

PENGARUH KEKANGAN KOMBINAS WIRE ROPE DAN WIRE MESH TERHADAP KUAT TEKAN SILINDER BETON

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

Tulisan ini mengevaluasi efektifitas kinerja kekangan kombinasi wire rope dengan wire mesh. Dua puluh empat buah silinder beton normal yang terbagi dalam 3 kelompok yakni 1) silinder terkekang kombinasi wire rope spasi spiral 2, 4, 6 dan 8 cm dengan satu lapis wire mesh (WRX-M1), 2) variasi spasi wire sama dengan tipe1 kombinasi dengan 2 lapis wire mesh (WRX-M2), 3) spasi wire rope sama dengan tipe 1 dan 2 kombinasi dengan 3 lapis wire mesh(WRX-M3). Silinder diujii dengan pengujian tekan uniaksial. Hasil-hasil uji menunjukkan bahwa silinder dengan kekangan kombinasi wire rope dan wire mesh dapat meningkatkan kuat tekan silinder dan berdeformasi lebih besar sebelum runtuh. Kuat tekan dan deformasi juga meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lapis wire mesh atau meningkatnya volumetrik kekangan. Peningkatan tegangan puncak kombinasi wire rope dan satu lapis wire mesh (SRX-M1), dua lapis wire mesh (SRX-M2) dan tiga lapis wire mesh (SRX-M3) berkisar antara 1,206-2,634; 1,328-2,634 dan 1,89-2,80 kali tegangan puncak silinder tanpa kekangan

Kata kunci;wire rope, wire mesh, kekangan, silinder beton, kuat tekan

PENDAHULUAN

Kekangan dalam beton bertulang merupakan bagian yang berfungsi sebagai pengikat tulangan memanjang pada balok, kolom, dinding geser maupun pada join. Sejumlah riset menunjukkan bahwa kekangan memainkan peran penting dalam mencegah retak dan kegagalan geser dini, meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur sertameningkatkan daktilitas elemen.

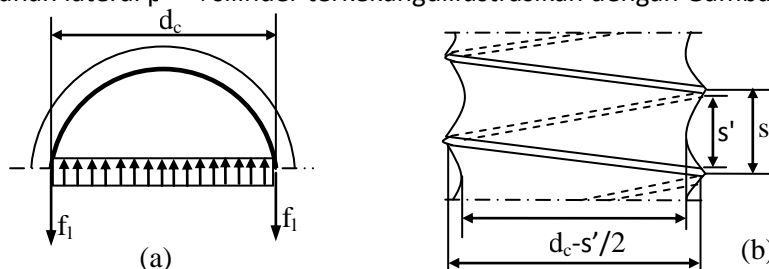
Sejak dimotori oleh Richart dkk. (1929), penelitian dan kajian perilaku dan efektifitas kekangan telah dilakukan oleh banyak peneliti. baik konfigurasi, keluasan maupun variasi-variasinya. Kajian efektifitas dan kinerja kekangan dengan menggunakan bahan mutu tinggi maupaun sangat tinggi dengan beton normal atau beton mutu tinggi juga menjadi perhatian pada tahun terakhir ini.

Wire rope merupakan bahan baja selain bermutu sangat tinggi juga bersifat sangat fleksibel, mudah dibentuk atau dikombinasikan dengan pengekang lainnya. Walaupun memiliki karakteristik unggulan dan sangat potensial sebagai pengekang,tetapi efektifitas kinerjanya belum banyak terungkap dan belum diketahui secara jelas. Penelitian ini akan dievaluasi efektifitas kombinasi kekangan wire rope dan wire mesh pada silinder yang diuji tekan uniaksial.

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Kekangan Lateral dan Kuat Tekan akibat Kombinasi Kekangan

Aksi tekanan lateral pada silinder terkekangdiilustrasikan dengan Gambar 1.



Gambar 1(a). Tekanan kekang lateral sengkang spiral atau cincin, (b) busur vertikal dan spasi pengekang

Tekanan lateral yang dimobilisasikan spiral atau bulat dinyatakan dengan;

$$f_l = \frac{2A_{sh}f_{yh}}{sd_c} \quad (1)$$

Dengan;

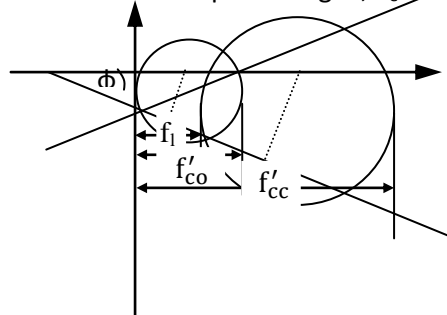
A_{sh} = luas tulangan pengekang, f_{yh} = tegangan leleh pengekang, s = spasi pengekang, dan d_c = diameter kekangan.

Kuat tekan akibat kombinasi kekangan dapat ditentukan dengan menggunakan selimut runtuh atau lingkaran Mohr sebagaimana Gambar 2 dan dirumuskan menurut persamaan 2.

$$f'_{cc} = f'_c + f_l \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = f'_{co} + \sum f_l k_e \quad (2)$$

Dengan;

f'_{co} = kuat tekan silinder tanpa kekangan, k_e = koefisien efektif kekangan.



Gambar 2. Selimut keruntuhan Mohr-Coulomb

Tegangan Leleh Kekangan

Hasil-hasil uji Sun dkk. (1994) dan Suzuki dkk. (2004) menunjukkan bahwa tegangan baja mutu tinggi/sangat tinggi belum leleh saat tegangan puncak tercapai. Sun dkk. (1994) merekomendasikan tegangan baja yang digunakan kurang dari 686 MPa. Suzuki dkk. (2004) merekomendasikan tegangan baja yang digunakan kurang dari 0,5 tegangan leleh. ACI 318-08 (2008) membatasi tegangan leleh $f_{yh} \leq 689$ MPa, CSA 2A.23.3-04 (2004) merekomendasikan tegangan leleh $f_{yh} \leq 500$ MPa. NZS 3101-06 (2006) mengusulkan tegangan leleh ≤ 800 MPa.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Metode Penelitian

1. 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 ropedan wire mesh*. *Wire rope* yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3 terdiri dari 6 buah pilinan kawat (*strand*) dengan inti berupa pilinan *strand* baja yang disimbolkan dengan 6 x 37 IWSC (*Independet wire strand core*) produksi China. Pilinan *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 dengan diameter 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. Tipikal *wire mesh* yang digunakan ditunjukkan dalam Gambar 3.



(a) (b)
2. Rancangan Camj Gambar 3. *Wire rope* dan *wire mesh* yang digunakan

Benda uji silinder dirancang dengan mutu 20 MPa mengacu pada SNI-03-2834-2000, dengan komposisi bahan susun sebagaimana tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan komposisi campuran benda uji

Kode	Mutu Rencana (MPa)	Campuran (/m ³)				Slump (mm)	Fas
		Berat (kg)					
		Semen PPC	Pasir 0 – 4,8 mm	Kerikil 0 – 20 mm	Air		
PC/CSR	20	394,737	500,479	1167,784	225	100-180	0,57

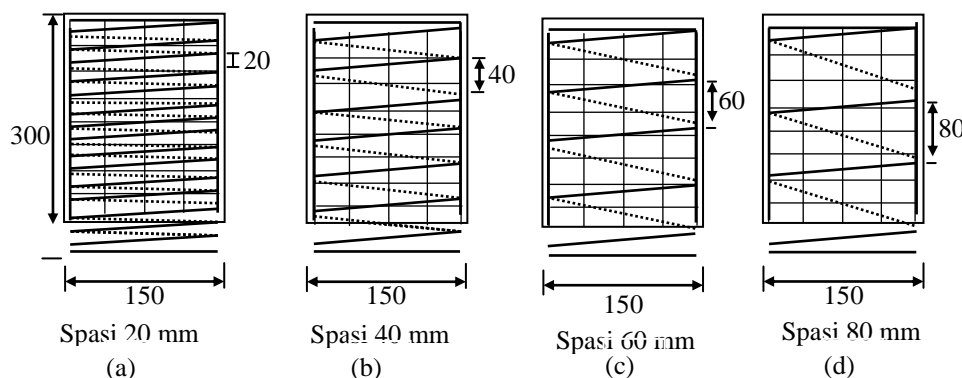
3. Benda Uji

Benda uji dibuat dalam tiga kelompok yakni 1) kombinasi *wire rope* dengan spasi bervariasi (20, 40, 60, dan 80 mm) dengan satu lapis *wire mesh* (SRX-M1), 2) kombinasi *wire rope* dengan dua lapis *wire mesh* (variasi spasi *wire rope* sama dengan kelompok 1) (SRX-M2), 3) kombinasi *wire rope* ditambah tiga lapis *wire mesh* (SRX-M3). Dua buah selinder kontrol (tanpa kekangan) juga dibuat untuk masing-masing kelompok dengan tegangan puncak diwakili dari rata-rata dari dua buah selinder tersebut (SK1-SK2K,SK3). Setiap variasi terdiri dari dua buah benda uji. Total benda uji untuk ketiga kelompok tersebut adalah 23 buah (SR2.2-M1 gagal uji). Rasio volumetrik setiap variasi benda uji untuk masing-masing kelompok ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rasio volumetrik SRX-M1, SRX-M2 dan SRX-M3

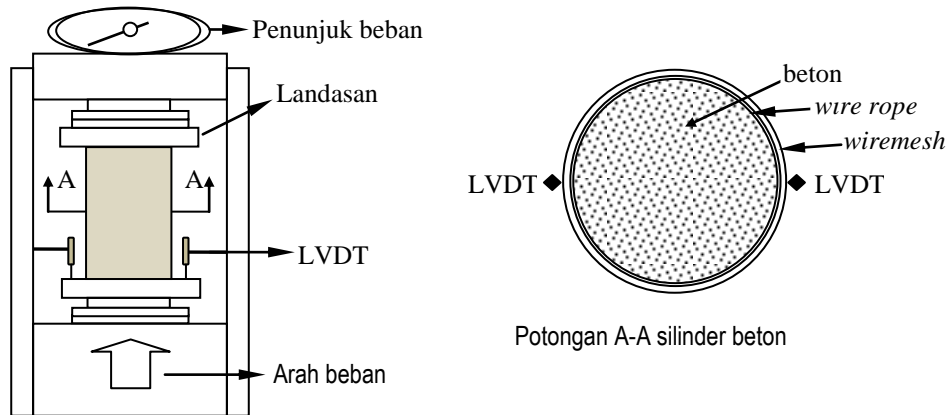
Benda uji	Rasio volumetrik (SRX-M1)		Rasio volumetrik (SRX-M2)		Rasio volumetrik (SRX-M3)	
	w. mesh	w. rope	w. mesh	w. rope	w. mesh	w. rope
	ρ_{vm} (%)	ρ_{vr} (%)	ρ_{vm} (%)	ρ_{vr} (%)	ρ_{vm} (%)	ρ_{vr} (%)
SK1/SK2/SK3	-	-	-	-	-	-
SR2.1-M1/2/3	0,16	3,70	0,31	3,78	0,48	3,90
SR2.2-M1/2/3	-	-	0,31	3,78	0,48	3,87
SR4.1-M1/2/3	0,15	1,84	0,31	1,89	0,48	1,95
SR4.2-M1/2/3	0,15	1,84	0,32	1,93	0,48	1,95
SR6.1-M1/2/3	0,16	1,23	0,32	1,26	0,48	1,29
SR6.2-M1/2/3	0,16	1,23	0,31	1,26	0,48	1,30
SR8.1-M1/2/3	0,16	0,92	0,31	0,94	0,48	0,97
SR8.2-M1/2/3	0,16	0,93	0,31	0,94	0,49	0,99

Wire rope ditempatkan sebagai kekangan bagian dalam dan *wire mesh* sebagai kekangan atau lapisan luar. Antara *wire rope* dan *wire mesh* atau antara lapis *wire mesh* dibuat tanpa ada gap. Selimut *wire mesh* dari sisi luar selinder beton berjarak 5 mm. Ujung *wire rope* dan *wire mesh* diputus setelah dilewatkan sepanjang 50 mm. Konfigurasi kombinasi kekangan *wire rope* dan *wire mesh* ditunjukkan dengan Gambar 4.



Program Per Gambar 4. Konfigurasi kombinasi kekangan *wire rope* dan *wire mesh*

Sebelum uji permukaan silinder diratakan dengan menggunakan beierang agar beban terdistribusi merata pada permukaan silinder. Dua buah *linier variable differential transducer* (LVDT) berkapasitas 50 mm dipasang bersebelahan (180^0) yang dihubungkan dengan *portable data logger* sebagai perekam perpindahan benda uji saat pengujian berlangsung. Perpindahan benda uji adalah hasil rata-rata dua buah LVDT. Benda uji diuji menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) berkapasitas 2 ton dengan *set up* pengujian ditunjukkan dengan Gambar5. Arah pembebanan ke atas dan besar beban yang bekerja dapat dibaca pada jarum penunjuk beban yang terletak bagian atas mesin uji.

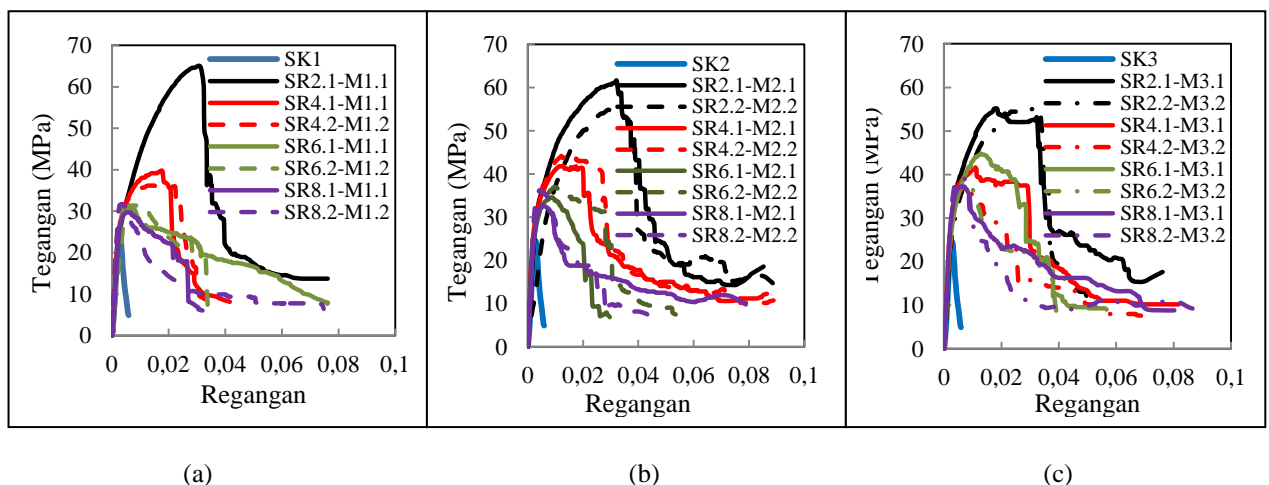


Gambar 5. Set up uji tekan dan potongan benda uji silinder beton

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Tegangan-Regangan dan Tegangan Puncak

Hasil uji tekan silinder terkekang dinyatakan dalam bentuk kurva tegangan-regangan sebagaimana pada Gambar6. Merujuk dari Gambar 6, tegangan puncak meningkat seiring dengan meningkatnya rasio volumetrik *wire rope* pada semua kelompok benda uji. Peningkatan tegangan puncak yang cukup signifikan diperoleh pada spasi *wire rope* 20 mm. Tegangan puncak juga meningkat dengan meningkatnya jumlah lapis *wire mesh*.



Gambar6. Kurva tegangan-regangan, (a) Kombinasi *wire rope* + 1 lapis *wire mesh* (SRX-M1), (b) Kombinasi *wire rope* + 2 lapis *wire mesh* (SRX-M2), (c) Kombinasi *wire rope* + 3 lapis *wire mesh* (SRX-M3)

Rasio Tegangan Puncak

Hasil uji dan rasio kuat tekan variasi kombinasi kekangan *wire rope* dan *wiremesh* terhadap silinder tanpa kekangan ditunjukkan dengan Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji dan rasio silinder terkekang variasi spasi *wire rope* dan satu lapis *wire mesh* (SRX-M1), dua lapis *wire mesh* (SRX-M2) dan tiga lapis *wire mesh* (SRX-M3)

Benda uji	Tegangan puncak f_{co}, f'_{cc} (MPa)	Rasio Teg. puncak f'_{cc}/f_{co}	Benda uji	Tegangan puncak f_{co}, f'_{cc} (MPa)	Rasio Teg. puncak f'_{cc}/f_{co}	Benda uji	Tegangan puncak f_{co}, f'_{cc} (MPa)	Rasio Teg. puncak f'_{cc}/f_{co}
SK1	24,6206	1,000	SK2	24,621	1,000	SK3	19,696	1,000
SR2.1-M1	64,8579	2,634	SR2.1-M2	61,620	2,503	SR2.1-M3	55,109	2,798
SR2.2-M1	-	-	SR2.2-M2	54,842	2,227	SR2.2-M3	55,243	2,805
SR4.1-M1	39,7054	1,613	SR4.1-M2	41,800	1,698	SR4.1-M3	41,635	2,114
SR4.2-M1	36,1700	1,469	SR4.2-M2	44,139	1,793	SR4.2-M3	37,474	1,903
SR6.1-M1	30,9734	1,258	SR6.1-M2	34,628	1,406	SR6.1-M3	44,776	2,273
SR6.2-M1	31,3568	1,274	SR6.2-M2	36,931	1,500	SR6.2-M3	37,826	1,920
SR8.1-M1	29,7002	1,206	SR8.1-M2	32,699	1,328	SR8.1-M3	37,223	1,890
SR8.2-M1	31,6959	1,287	SR8.2-M2	36,265	1,473	SR8.2-M3	39,351	1,998

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa rasio tegangan puncak (f'_{cc}/f_{co}) kelompok benda uji 1 (SRX-M1) berkisar antara 1,206-2,634. Rasio tegangan puncak kelompok benda uji 2 (SRX-M2) berkisar antara 1,328-2,634. Rasio tegangan puncak kelompok benda uji 3 (SRX-M3) berkisar antara 1,89-2,80. Benda uji dengan dua lapis *wire mesh* (SRX-M2) tidak memberikan peningkatan tegangan puncak yang signifikan untuk spasi *wire rope* 40, 60 dan 80 mm. Peningkatan tegangan puncak yang signifikan diperoleh pada benda uji tiga lapis *wire mesh* (SRX-M3) untuk spasi *wire rope* 40, 60 dan 80 mm. Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa rasio tegangan puncak meningkat dengan meningkatnya volumetrik *wire rope* atau *wire mesh*.

Perbandingan Tegangan Puncak Usulan beberapa Peneliti terhadap Hasil Uji

Model-model tegangan puncak yang telah dikembangkan oleh Mander dkk. (1988) selanjutnya disingkat MM, model Saatcioglu dan Razvi (1992) disingkat MSR, model Legeron dan Paultre (2003) disingkat MLP, model Hoshikuma dkk. (1997) disingkat MH, model EL-Dash dan Ahmad (1995) disingkat MELDA, model Suzuki dkk. (2004) disingkat MS, model Assa dkk. (2001) disingkat MA., digunakan sebagai bahan banding terhadap tegangan puncak hasil uji. Tegangan-tegangan puncak model-model tersebut ditunjukkan dalam Kadir (2015). Dengan menggunakan tegangan leleh *wire rope* 340 MPa pada benda uji kombinasi SRX-M1, 450 MPa untuk benda uji kombinasi SRX-M2 dan 580 MPa untuk benda uji kombinasi SRX-M3 maka rasio tegangan puncak beberapa model tersebut terhadap hasil uji ditunjukkan pada Tabel 4-Tabel 6.

Tabel 4. Perbandingan tegangan-tegangan puncak SRX-M1

Benda uji	MM Uji	MSR Uji	MLP Uji	MH Uji	MELDA Uji	MS Uji	MANW Uji
SR2.1-M1	0,815	0,899	0,721	1,165	0,704	0,888	0,724
SR4.1-M1	1,031	1,127	0,948	1,292	0,883	1,081	0,915
SR4.2-M1	1,132	1,237	1,041	1,419	0,969	1,187	1,004
SR6.1-M1	1,162	1,287	1,099	1,402	1,007	1,199	1,061
SR6.2-M1	1,147	1,270	1,085	1,383	0,995	1,184	1,047
SR8.1-M1	1,118	1,255	1,079	1,328	0,982	1,140	1,048
SR8.2-M1	1,044	1,176	1,012	1,245	0,921	1,069	0,982

Rata-rata	1,064	1,179	0,998	1,319	0,923	1,107	0,969
Tabel 5. Perbandingan tegangan-tegangan puncak SRX-M2							
Benda uji	MM	MSR	MLP	MH	MELDA	MS	MANW
	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji
SR2.1-M2	0,957	1,089	0,842	1,502	0,793	1,069	0,883
SR2.2-M2	1,075	1,223	0,946	1,635	0,891	1,200	0,992
SR4.1-M2	1,076	1,191	0,972	1,435	0,874	1,141	0,960
SR4.2-M2	1,025	1,138	0,925	1,376	0,829	1,088	0,917
SR6.1-M2	1,121	1,256	1,042	1,421	0,924	1,168	1,023
SR6.2-M2	1,050	1,177	0,977	1,331	0,867	1,094	0,958
SR8.1-M2	1,078	1,225	0,986	1,336	0,907	1,109	1,009
SR8.2-M2	0,972	1,105	0,889	1,205	0,817	1,000	0,910
Rata-rata	1,044	1,175	0,947	1,405	0,863	1,109	0,956

Tabel 6. Perbandingan tegangan-tegangan puncak SRX-M3							
Benda uji	MM	MSR	MLP	MH	MELDA	MS	MANW
	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji	Uji
SR2.1-M3	1,072	1,321	0,920	2,084	0,835	1,228	1,069
SR2.2-M3	1,067	1,312	0,915	1,912	0,831	1,221	1,061
SR4.1-M3	1,126	1,222	0,908	1,719	0,797	1,125	0,959
SR4.2-M3	1,251	1,357	1,009	1,909	0,885	1,250	1,066
SR6.1-M3	0,918	0,953	0,727	1,271	0,637	0,857	0,749
SR6.2-M3	1,087	1,130	0,861	1,507	0,754	1,016	0,887
SR8.1-M3	1,015	1,035	0,811	1,341	0,700	0,905	0,818
SR8.2-M3	0,963	0,985	0,776	1,280	0,662	0,859	0,778
Rata-rata	1,062	1,164	0,866	1,628	0,763	1,058	0,924

Tabel 4-Tabel 6 menunjukkan bahwa Model Mander dkk. (1988), model Legeron dan Paultre (2003), model El-Dash dan Ahmad (1995), model Suzuki dkk. (2004) dan model Assa dkk. (2001) memberikan nilai kuat tekan prediksi yang lebih dekat dengan hasil uji. Model Model Saatcioglu Razvi (1992) dan model Hoshikuma dkk. (1997) cenderung memberikan rasio tegangan puncak yang lebih besar.

Hasil analisis sebagaimana Tabel 4- Tabel 6 menunjukkan bahwa untuk kombinasi kekangan atau kekangan lebih dari satu, tegangan leleh salah satu bahan bersifat tidak konstan. Secara teori tegangan leleh bahan yang memiliki tegangan tarik yang lebih besar meningkat seiring dengan meningkatnya rasio volumetrik kekangan.

KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat dirumuskan beberapa kesimpulan;

- 1) Kekangan kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* dapat meningkatkan kuat tekan silinder dan berdeformasi lebih besar sebelum runtuh.
- 2) Kuat tekan dan deformasi juga meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lapis *wire mesh* atau meningkatnya volumetrik kekangan.
- 3) Peningkatan tegangan puncak kombinasi *wire rope* dan satu lapis *wire mesh*(SRX-M1), dua lapis *wire mesh* (SRX-M2) dan tiga lapis *wire mesh* (SRX-M3) berkisar antara 1,206-2,634; 1,328-2,634 dan 1,89-2,80 kali tegangan puncak silinder tanpa kekangan.
- 4) Secara teori silinder berkekangan ganda, tegangan leleh bahan yang memiliki kuat tarik lebih tinggi (*wire rope*) meningkat seiring dengan meningkatnya volumetrik kekangan
- 5) Kombinasi *wire rope* dan *wire mesh* sangat berpotensi atau berpeluang digunakan sebagai pengekang.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-08, 2008, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Detroit, USA
- Ahmad, S.H., dan Shah, S.P., (1985), Behavior of Hoop Confined Concrete under High Strain Rates, *ACI Journal*, September-October, pp.634-64.
- Asa, B., Nishiyama, M., dan Watanabe, F., (2001), New Approach for Modelling Confined Concrete, I: Circular Concrete, *Journal of Structural Engineering*, V.127, No.7, July, pp.743-750
- CSA A23.3-04, 2004, *Design of Concrete Structures*, Canadian Standard Association, Mississauga, Canada, pp 258
- Cusson, D., dan Paultre, P., (1994), High Strength Concrete Columns Confined by Rectangular Ties, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.120, No.3, March, pp.783-804
- El-Dash, K.M., dan Ahmad, S.H., (1995), A Model for Stress-Strain Relationship of Spirally Confined Normal and High Strength Concrete Columns, *Magazine of Concrete Research*, V.47, No.171, June 1995, pp.177-184.
- Feyrer, K., 2015, *Wire Ropes Tension, Endurance, Reliability*, 2nd Springer Heidelberg New York
- Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K., dan Taylor, A.W., (1997), Stress-Strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.123, No.5, May 1997, pp.624-633
- Kadir, A., 2015, *Pengaruh kekangan dengan wire rope*, Seminar Nasional Teknik Sipil V, UMS, Surakarta, 19 Mei
- Legeron, F., dan Paultre, P., (2003), Uniaxial Confinement Model for Normal and High-Strength Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.129, No.2, February, pp.241-252
- Mander, J.B., Priestley, M.J., dan Park, R., (1998), Theoretical Stress – Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.114, No.8, August 1988, pp.1804-1826.
- NZS 3101 :2006, 2006, *New Zealand Standard Code of Practice for the Design of Concrete structures*, Standards Associations of New Zealand, Wellington, New Zealand
- Paultre, P., Legeron, L., dan Mongeau, D., (2001), Influence of Concrete Strength and Transverse Reinforcement Yield Strength on Behavior of High Strength Concrete Column, *ACI Structural Journal*, V.98, No.4, July-August 2001, pp.490-501
- Priestley, M.J.N., Seible F., and Calvi, G.M., 1996, *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons, Inc, Canada
- Razvi, S., dan Saatcioglu, M., (1999), Confinement Model for High-Strength Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.125, No.3, March, pp.281-289.
- Richart, F.E., Brandtzaeg, A., dan Brown, R.L., (1929), The Failure of Plain and Spirally Reinforced Concrete in Compression, University of Illinois Engineering Experimental Station, *Bulletin No. 190*, 74 pp
- Saatcioglu, M., dan Razvi, S.R., (1992), Strength and Ductility of Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V.118, No.6, June, pp.1590-1607.
- SNI 03-2834-2000, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standardisasi Nasional, BSN.
- SNI 0076, 2008, *Tali Kawat Baja*, ICS 77.140.65, Badan Standardisasi Nasional, BSN Jakarta
- Sun, Y.P., Oba, T., Tian, F.S., and Ikeda, T., 1996, Confinement Effect of Transverse Hoops in High-Strength Concrete, *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, 11WCEE, Paper no. 1363, Elsevier.
- Suzuki, M., Akiyama, M., Hong, K., Cameron, I.D., dan Wang, W.L., (2004), Stress-Strain in Model of High-Strength Concrete Confined by Rectangular Ties, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August, Paper No. 3330
- Sim, J and Yang, K.H., 2009, Flexural Behaviour of Reinforced Concrete Columns Strengthened with Wire Rope and T-Plate Units, *ACI Structural Journal*, 106(5), pp 697-705
- Yang, K.H., Byun, H.Y., and Ashour, A.F., 2009, Shear Strengthening of Continuous Reinforced Concrete T-Beams Using Wire Rope Units, *Engineering Structures*, 31, pp 1154-1165.