

# Efektifitas Wire Rope Sebagai Perkuatan pada Daerah Momen Negatif Balok Beton Bertulang Tampang T

## Effectiveness Of Wire Rope As A Reinforcement In The Negative Moment Region Of Reinforced Concrete T-Beams

Yanuar Haryanto

yanuar\_haryanto@yahoo.com

Program Studi Teknik Sipil Jurusan Teknik Fakultas Sains dan Teknik Universitas Jenderal Soedirman  
Jl. Mayjend. Soengkono Km. 5 Blater Purbalingga, 53371

**Abstract**— The loss due to collapsing structure includes not only materials but also take lives. In the case of structure function changing that may cause increasing loads, it is required to put efforts in strengthening the structure elements in order to increase the capacity and hence to avoid the possibility of collapsing. The objective of this research was to study the behavior of T-sectional reinforced concrete beam strengthened in the negative moment region with wire rope and mortar composite. The test was carried out to three T-sectional beams: without wire rope reinforcement (BK), with 2 wire rope reinforcements (BP1), and with 4 wire rope (BP2) reinforcements. The type of wire rope was Independent Wire Rope Core (IWRC) with 10 mm diameter. The testing method used was two points static loading with flens positions below (the flens part experienced tensile stress). Results showed that the maximum load carrying capacity of BP1 and BP2 specimens increased by ratios of 1.59 and 2.03 to the BK specimen respectively. However, the increase was achieved after the development and propagation of high cracking. Ductility of BP1 and BP2 specimens decreased by ratios of 0.62 and 0.36 to the BK specimen respectively. The initial stiffness of BP1 and BP2 increased by ratios of 1.09 and 1.08 to the BK specimen respectively. The effective stiffness of BP1 and BP2 specimens decreased by ratios of 0.88 and 0.92 to the BK specimen respectively. Stress occurred in the wire rope based on the analysis results of Response-2000 and the layer method have not reached 50% of the ultimate stress resulted from the preliminary test. In general, unless improvement was given to the stiffness characteristics of the wire rope, its contribution would not become optimum.

**Keyword**— *wire rope, mortar, flexural behavior*

### PENDAHULUAN

Kerugian yang timbul akibat keruntuhan struktur bangunan tidak hanya berupa kerugian materiil namun juga dapat berupa korban jiwa. Pada kasus alih fungsi bangunan yang dapat menyebabkan beban-beban bertambah, diperlukan usaha perkuatan elemen struktur untuk meningkatkan kapasitas sehingga dapat menghindari kemungkinan terjadinya keruntuhan. Ilustrasi keruntuhan bangunan akibat adanya alih fungsi tanpa dilakukan perkuatan pada elemen struktur dapat dilihat pada Gambar 1.

Namboorimadathil dkk (2001) mengemukakan bahwa daerah momen negatif atau daerah tumpuan pada balok beton bertulang menerus merupakan daerah kritis dikarenakan memiliki nilai maksimum baik untuk momen maupun gaya geser. Selain itu adanya elemen kolom

dan komponen nonstruktural seperti komponen mekanikal dan elektrikal membuat perkuatan pada daerah ini memiliki tingkat kesulitan yang relatif lebih tinggi.

Avak dan Wille (2005) menyebutkan bahwa potensi penggunaan *wire rope* sebagai tulangan pada struktur beton didasarkan pada ide pemanfaatan kelebihan-kelebihan bahan *wire rope* yaitu sifat fleksibilitas dan kuat tarik yang tinggi. Sifat fleksibilitas *wire rope* memungkinkannya untuk dibawa dengan cara digulung sehingga dapat memudahkan jika perkuatan harus dilakukan pada bangunan bertingkat banyak. Penggunaan mortar dipilih karena mortar memiliki sifat daya alir (*flowability*) yang tinggi sehingga kendala pengecoran pada kondisi keterbatasan dimensi dan tulangan yang rapat diharapkan dapat teratasi.

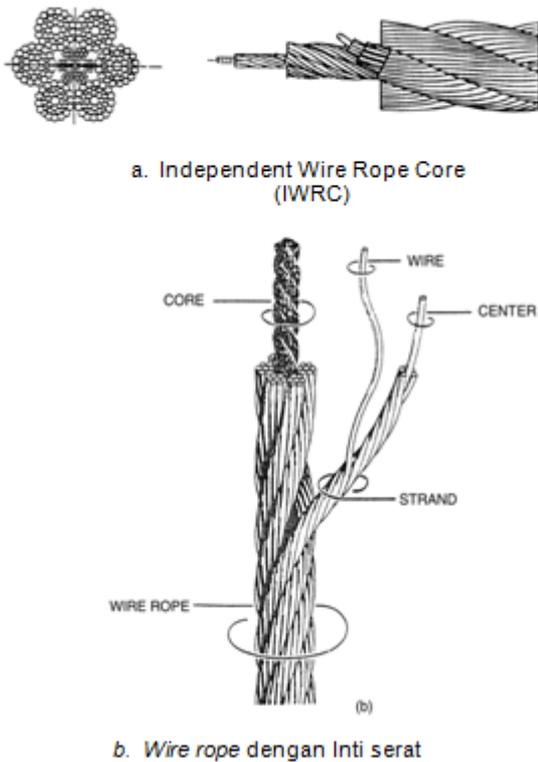


Gambar 1 .Ilustrasi keruntuhan bangunan akibat alih fungsi tanpa adanya perkuatan elemen struktur.

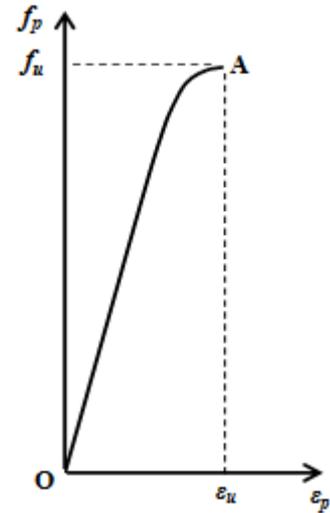
TINJAUAN PUSTAKA

A. Karakteristik Wire Rope

Dalam SNI 0076-2008 disebutkan bahwa tali kawat baja (*steel wire rope*) merupakan pitalan dari 6 atau lebih pilinan kawat baja (*strand*), baik yang dilapisi seng maupun yang tanpa dilapisi seng. Pitalan kawat baja (*strand*) umumnya memiliki kuat tarik lebih besar dibandingkan baja tulangan biasa, namun pilinan kawat baja (*strand*) tidak memiliki titik leleh yang jelas. Karakteristik *wire rope* meliputi geometri dan kurva hubungan tegangan-regangan tipikal *wire rope* dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



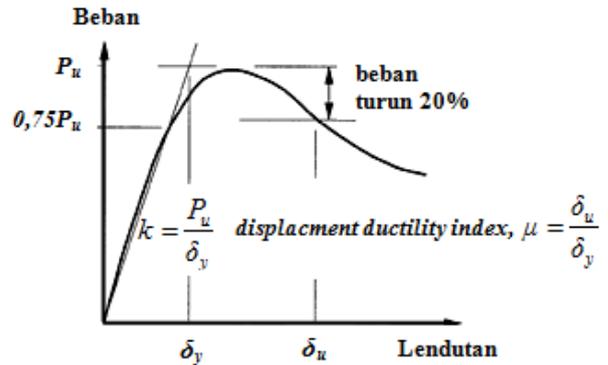
Gambar 2 Geomeri tipikal wire rope (Raouf dan Davies, 2001).



Gambar 3 Hubungan tegangan-regangan tipikal wire rope.

B. Daktilitas dan Kekakuan

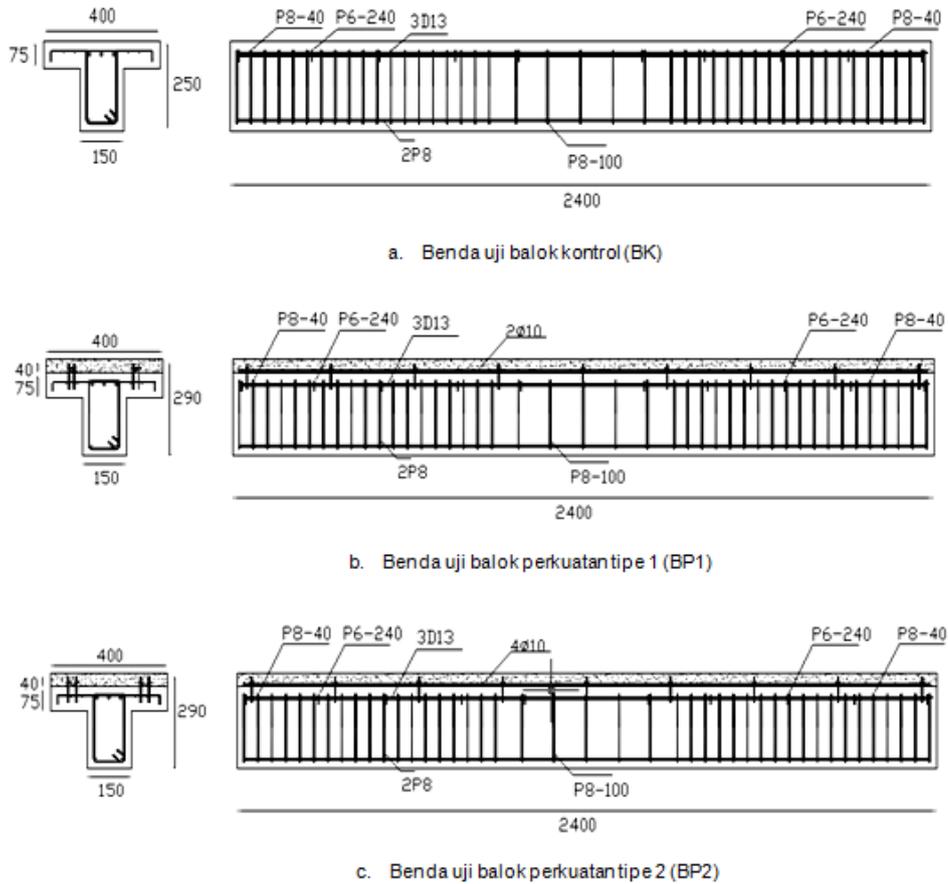
Indeks daktilitas ditentukan berdasarkan ekivalensi kurva hubungan gaya dan deformasi dengan penyesuaian notasi seperti terlihat pada Gambar 4 (El Tawil dan Deierlein, 1999). Berdasarkan Gambar 4 dapat juga ditentukan nilai kekakuan efektif. Untuk kekakuan awal ditentukan pada kondisi elastis penuh.



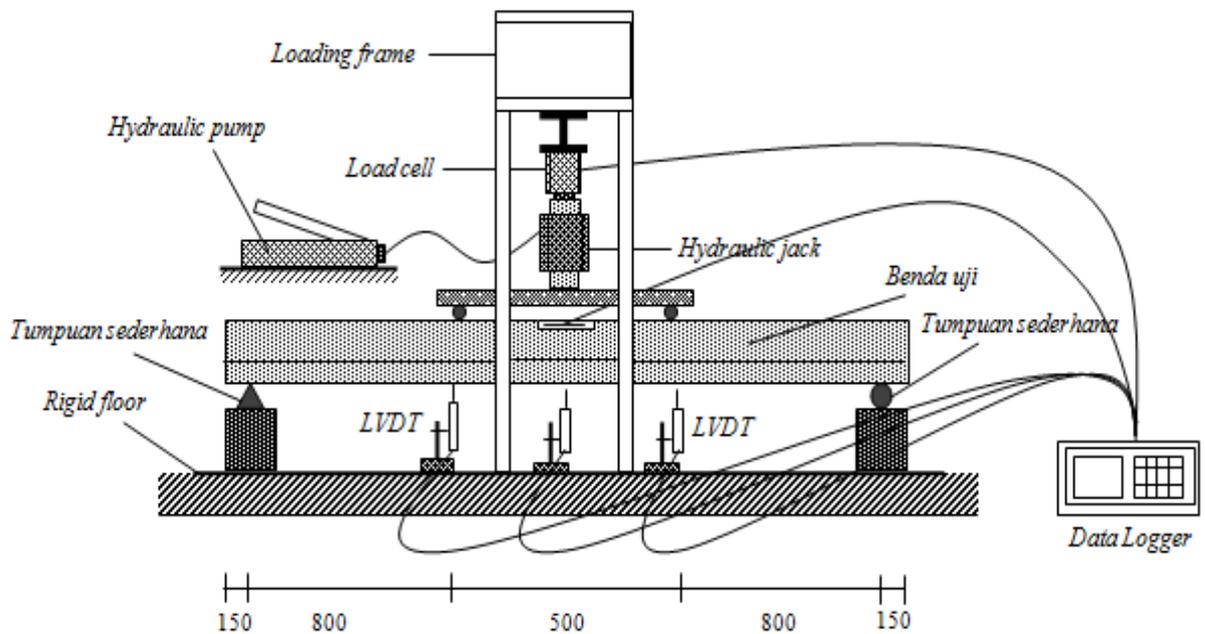
Gambar 4 Penentuan indeks daktilitas (El Tawil dan Deierlein, 1999).

METODOLOGI

Pengujian dilakukan terhadap 3 buah balok tampang T, masing-masing 1 balok tanpa perkuatan (BK), 1 balok diperkuat dengan 2 *wire rope* (BP1), dan 1 balok dipekuat dengan 4 *wire rope* (BP2). Jenis *wire rope* yang digunakan adalah *Independent Wire Rope Core (IWRC)* dengan diameter 10 mm. Metode pengujian digunakan beban statis dua titik dengan posisi *flens* di bawah (bagian *flens* mengalami tegangan tarik). Penampang benda uji dapat dilihat pada Gambar 5 dan setup pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.



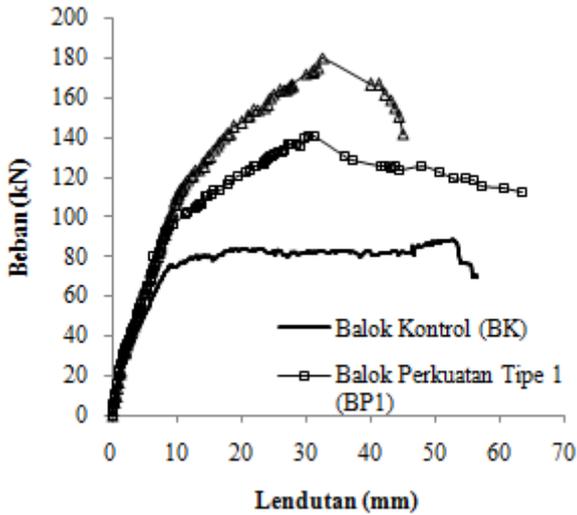
Gambar 5 Penampang benda uji.



Gambar 6 Setup pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan beban-lendutan untuk masing-masing benda uji dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hubungan beban-lendutan masing-masing benda uji.

A. Kapasitas Beban

Dari hasil pengujian diketahui bahwa kapasitas beban benda uji BP1 dan BP2 mengalami peningkatan terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 1,59 dan 2,03. Perbandingan kapasitas beban hasil pengujian, hasil analisis program *Response-2000*, dan hasil analisis metode pias dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 8.

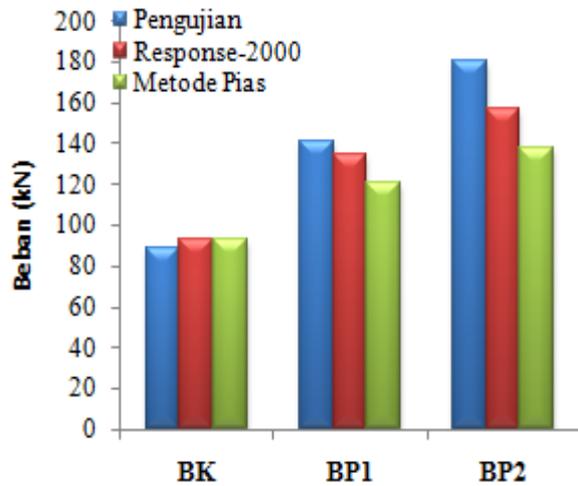
TABEL 1 KAPASITAS BEBAN

Benda Uji	Beban Maksimum (kN)				
	Hasil Pengujian	Analisis Teoritis			
		<i>Response-2000</i>	*Rasio	Metode Pias	*Rasio
BK	88,5	92,82	1,05	93,27	1,05
BP1	140,8	134,07	0,95	120,63	0,85
BP2	180,0	156,45	0,89	137,49	0,76

Keterangan: \*dihitung terhadap hasil pengujian

Peningkatan kapasitas beban disebabkan oleh adanya penambahan tulangan perkuatan berupa wire rope pada daerah tarik yang berakibat bertambahnya komponen gaya tarik pada penampang balok. Penambahan komponen gaya tarik dengan lengan gaya yang bersesuaian menyebabkan peningkatan terhadap kapasitas penampang balok. Namun demikian, peningkatan kapasitas daya dukung beban diperoleh setelah benda uji mengalami penyebaran dan perkembangan retak yang tinggi. Pemasangan wire rope tanpa diberikan gaya prategang awal menyebabkan sifat fleksibilitas wire rope tetap tinggi. Hal tersebut berakibat terhadap kemungkinan terjadinya slip sehingga kontribusi wire rope dalam

menahan tegangan yang terjadi akibat pembebanan menjadi kurang optimal.



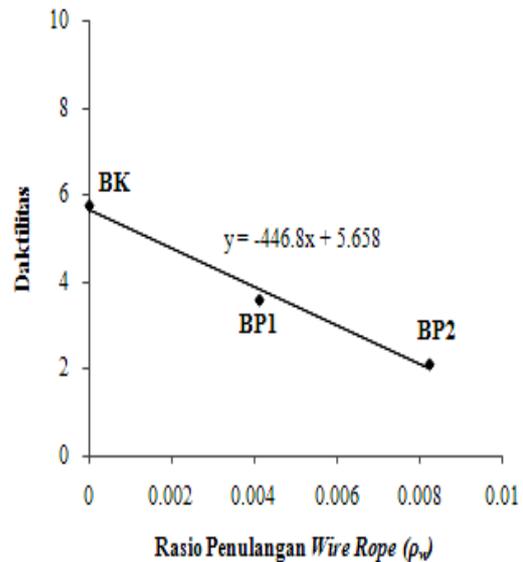
Gambar 8 Perbandingan kapasitas beban.

B. Daktilitas dan Kekakuan

Indeks daktilitas, kekakuan awal, dan kekakuan efektif untuk masing-masing benda uji disajikan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. Hubungan rasio penulangan *wire rope* dan daktilitas dapat dilihat pada Gambar 9

TABEL 2 INDEKS DAKTILITAS

Benda Uji	$\delta_y$ (mm)	$\delta_u$ (mm)	Daktilitas ( $\mu = \delta_u / \delta_y$ )	Rasio
BK	9,79	56,51	5,77	-
BP1	17,68	63,61	3,60	0,62
BP2	21,56	45,00	2,10	0,36



Gambar 9 Hubungan rasio penulangan wire rope dan daktilitas.

TABEL 3 KEKAKUAN AWAL

Benda Uji	$P_{cr}$ (N)	$\delta_{cr}$ (mm)	Kekakuan Awal (N/mm)	Rasio
BK	28600	2,00	14300,00	-
BP1	31800	2,05	15512,20	1,08
BP2	31800	2,03	15665,02	1,09

TABEL 4 KEKAKUAN EFEKTIF

Benda Uji	$P_y = P_u$ (N)	$\delta_y$ (mm)	Kekakuan Efektif (N/mm)	Rasio
BK	88500	9,79	9039,84	-
BP1	140800	17,68	7963,80	0,88
BP2	180000	21,56	8348,79	0,92

Tabel 2 menunjukkan bahwa terjadi penurunan indeks daktilitas benda uji BP1 dan BP2 terhadap BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,62 dan 0,36. Penurunan indeks daktilitas yang terjadi disebabkan oleh adanya penambahan tulangan perkuatan berupa wire rope pada daerah tarik. Dengan menggunakan persamaan pada Gambar 9 dapat diketahui bahwa pada penelitian ini rasio penulangan *wire rope* ( $\rho_w$ ) maksimum yang akan menghasilkan indeks daktilitas sebesar 3,0 sebagai persyaratan minimum indeks daktilitas elemen balok beton bertulang (Rashid dan Mansur, 2005) adalah 0,006.

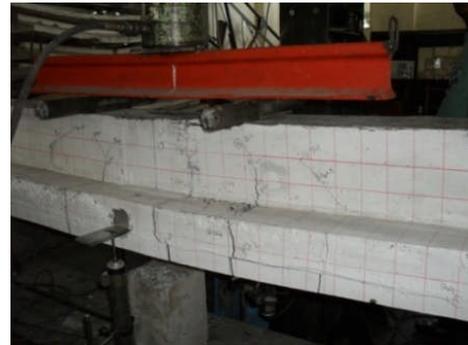
Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa kekakuan awal (*initial stiffness*) mengalami peningkatan baik untuk benda uji BP1 maupun BP2 terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 1,08 dan 1,09. Peningkatan yang terjadi dapat disimpulkan tidak signifikan (rasio mendekati 1) dikarenakan pada tahap elastis penuh, kekakuan benda uji hanya dipengaruhi oleh bahan beton dan mortar.

Tabel 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kekakuan efektif (*effective stiffness*) untuk benda uji BP1 dan BP2 terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,88 dan 0,92. Penurunan *effective stiffness* disebabkan oleh adanya *wire rope* sebagai tulangan perkuatan, di mana *wire rope* memiliki sifat fleksibilitas yang tinggi.

### C. Pola Retak Dan Keruntuhan

Balok kontrol (BK) mengalami retak pertama pada saat beban mencapai 28,6 kN pada bagian daerah lentur murni dengan lendutan yang terjadi sebesar 2,0 mm. Seiring dengan peningkatan beban yang terjadi, retakan pada benda uji semakin melebar dan berkembang menuju ke daerah tekan. Hal tersebut diikuti dengan munculnya retakan-retakan baru yang menyebar ke arah tumpuan. Sampai dengan beban sebesar  $0,75P_u$  atau 65,7 kN hubungan beban-

lendutan mendekati linier, selanjutnya lendutan terus terjadi pada beban yang hampir konstan. Beban maksimum tercapai sebesar 88,5 kN dengan lendutan sebesar 52,72 mm. Tahap keruntuhan terakhir ditandai dengan kerusakan beton pada serat tekan terluar yang menandakan beton telah kehilangan kemampuan dalam menahan tegangan desak yang terjadi. Dapat disimpulkan bahwa tipe keruntuhan yang terjadi untuk balok kontrol (BK) adalah keruntuhan lentur. Pola retak balok kontrol (BK) dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Pola retak balok kontrol (BK).

Balok perkuatan tipe 1 (BP1) mengalami retak pertama pada saat beban mencapai 31,8 kN pada bagian daerah lentur murni dengan lendutan yang terjadi sebesar 2,05 mm serta semakin berkembang dan menyebar seiring dengan peningkatan beban. Retakan antara lapisan mortar dan beton lama mulai terjadi pada saat beban mencapai 102,1 kN yang mendekati beban sebesar  $0,75P_u$  atau 105,9 kN dengan hubungan beban-lendutan mendekati linier. Selanjutnya kemiringan kurva hubungan beban-lendutan berubah menandakan berkurangnya kekakuan balok. Serat tekan terluar mengalami kerusakan di bagian titik pembebanan. Beban maksimum tercapai sebesar 140,8 kN dengan lendutan sebesar 30,44 ditandai dengan terjadinya *spalling* bahan mortar pada segmen perkuatan. Pola retak balok perkuatan tipe 1 (BP1) dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pola retak balok perkuatan tipe 1 (BP1).

TABEL 5 TEGANGAN YANG TERJADI

Penulangan	Tegangan (MPa)	Keterangan
<b>Balok Kontrol (BK)</b>		
Tul. P8	186,8	Belum Leleh
Tul. D13	479,71	Leleh
<b>Balok Perkuatan Tipe 1 (BP1)</b>		
Tul. P8	373,85	Leleh
Tul. D13	479,71	Leleh
Wire Rope D10	281,12	*37,80%
<b>Balok Perkuatan Tipe 2 (BP2)</b>		
Tul. P8	373,85	Leleh
Tul. D13	479,71	Leleh
Wire Rope D10	215,88	*29,03%

Balok perkuatan tipe 2 (BP2) mengalami retak pertama pada saat beban mencapai 31,8 kN pada bagian daerah lentur murni dengan lendutan yang terjadi sebesar 2,03 mm. Retak-retak semakin berkembang dan menyebar seiring dengan peningkatan beban. Retak rambut antara lapisan mortar dan beton lama terjadi pada beban rendah sebesar 39,0 kN yang terus memanjang, namun demikian beban masih menunjukkan peningkatan. Pada saat beban berkisar  $0,75P_u$  atau 136,0 kN kN, kemiringan kurva hubungan beban-lendutan berubah yang menandakan berkurangnya kekakuan balok. Serat tekan terluar pada balok perkuatan tipe 2 (BP2) juga mengalami kerusakan di bagian titik pembebanan. Beban maksimum tercapai sebesar 180,0 kN dengan lendutan sebesar 32,72 mm. Pola retak balok perkuatan tipe 2 (BP2) dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Pola retak balok perkuatan tipe 2 (BP2).

#### D. Tegangan Yang Terjadi

Tegangan yang terjadi pada *wire rope* belum mencapai 50% tegangan ultimit sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini kontribusi *wire rope* sebagai tulangan perkuatan belum optimal. Tegangan yang terjadi dari hasil analisis program *Response-2000* disajikan pada Tabel 5.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

- 1) Kapasitas beban menunjukkan peningkatan untuk benda uji BP1 dan BP2 terhadap benda uji BK dengan rasio berturut-turut adalah 1,59 dan 2,03.
- 2) Indeks daktilitas benda uji BP1 dan BP2 mengalami penurunan terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,62 dan 0,36.
- 3) Kekakuan awal benda uji BP1 dan BP2 memiliki rasio terhadap benda uji BK mendekati 1, masing-masing sebesar 1,09 dan 1,08, sehingga dapat dikategorikan terjadi peningkatan namun tidak signifikan.
- 4) Kekakuan efektif benda uji BP1 dan BP2 mengalami penurunan terhadap benda uji BK dengan rasio masing-masing sebesar 0,88 dan 0,92.
- 5) Benda uji BK mengalami keruntuhan lentur dengan kerusakan beton serat tekan terluar mulai terjadi pada saat mendekati beban maksimum. Untuk benda uji BP1 terjadi spalling pada saat tercapai beban maksimum sedangkan untuk benda uji BP2 retak rambut antara lapisan mortar dan beton lama mulai terbentuk pada capaian beban rendah.
- 6) Tegangan yang terjadi pada wire rope belum mencapai 50% dari tegangan ultimit.
- 7) Secara umum jika tidak dilakukan perbaikan terhadap sifat kekakuan bahan wire rope maka kontribusi wire rope sebagai tulangan perkuatan menjadi kurang optimal.

### B. Saran

- 1) Perlu dipasang instrumen pengukur regangan wire rope pada saat dilakukan pengujian.
- 2) Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memperhatikan perbaikan terhadap sifat kekakuan bahan wire rope, misalnya dengan pemberian gaya prategang awal, untuk lebih mengetahui efektifitas wire rope sebagai tulangan perkuatan pada daerah momen negatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Avak, R. dan Willie, F., 2005, Experimental Investigations And Modeling Of Bond Between Round Strand Ropes And Concrete, 11<sup>th</sup> International Conference on Fracture (ICF), Turin, Italia
- Badan Standar Nasional, 2008, SNI 0076-208 Tali Kawat Baja, Bandung
- El Tawil, S. dan Deierlein, G. G., 1999, Strength And Ductility Of Concrete Encased Composite Columns, Journal Of Structural Engineering, Vol. 125. No. 9
- Namboorimadathil, S. M., Tumialan, J. G. dan Nanni, A., 2001, Behavior Of RC T-Beams Strengthened In The Negative Moment Region With CFRP Laminates, University of Missouri-Rolla, Rolla

Yanuar Haryanto  
Efektifitas Wire Rope Sebagai Perkuatan pada Daerah Momen Negatif  
Balok Beton Bertulang Tampang T: 36 - 42

Rashid, M. A., dan Mansur, M. A., 2005, Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure, ACI Structural Journal, Vol. 102, No. 3

Raof, M., dan Davies, T. J., 2001, Simple Determination Of The Axial Stiffness For Large Diameter Independent Wire Rope

Core Or Fibre, The Journal Of Strain Analysis For Engineering Design Vol. 38: 577

URL: <http://www.youtube.com>, diakses tanggal 2 April 2011