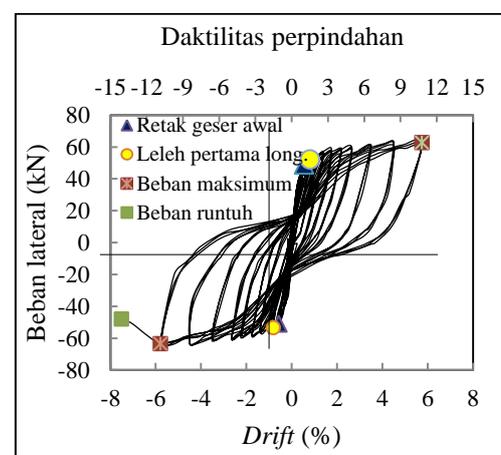
Perilaku siklik kolom dilukiskan dalam kurva histerisis hubungan beban dengan *drift* atau daktilitas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Retak geser pertama terjadi pada *drift* 0,55% siklus pertama untuk beban dorong dan tarik. Beban retak awal terjadi beban 45,46 kN untuk beban dorong, dan 45,60 kN untuk beban tarik. Leleh pada tulangan memanjang terjadi pada *drift* 0,81% siklus ketiga untuk beban dorong dan *drift* 0,79% pada siklus pertama untuk beban tarik. Beban leleh awal terjadi beban 51,8 kN untuk beban dorong, dan 53,44 kN untuk beban tarik. Beban puncak terjadi pada *drift* 1,14% siklus pertama untuk beban dorong dan *drift* 2,20 % pada siklus pertama untuk beban tarik. Beban puncak terjadi beban 58,11 kN untuk beban dorong, dan 59,47 kN untuk beban tarik. Degradasi 20% beban puncak terjadi pada *drift* 3,94% dengan beban 48,16 kN.

Perilaku siklik kolom perkuatan dengan *wire rope* saja (C-WR)

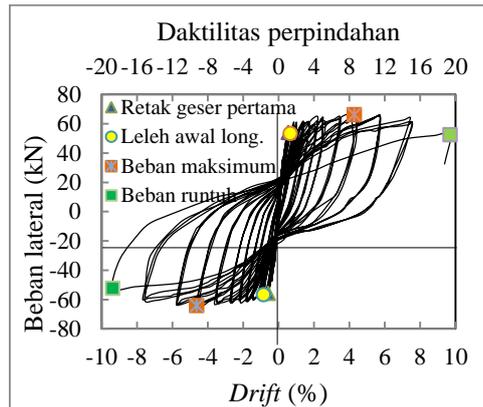
Kurva histerisis kolom perkuatan dengan *wire rope* saja ditunjukkan dengan Gambar 5. Retak geser pertama terjadi pada *drift* 0,56% siklus pertama untuk beban dorong dan *drift* 0,55% untuk beban tarik. Beban retak awal terjadi beban 50,99 kN untuk beban dorong, dan 48,89 kN untuk beban tarik. Leleh pada tulangan memanjang terjadi pada *drift* 0,80% siklus kedua untuk beban dorong dan *drift* 0,82% pada siklus pertama untuk beban tarik. Beban leleh awal terjadi beban 53,47 kN untuk beban dorong, dan 52,10 kN untuk beban tarik. Beban puncak terjadi pada *drift* 5,78 % siklus pertama untuk beban dorong dan *drift* 5,75% pada siklus pertama untuk beban tarik. Beban puncak terjadi pada *drift* beban 63,34 kN untuk beban dorong, dan 62,73 kN untuk beban tarik. Degradasi 20% beban puncak terjadi pada *drift* 7,5% dengan beban 47,92 kN.



(a)



(b)



(c)

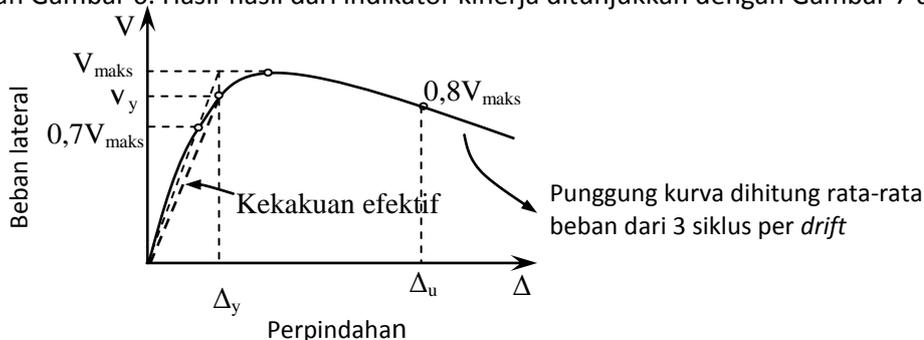
Gambar 5. Kurva histeresis dan titik-titik penting kolom, (a) Kolom kontrol, (b) Kolom perkuatan perkuatan (C-WR), (c) Kolom perkuatan (C-WR-M1)

Perilaku siklik kolom perkuatan kombinasi wire ropedan satu lapis wire mesh (C-WR-M1)

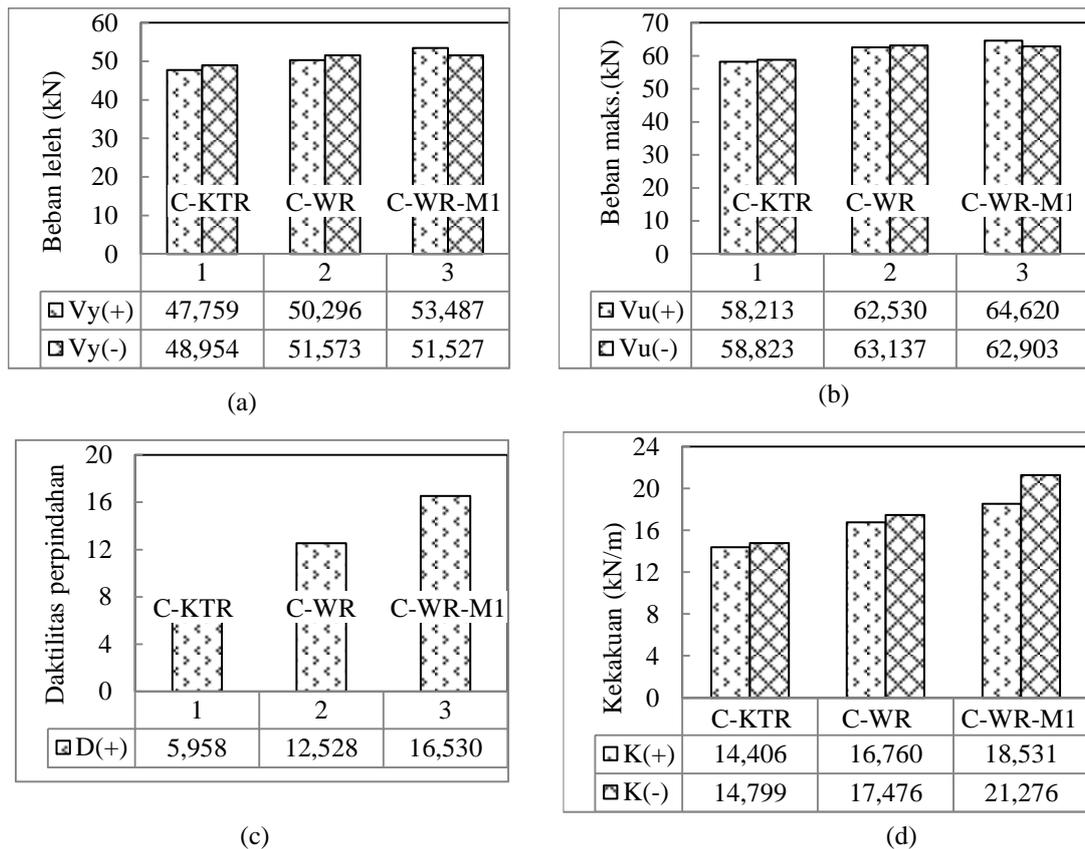
Kurva histeresis kolom perkuatan kombinasi *wire rope* dan satu lapis *wire mesh* (C-WR-M1) ditunjukkan dengan Gambar 5. Retak geser pertama terjadi pada *drift* 0,57% siklus pertama untuk beban dorong dan *drift* 0,55% untuk beban tarik. Beban retak awal terjadi beban 55,75 kN untuk beban dorong, dan 54,10 kN untuk beban tarik. Leleh pertama pada tulangan memanjang terjadi pada *drift* 0,85% siklus kedua untuk beban dorong dan *drift* 0,68% pada siklus kedua untuk beban tarik. Beban leleh awal terjadi beban 56,80 kN untuk beban dorong, dan 53,32 kN untuk beban tarik. Beban puncak terjadi pada *drift* 4,62 % siklus pertama untuk beban dorong dan *drift* 4,28% pada siklus pertama untuk beban tarik. Beban puncak terjadi pada *drift* beban 64,15 kN untuk beban dorong, dan 66,11 kN untuk beban tarik. Degradasi 20% beban puncak terjadi pada *drift* 9,36% untuk beban dorong dan 9,7% untuk beban tarik. Beban pada degradasi tersebut adalah 52,33 kN untuk beban dorong dan 52,46 kN untuk beban tarik.

Perbandingan perilaku dan kinerja siklik kolom kontrol dan perkuatan

Indikator kinerja kolom kontrol (C-KTR) dan kolom perkuatan C-WR dan C-WR-M1 adalah beban leleh (V_y), beban maksimum (V_u), Daktilitas dan kekakuan. Beban leleh diperoleh dari leleh pertama pada tulangan longitudinal, Beban maksimum adalah beban terbesar dari rata-rata tiga siklus pada pada satu *drift* dan tidak termasuk efek P- Δ . Daktilitas adalah rasio perpindahan ultimit (dihitung saat beban mengalami penurunan 20% dari beban puncak) terhadap beban leleh. Kekakuan dihitung adalah kekakuan efektif atau awal yang dihitung dari rasio beban leleh terhadap perpindahan leleh. Penentuan beban leleh, perpindahan leleh, dan perpindahan ultimit berdasarkan Gambar 6. Hasil-hasil dari indikator kinerja ditunjukkan dengan Gambar 7 dan Tabel 5.



Gambar 6. Penentuan beban leleh, perpindahan leleh, dan perpindahan ultimit



Gambar7. Kurva kinerja kolom C-KTR, C-WR dan C-WR-M1, (a) Beban leleh, (b) Beban maksimum, (c) Daktilitas, dan (d) Kekakuan

Tabel 5. Hasil-hasil perbandingan perilaku kolom kontrol dan perkuatan

Benda uji kontrol dan perkuatan	Rasio beban leleh		Rasio kekuatan		Rasio daktilitas		Rasio kekakuan	
	V_p/V_y (-)	V_p/V_y (+)	V_p/V_u (-)	V_p/V_u (+)	μ_p/μ_{ktr} (-)	μ_p/μ_{kt} r	K_p/K_{ktr} (-)	K_p/K_{ktr} (+)
C-KTR	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	1,000	1,000
C-WR	1,054	1,053	1,073	1,074	2,103	-	1,181	1,163
C-WR-M1	1,053	1,120	1,069	1,110	2,774	-	1,438	1,286

Hasil-hasil uji banding sebagaimana disajikan pada Tabel 5 bahwa beban leleh kolom perkuatan C-WR, dan C-WR-M1 meningkat sebesar 1,054; dan 1,053 kali beban leleh kolom kontrol untuk beban dorong, sedangkan beban leleh pada kondisi beban tarik meningkat sebesar 1,053; dan 1,120 kali.

Kekuatan kolom perkuatan dengan C-WR, dan C-WR-M1 menunjukkan peningkatan sebesar 1,073; dan 1,069 kali kekuatan kolom kontrol untuk beban dorong, dan 1,074; dan 1,110 kali kolom kontrol terhadap beban tarik. Walaupun kolom perkuatan C-WR, dan C-WR-M1 menunjukkan adanya peningkatan kekuatan akan tetapi rasio kekuatan yang dihasilkan relatif tidak signifikan. Kondisi demikian disebabkan karena *wire rope* terlambat bekerja.

Daktilitas perpindahan kolom perkuatan C-WR, dan C-WR-M1 menunjukkan peningkatan sebesar 2,103; dan 2,774 kali kekuatan kolom kontrol untuk beban dorong.

Kekakuan kolom perkuatan dengan C-WR, dan C-WR-M1 menunjukkan peningkatan sebesar 1,181; dan 1,438 kali kekuatan kolom kontrol untuk beban dorong. Sedangkan untuk beban tarik kekakuan yang dihasilkan sebesar 1,163; dan 1,286 kali terhadap kolom kontrol.

KESIMPULAN

Dari uraian dan paparan diatas dapat disimpulkan;

1. Perkuatan dengan *wire rope* dan perkuatan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* efektif menghambat pertumbuhan retak miring sehingga perilaku seismik kolom menjadi lebih baik.
2. Perkuatan dengan *wire rope* dan perkuatan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* meningkatkan daktilitas yang signifikan sebesar 2,1 dan 2,77 kali kolom kontrol
3. Perkuatan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* sangat sesuai dengan prinsip desain berbasis kinerja dimana daktilitas dan perpindahan menjadi parameter utama.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI T1.1-01, 2001, Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing, *American Concrete Institute*, Detroit, USA
- ACI 549.1R-93, 1999, Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement, *ACI Committee 549, American Concrete Institute*, Detroit, USA
- EERI, 2006, Learning from Earthquake: The M_w 6.3 Java, Indonesia, Earthquake of May 27, *EERI Special Report*.
- Elnashai, A. S., Kim, S.J., Yun, G.J., and Sidarta, D., 2007, The Yogyakarta Earthquake of 27, 2006, *MAE Center Report No. 07-02, Mid-America Earthquake Center*, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Ghobarah, A., Saatcioglu, M., and Nistor, I., 2006, The impact of the 26 December 2004 Earthquake and Tsunami on Structures and Infrastructure, *Engineering Structure*, 312-326pp.
- Imran, I., dan Hendrik, F., 2010, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*, Penerbit ITB, Bandung
- Mangkoesobroto, S. P., 2009, Padang Earthquake of September 30, 2009 Why it is so devastating, *Seminar dan Pameran HAKI 2010*
- Nizam, and Mardjono, F., 2006, Evaluation of School Buildings in Jogja and Jateng Subjected to 27th May Earthquake – the hard lessons, *Prosiding : Earthquake Engineering and Infrastructure & Building Retrofitting*, Yogyakarta
- Saatcioglu, M., 2010, *Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Columns*, University of Ottawa
- Saatcioglu, M., dan Yalcin, C., 2003, External Prestressing of Concrete Columns for Improved Seismic Resistance, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, August, 1057-1070pp
- SNI 03-2834-2000, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standardisasi Nasional, BSN.
- Widodo, 2007, Kerusakan Bangunan pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006: Akibat sebelum penjelasan Code, Sosialisasi atau Pelaksanaan, *Seminar dan Pameran HAKI 2007*.
- Yalcin, C., 1997, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Reinforced Concrete Bridge Columns, *Dissertation Philosophy Doctor*, University of Ottawa, Canada.
- Yang, K.H., Ashour, A.F., dan Lee, E.T., 2009, Axial behavior of Reinforced Concrete Short Columns Strengthened with Wire Rope and T-Shaped Steel Plate Unit, *Magazine of Concrete Research*, No 2. March, 143-154pp
- Yarandi, M.S., Saatcioglu, M., dan FOO, S., 2004, Rectangular Concrete Columns Retrofitted by External Prestressing for Seismic Shear Resistance, *13th WCEE, Vancouver, B.C., Canada*.