

KAJIAN DAKTILITAS DAN KEKAKUAN PERKUATAN BALOK T DENGAN KABEL BAJA PADA MOMEN NEGATIF

Dimas Langga Chandra Galuh, S.T., M.Eng
Drs. Hadi Pangestu Rihardjo, ST., MT

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

ABSTRACT

Strengthening is a solution to improve supporting power of the boned concrete structure and strengthening the endurance of building. This research aims to find out the stiffness, ductility and cracking pattern of the negative moment area of beam.

This research used three experimental beams, they are 1 control beam (BK), 1 strengthening beam 4Ø10 mm of steel cable on pulling area (BP1) and 1 strengthening beam using 4Ø10 mm of steel cable on pulling area and 2P8 mm on the pressing area (BP2) using mortar as the concrete blanket. The experimental object was in form of boned concrete beam T, with 2400 of length (l), 250 mm of height (h), 150 mm of width (bw), 400 mm of width of flens (t), 75 mm of height of flens (t). The steel cable and the diameter of boned steel used for strengthening process is 10 mm and 8 mm of plain type. The beam would be tested on the basis of flexibility by using static loading and simple support. The measurement of load, tension, and flexibility was done during the experiment (testing).

Based on the results of experiment, it is shown that the maximum loads on the testing objects of BK, BP1, and BP2 respectively are 88.5 kN and 259 kN. The ratio of stiffness comparison of initial stiffness BP1 and BP2 to BK was 0.33 and 0.48. The ratio of ductility comparison of BP1 and BP2 to BK was 0,33 and 0.48. The collapsing pattern of each strengthening beam was debonding, but the steel cable on the strengthening beam still contributed the pulling tension, so the existing load kept on increasing until reaching maximum load.

Keywords: beam T, steel cable, strengthening, ductility, stiffness

PENDAHULUAN

Perkuatan merupakan salah satu solusi yang digunakan jika pada struktur bangunan diketahui mempunyai nilai yang menyimpang atau tidak sesuai dengan fungsi bangunan yang sebenarnya. Syarat pokok pada struktur bangunan tersebut adalah kokoh dan daktail. Dengan kata lain, suatu struktur bangunan harus mempunyai sifat kokoh pada kondisi normal dan ductile pada kondisi kritis.

Kabel baja mempunyai kelebihan pada sifat tegangan tarik dan fleksibilitas yang tinggi. Kabel baja juga sering dimanfaatkan untuk mengangkat material – material berat pada crank dan juga banyak terdapat di pasaran.

Perkuatan pada balok beton bertulang tidak dapat dilakukan dengan penambahan tulangan internal, tetapi dapat dilakukan dengan penambahan tulangan eksternal.

Salah satu solusinya adalah penempatan kabel baja pada daerah tarik dengan mortar sebagai selimut beton serta stud sebagai penyedia geser, agar didapat kondisi balok menjadi balance atau under reinforced.

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Konsep Dasar Perbaikan dan Perkuatan

Perkuatan atau perbaikan pada elemen – elemen struktur dilakukan jika persyaratan – persyaratan teknik pada elemen struktur tersebut tidak terpenuhi. Persyaratan – persyaratan tersebut meliputi kekuatan, kekakuan, duktilitas, dan ketahanan terhadap lingkungan. Perkuatan atau perbaikan dapat juga dilakukan jika adanya perubahan peraturan – peraturan teknis yang berhubungan dengan struktur. (Triwiyono, 2004).

Perkuatan Balok Beton Bertulang Tampang T

Noorhidana dan Syahland (2008), melakukan penelitian tentang pengaruh bentuk penampang balok terhadap beban maksimum dan kekakuan balok beton bertulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk penampang balok (bentuk persegi, bentuk T, dan bentuk I) terhadap kekakuan dan beban maksimum yang dapat diterima balok, dengan batasan: luas penampang balok, luas tulangan tekan dan tulangan tarik adalah sama untuk ketiga balok tersebut. Benda uji yang dibuat adalah balok dengan penampang persegi (BP), huruf T (BT), dan huruf I (BI), masing-masing 1 buah. Panjang bentang 1800 mm. Luas penampang balok 45.000 mm², dengan tinggi penampang balok 250 mm. Kuat tekan beton 20 MPa. Balok ditumpu sendi-rol dengan jarak 1800 mm, kemudian diberi 2 beban terpusat pada jarak 600 mm dari masing-masing tumpuan. Hasil pengujian berupa analisis kurva hubungan beban-lendutan, kekakuan, dan pola retak. Hasil pengujian benda uji BP, BT, dan BI tidak sejalan dengan hasil perhitungan secara teoritis, yang disebabkan oleh mutu pembuatan benda uji. BP memiliki nilai beban maksimum paling besar diikuti oleh BT (92% terhadap P_{max} BP) kemudian BI (88% terhadap P_{max} BP). Beban terjadinya retak pertama (P_{cr}) yang paling tinggi dimiliki oleh BP, kemudian diikuti oleh BI (83,3% terhadap P_{cr} BP) dan BT (75% terhadap P_{cr} BP). Demikian juga kekakuan terbesar terjadi pada BP kemudian diikuti oleh BT dan BI. Perlu pengawasan yang baik pada saat pembuatan benda uji agar mendapatkan hasil sesuai yang direncanakan.

Kekakuan Lentur

Kekakuan menurut Gere dan Timoshenko (1996), didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

$$k = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

k : kekakuan lentur (N/mm); P_{cr} : beban retak pertama (N); δ_{cr} : lendutan saat retak pertama (mm).

Daktilitas

Menurut Park dan Paulay (1975) daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan. Besarnya daktilitas diidentifikasi sebagai displacement ductility factor m, seperti pada persamaan 2 berikut :

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

m : displacement ductility factor; δ_u : lendutan ultimit (mm); δ_y : lendutan saat leleh (mm).

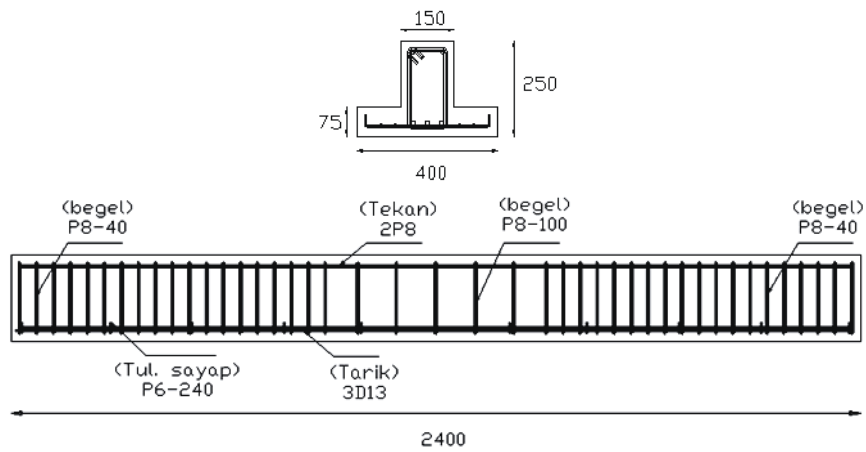
METODE PENELITIAN

Benda Uji Balok

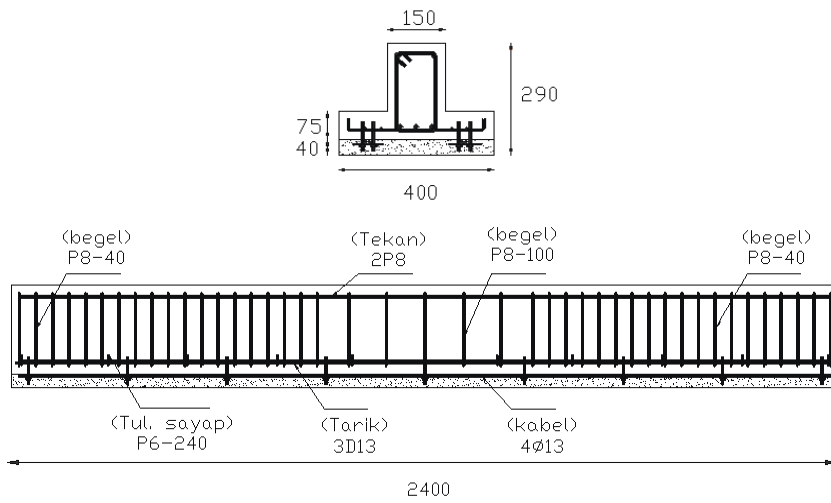
Benda uji balok beton bertulang terdiri dari 3 buah yaitu 1 buah balok kontrol (BK), 1 buah balok perkuatan tipe 1 (BP1) dan 1 buah balok perkuatan tipe 2 (BP2). Spesifikasi benda uji balok beton bertulang disajikan dalam Tabel 1 dan Gambar 1

Tabel 1. Spesifikasi benda uji balok beton bertulang

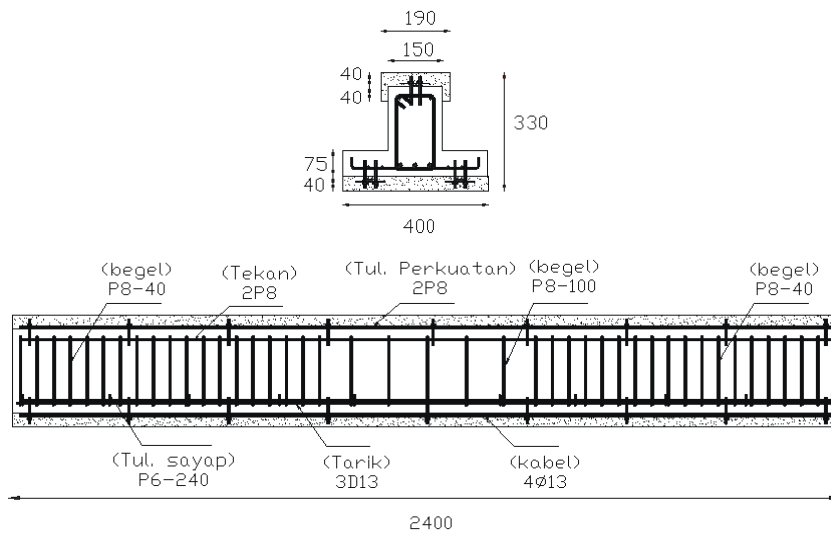
KODE	L (mm)	b _f (mm)	t _f (mm)	b _w (mm)	Tulangan Utama		Tul. Senggang	Perkuatan	
					Tarik	Tekan		Tarik	Tekan
BK	2400	400	75	150	3D13	2P8	P8-40	-	-
BP1	2400	400	115	150	3D13	2P8	P8-40	4Ø10	-
BP2	2400	400	115	150	3D13	2P8	P8-40	4Ø10	2P8



Balok Kontrol (BK)



Balok Perkuatan (BP1)



Balok Perkuatan (BP2)

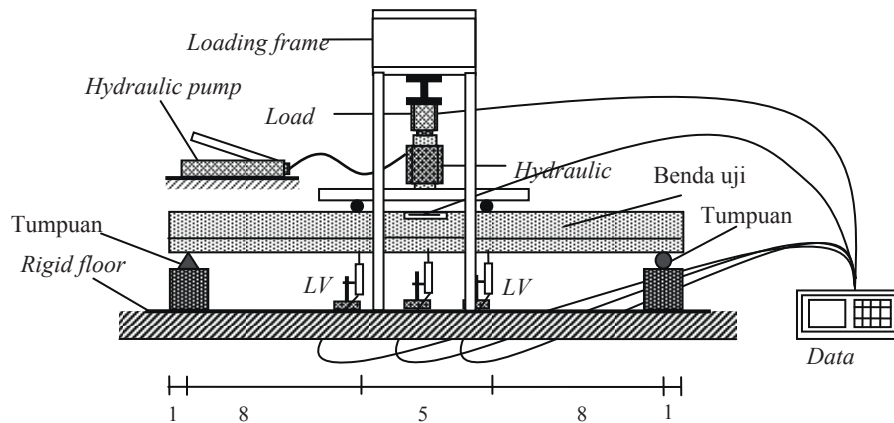
Gambar 1. Ukuran dan penulangan benda uji balok (satuan mm)

Pengujian Balok Beton Bertulang Tampang T

Pengujian pada balok kontrol (BK), dilakukan setelah beton berumur kurang lebih 28 hari. Sedangkan untuk balok perkuatan 1 (BP1) dan balok perkuatan 2 (BP2) setelah mortar berumur kurang lebih 28 hari. Benda uji ditempatkan pada loading frame dengan tumpuan sendi – rol pada kedua ujungnya, dimana jarak sendi dan rol dari sisi terluarnya masing-masing adalah 150 mm. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban dua titik, dimana jarak titik beban dengan tumpuan adalah 800 mm.

Lendutan vertikal, diukur menggunakan LVDT yang dipasang 3 buah pada daerah lapangan balok.

Kemudian kabel-kabel mulai dari strain gages baja dan beton, load cell, dan LVDT, dihubungkan dengan data logger dimana sebelum pengujian dimulai, data logger diatur sedemikian rupa sehingga data hasil pengujian data mudah diolah. Set up pengujian, dapat dilihat pada Gambar 2

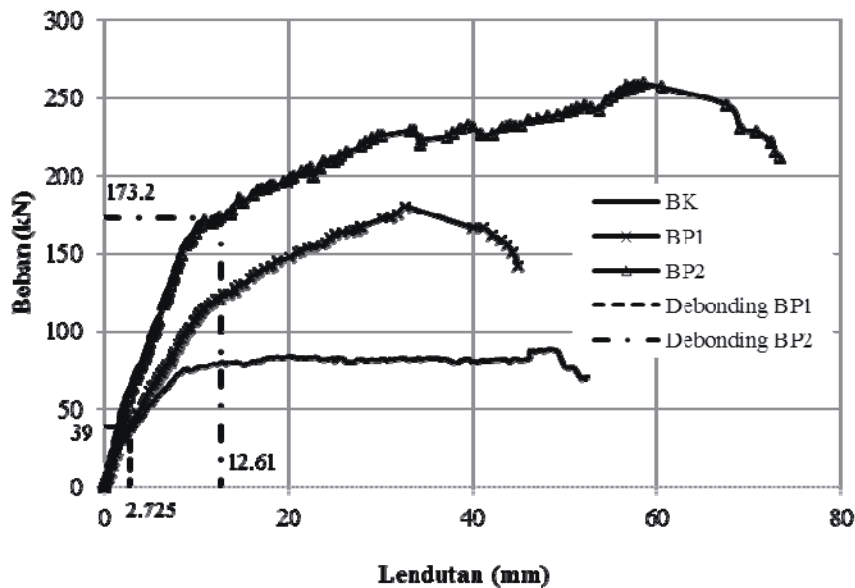


Gambar 2. Set Up pengujian balok beton bertulang

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Balok Beton Bertulang

Parameter – parameter yang diambil dari hasil pengujian berupa beban, lendutan dari masing – masing benda uji, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan beban dengan lendutan balok (eksperimen)

Hasil pengamatan dilapangan terlihat bahwa beban retak pertama BK, BP1 dan BP2 berturut – turut adalah 28,6 kN, 31,8 kN, dan 44,8 kN. Hal ini disebabkan adanya penambahan mortar pada balok perkuatan dengan kuat tekan lebih besar. Masing – masing balok perkuatan terjadi *debonding* antara beton lama dengan mortar, tetapi beban yang terjadi masih terus bertambah sampai beban maksimum.

Kekakuan

Hasil perhitungan kekakuan pada kondisi *crack* dan *yield* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

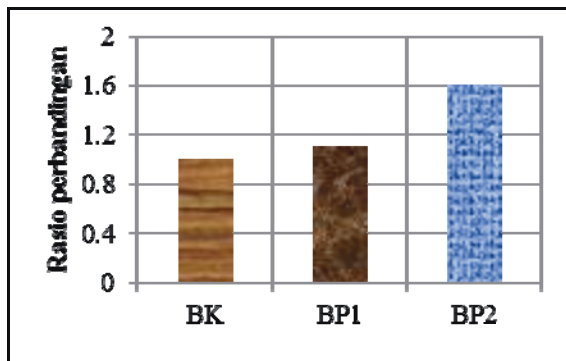
Tabel 2. Nilai initial stiffness balok

No	Benda Uji	P_{crack} (N)	Lendutan <i>crack</i> (mm)	Kekakuan (N/mm)	Rasio perbandingan kekakuan
1.	BK	28600	2	14300	1
2.	BP1	31800	2,03	15703,70	1,10
3.	BP2	44800	1,96	22915,60	1,60

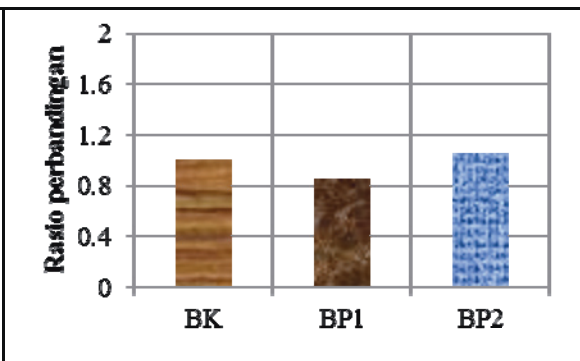
Tabel 3. Nilai secant stiffness balok

No	Benda Uji	P_{crack} (N)	Lendutan <i>yield</i> (mm)	Kekakuan (N/mm)	Rasio perbandingan kekakuan
1.	BK	66375	9,03	7347,81	1
2.	BP1	135000	21,44	6297,20	0,86
3.	BP2	194250	25,01	7766,89	1,06

Tabel 2 menunjukkan BP1 dan BP2 terjadi peningkatan kekakuan terhadap BK. Hal ini disebabkan tambahan dimensi balok, sehingga pada awal pembebanan cukup memberikan pengaruh terhadap beban *crack* balok. Setelah bahan mortar kehilangan kemampuan menahan tegangan tarik, maka kabel baja akan memberikan kontribusi menahan tegangan tarik. Sehingga Tabel 3 terlihat bahwa BP1 tidak ada peningkatan kekakuan terhadap balok kontrol. Sedangkan BP2 terjadi peningkatan kekakuan terhadap balok kontrol.



Gambar 4. Initial stiffness balok



Gambar 5. Secant stiffness balok

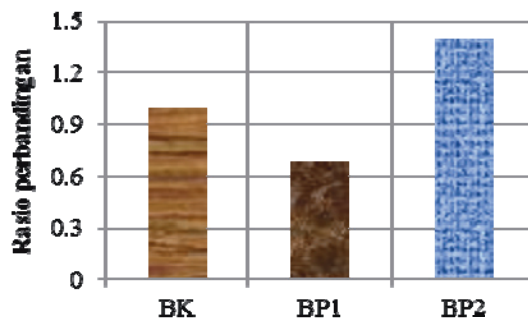
Daktilitas

Hasil perhitungan faktor daktilitas dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Tabel 4. Nilai faktor daktilitas balok

N o.	Benda Uji	P_{max} (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Faktor Daktilitas $\mu = \delta_u/\delta_y$	Rasio perbandingan*
1.	BK	88,5	9,03	56,51	6,26	1
2.	BP1	180	21,44	44,855	2,09	0,68
3.	BP2	259	25,01	74,74	2,99	1,4

Keterangan : * = $(P_{maxL}/U_2)/(P_{maxL}/U_1)$

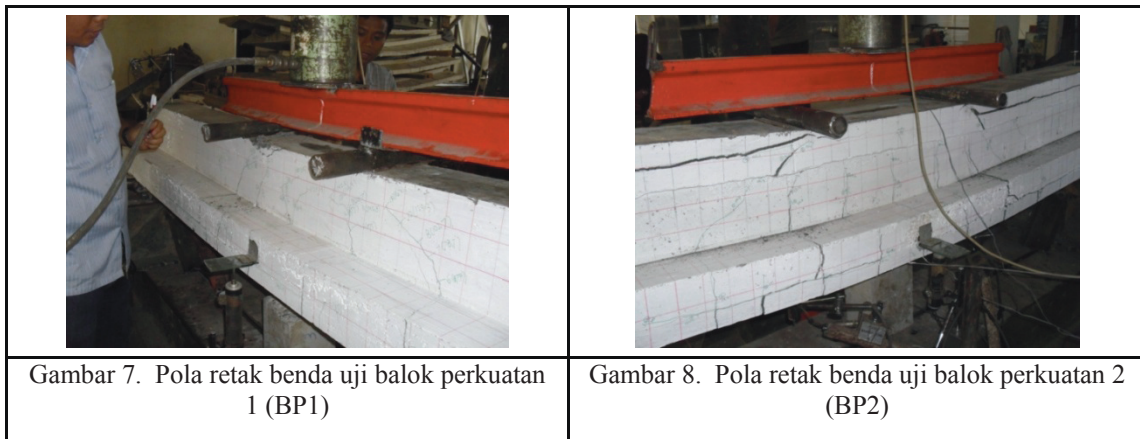


Gambar 6. Perbandingan faktor daktilitas balok

Tabel 4 dan Gambar 6 terlihat bahwa nilai faktor daktilitas untuk BK, BP1, BP2 berturut-turut adalah 6,26, 2,09, dan 2,99. Perbandingan faktor daktilitas dengan mengikutsertakan P_{max} yang terjadi, maka BP2 mengalami peningkatan 1,4 jika dibandingkan dengan BK, sedangkan pada BP1 mengalami penurunan sebesar 0,68.

Pola retak dan keruntuhan

Debonding terjadi setelah benda uji mengalami retak pada mortar/perkuatan, kemudian seiring bertambahnya beban terlihat bahwa adanya keretakan pada sambungan beton lama dengan mortar sampai terjadinya *spolling*. Pola retak balok perkuatan dan balok kontrol dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Pola retak benda uji balok perkuatan 1 (BP1)

Gambar 8. Pola retak benda uji balok perkuatan 2 (BP2)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. *Initial stiffness* BP1 dan BP2 terhadap BK mengalami peningkatan sebesar 1,1 dan 1,6. Sedangkan perbandingan *secant stiffness* BP1 dan BP2 terhadap BK sebesar 0,86 dan 1,06.
2. Faktor daktilitas BP1 terhadap BK mengalami penurunan sebesar 0,68. Sedangkan faktor daktilitas BP2 terhadap BK mengalami peningkatan sebesar 1,4.
3. Benda uji BK, BP1, dan BP2 mengalami kerusakan lentur, dimana benda uji BP1 dan BP2 terjadi *debonding* setelah retak pertama pada mortar/perkuatan, tetapi masih memberikan dukungan kapasitas terhadap balok sampai mencapai beban maksimum.

Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang perkuatan balok beton bertulang tampang T momen negatif menggunakan kabel baja/sling dengan tambahan kolom pada tengah bentang untuk mengetahui perbandingan dengan balok momen negatif tanpa kolom.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang perkuatan balok beton bertulang tampang T momen negatif menggunakan kabel baja/sling dengan memberi tegangan terlebih dahulu pada kabel baja/sling.
3. Perlu adanya pengukuran lebar retak yang terjadi disetiap pembebanan.
4. Perlu diperhatikan saat pengujian untuk membuat tumpuan sendi yang kuat, agar tidak terjadi slip antara balok dengan tumpuan, sehingga data – data yang didapat tidak perlu banyak dikoreksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional, 2002, *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung
- Badan Standar Nasional, 2013, *SNI 03-2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk Bangunan Gedung*, Bandung
- Badan Standar Nasional, 2002, *SNI 07-2042-2002 Baja Tulangan Beton*, Bandung.
- Badan Standar Nasional, 2008, *SNI 0076-208 Tali Kawat Baja*, Bandung.
- Gere, J. M. dan Timoshenko, S. P., 1996, *Mekanika Bahan*, Erlangga Jakarta.
- Noorhidana, V. A. dan Syahland, S. J. 2009, *Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Penampang Balok Terhadap Beban Maksimum dan Kekakuan Balok beton Bertulang*, Jurnal Sipil dan Perencanaan, Vol. 13 No.2.
- Park, R. dan Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structure*, John Wiley & Sons Inc, Canada
- Rashid, M. A. dan Mansur, M. A., 2005, *Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure*, ACI Structural Journal/May-June 2005.
- Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Bahan Ajar Topik Spesial, Teknik Struktur, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.