

Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Momen Kapasitas Lentur dan Daktilitas Balok

Jaya Permana¹, M. Muhtaris², Eka Susanti*³ dan Yanisfa⁴

^{1,2,3,4}Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Program Studi Teknik Sipil, FTSP-ITATS, Surabaya
e-mail: ³ekasusanti2015@gmail.com, ⁴yanisfa.septi@gmail.com

Received 16 Agustus 2019; Reviewed 04 September 2019; Accepted 28 November 2019
Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

Double reinforcement beam design, increasing the compressive reinforcement can increase the flexural capacity moment and ductility of concrete beams. This helps planners to improve flexural capacity moment with minimal dimensions, that are still acceptable in terms of aesthetics. The purpose of this study is to know how much influence the increasing compressive reinforcement can increase the flexural capacity moment and ductility of concrete beams. Experimental research with beam specimens 20x20x60 cm, 2D16 tensile reinforcement, f_c' 25 mpa and f_y 320 mpa. With a ratio of compressive reinforcement to tensile reinforcement of 0.14; 0.25 and 0.59. Flexural strength testing uses flexible loading with a roll-pined joint. The process of load reading is yield phase until ultimate phase. The results of the analysis show an uses of increasing compressive reinforcement can increase the moment of flexural capacity and ductility. The addition of compressive reinforcement reached 25% from tensile reinforcement, can increase the moment of bending capacity by 4.47%, but uses compressive reinforcement reached 50% of tensile reinforcement, only increasing the bending moment capacity of 1.43%. For ductility, uses compressive reinforcement reaches 25% from tensile reinforcement, can increase ductility by 19.73% and an increase of 26.17% by adding compressive reinforcement up to 50% of tensile reinforcement. From these results it appears that the more improvements added, the more the ductility increases and the less the moment the flexural capacity increases.

Keywords: Compressive Reinforcement, Flexural Capacity Moment, Ductility

Abstrak

Pada disain balok dengan tulangan rangkap, peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas balok beton bertulang dapat dilakukan dengan penambahan tulangan tekan. Hal ini membantu perencana dalam memaksimalkan kemampuan balok dengan dimensi yang minimal sehingga masih dapat diterima dari segi estetika. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan tulangan tekan terhadap peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas. Penelitian ini bersifat eksperimental dengan benda uji balok berdimensi 20x20x60 cm, tulangan tarik 2D16, mutu beton f_c 25 mpa dan mutu baja f_y 320 mpa. Dengan rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik sebesar 0,14 ; 0,25 dan 0,59. Pengujian kuat lentur menggunakan pembebanan satu bending dengan perletakan sendi-rol. Proses pembacaan dan pencatatan dilakukan pada setiap fase yield sampai fase ultimate. Sehingga dapat diketahui besar pembebanan pada saat yield dan ultimate. Hasil analisis menunjukkan penambahan tulangan tekan dapat meningkatkan momen kapasitas lentur dan daktilitas. Penambahan tulangan tekan mencapai 25% dr tulangan tarik, dapat meningkatkan momen kapasitas lentur sebesar 4,47%, namun penambahan tulangan tekan hingga mencapai 50% dr tulangan tarik, hanya meningkatkan kapasitas momen lentur sebesar 1,43%. Untuk daktilitas, penambahan tulangan tekan mencapai 25% dr tulangan tarik, dapat meningkatkan daktilitas sebesar 19,73% dan terjadi peningkatan 26,17% dengan menambahkan tulangan tekan sampai 50% dari tulangan tarik. Dari hasil tersebut terlihat semakin banyak tulangan tekan yang ditambahkan, semakin banyak peningkatan daktilitas dan semakin sedikit peningkatan momen kapasitas lenturnya .

Kata kunci: Tulangan Tekan, Momen Kapasitas Lentur, Daktilitas.

1. Pendahuluan

Struktur beton bertulang merupakan gabungan dua bahan yang komposit, yaitu beton dan baja tulangan. Masing-masing bahan tersebut memiliki peranan tersendiri, yaitu beton yang kuat dalam menahan tekan dan baja tulangan yang kuat menahan tarik. Kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Disain tulangan lentur beton bertulang terdiri dari dua jenis penulangan yaitu: tulangan tunggal dan rangkap. Menurut Priestley, N (1990), Daktilitas material, dalam hal ini material baja dan material beton, dapat membantu dalam meningkatkan daktilitas elemen struktur balok beton bertulang. Dan menurut Park Paulay (1975), penggunaan tulangan rangkap dapat meningkatkan momen kapasitas lentur dan meningkatkan daktilitas pada balok. Hasil penelitian Oscar (2009) menyatakan bahwa hasil analisis dari permodelan benda uji dengan penambahan tulangan tekan, dapat meningkatkan daktilitas kurvatur.

Perubahan disain dilapangan terkadang menyebabkan perubahan pada kebutuhan akan kapasitas lentur balok yang lebih tinggi dari kapasitas disain. Dengan sifat penambahan tulangan tekan yang dapat peningkatan kapasitas lentur balok, maka hal ini akan dapat menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan tersebut, tanpa harus memperbesar ukuran balok dan memiliki nilai tambah dari segi estetika. Pada penelitian ini akan dilakukan studi eksperimental terhadap balok beton bertulang dengan variasi rasio tulangan tekan terhadap tulangan tarik, untuk melihat seberapa efektif baja tulangan SNI (Standar Nasional Indonesia) mampu memberikan peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas dalam kasus penambahan tulangan tekan.

2. Metode Penelitian

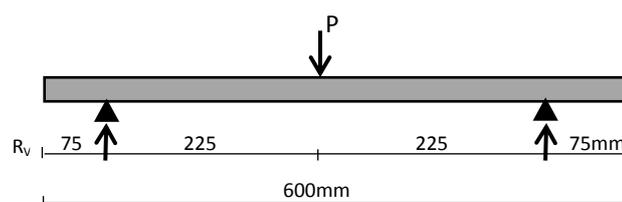
Penelitian ini bersifat eksperimental dengan data balok beton bertulang sebagai berikut:

Dimensi balok uji : 20 x 20 x 60 cm
 Mutu beton : 30 Mpa
 Mutu baja : 320 Mpa

Dasar penetapan nilai rasio tulangan tarik dan penambahan tulangan tekan mengacu pada Park Paulay (1975) dan Nawy, E.G., (1996) untuk perkiraan analisis kuat lentur balok dengan tulangan rangkap. Pada penelitian ini digunakan tulangan tarik 2D16 ($A_s = 401,92 \text{ mm}^2$) dan tulangan tekan 2D6 ($A_s' = 56,52 \text{ mm}^2$). Sehingga $\rho = A_s/bd = 401,92/(200 * 166) = 0,012 \approx 0,01$ dan $\frac{\rho'}{\rho} = \frac{A_s'}{A_s} = \frac{56,52}{401,92} = 0,014 \approx 0$. Hal yang sama juga dilakukan untuk penambahan tulangan tekan berikutnya dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data benda uji

Tipe	Jumlah tulangan tarik (ρ)	Jumlah tulangan tekan (ρ')	ρ'/ρ
BU1		2D6	0,14
BU2	2D16	2D8	0,25
BU3		3D10	0,59



Gambar 1. Statika pembebanan lentur benda uji

Masing-masing tipe benda uji dibuat 3 sample dan di uji lentur dengan meletakkan benda uji diantara dua tumpuan dan beban di tengah bentang. Hasil uji lentur berupa data beban (P) pada saat yield dan ultimit. Analisis momen kapasitas lentur dilakukan dengan analisis struktur statis tertentu, dimana balok terletak diantara 2 tumpuan dan beban P sesuai dengan data uji lentur dengan statika seperti pada gambar 1.

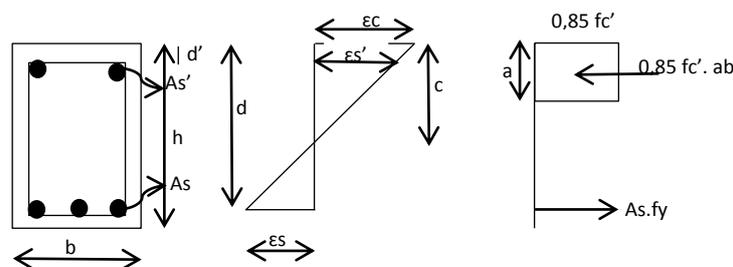
M_{max} ditengah bentang diperoleh dengan persamaan 1, dengan prosedur analisis daktilitas mengacu pada hasil penelitian Eka Susanti (2014) dan validasi persamaan pada buku Purwono, R (2002).

$$M_{max} = R_{vA} (225+75) - (q (0,5L) \times 0,25L) \quad (1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} q &= \text{berat sendiri balok} = b \times h \times B_j \text{ balok} \\ B_j \text{ balok} &= 2400 \text{ kg/m}^3 \\ R_{vA} = R_{vB} &= \text{Reaksi perletakan} = P/2 + qL/2 \end{aligned}$$

Analisis dilanjutkan untuk memperoleh nilai kurvatur dan daktilitas balok. Perumusan berdasarkan diagram regangan dan tegangan balok seperti pada gambar 2.



Gambar. 2. Diagram Regangan dan Tegangan Beton Bertulang

2.1. Kurvatur Yield

Nilai kurvatur pada saat yield dapat di hitung berdasarkan persamaan 2 sampai dengan 4, Priestly (1990).

$$c = \frac{M_y}{A_s f_y} \quad (2)$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_{sy} c}{d-c} = \frac{f_y c}{E_s (d-c)} \quad (3)$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_c}{c} \quad (4)$$

Dimana:

- c = jarak garis netral (cm)
- d = Jarak permukaan sisi atas penampang ke titik berat tulangan tarik
- M_y = Momen pada saat yield, diperoleh dari data uji beban lentur saat P mencapai yield dan M_y di hitung dengan persamaan 1
- A_s = luas baja tulangan tarik = $n \frac{1}{4} \pi d^2$ (cm^2)
- n = Jumlah tulangan

- f_y = Mutu baja (Mpa)
 E_s = Modulus elastisitas baja = 200.000 Mpa
 ε_{sy} = Regangan baja pada saat yield = $\frac{f_y}{E_s}$
 φ_y = Kurvatur pada saat yield

2.2. Kurvatur Ultimit

Nilai kurvatur pada saat ultimit dapat di hitung berdasarkan persamaan 5 sampai dengan 9, Priestly (1990).

$$c = \left(\frac{a}{\beta}\right) \quad (5)$$

Dimana: $\beta = 0,85$ (untuk $f_c \leq 30\text{Mpa}$)

Tinggi daerah tekan beton, a dicari dengan persamaan momen berikut (diasumsikan baja tekan belum leleh)

$$M_u = 0,85f'_c ab \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' E_s \varepsilon_{cu} \left(\frac{a - \beta d'}{a}\right) \quad (6)$$

Cek apakah baja tekan sudah leleh, dengan persamaan 7.

$$\varepsilon_s' = \frac{\varepsilon_{cu}(c - d')}{c} < \varepsilon_{sy} = \frac{f_y}{E_s} \quad (7)$$

Apabila baja tekan belum leleh, maka nilai a yang dicari dengan persamaan 6 sudah benar. Namun apabila persamaan 7 menyatakan baja tekan sudah leleh, maka cara mencari nilai a diganti dengan menggunakan persamaan 8:

$$M_u = 0,85f'_c ab \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y (d - d') \quad (8)$$

Berdasarkan nilai a ini, maka dapat dicari nilai c dengan persamaan 5 dan mencari kurvatur ultimit dengan persamaan 9.

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} \quad (9)$$

Dimana:

- a = tinggi penampang beton tekan (cm)
 f'_c = Mutu beton (Mpa)
 b = lebar balok beton
 ε_{cu} = regangan beton ultimit = 0,003
 ε_s' = regangan baja tekan = $\frac{f_s'}{E_s}$
 d' = Jarak permukaan sisi atas penampang ke titik berat tulangan tekan
 M_u = Momen pada saat ultimit, diperoleh dari data uji beban lentur saat P mencapai ultimit dan M_u di hitung dengan persamaan 1
 A_s' = luas baja tulangan tekan = $n \frac{1}{4} \pi d^2$ (cm^2)
 n = Jumlah tulangan
 φ_u = Kurvatur pada saat ultimit

2.3. Daktilitas (μ)

Daktilitas merupakan ukuran dari kinerja struktur terhadap beban gempa. Semakin daktil strukturnya, maka makin baik kinerja struktur tersebut dalam menerima beban gempa. Daktilitas ini adalah kemampuan struktur untuk masih tetap bertahan dari keadaan baja tulangan tarik sudah mencapai yield sampai beton mencapai keruntuhan/ultimit. Semakin lama kemampuan struktur tersebut bertahan dari keadaan yield hingga mencapai ultimit, makin daktil struktur tersebut dan semakin banyak nyawa akan terselamatkan. Daktilitas ini di hitung berdasarkan persamaan 10, Priestly (1990).

$$\mu = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} \quad (10)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil uji lentur dari 3 tipe benda uji adalah sebagai berikut

Tipe Benda uji	BU1 (P dalam kg)			BU2 (P dalam kg)			BU3 (P dalam kg)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500	5500
	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500
	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500	8500
	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000
	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500	9500
	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500	10500
		11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000	11000
		11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500	11500
		12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000

Data hasil uji lentur di rangkum dalam tabel 2 untuk kemudahan perhitungan.

Tabel 2. Hasil uji lentur rata-rata

Tipe	*P (kg) saat yield	*P (kg) saat ultimit
BU1	7.000	11.166,67
BU2	5.333,3	11.666,67
BU3	1.666,67	11.833,33

*P adalah nilai rata-rata dari ke tiga benda uji untuk satu tipe benda uji.

Berdasarkan tabel 2 dan persamaan 1 sampai dengan persamaan 10 maka dilakukan analisis momen kapasitas lentur, kurvatur dan daktilitas seperti contoh berikut.

Contoh analisis momen kapasitas lentur, kurvatur dan daktilitas untuk balok tipe BU1:

a. Fase Yield

Nilai P rata-rata pada fase yield dari ketiga benda uji adalah:

$$P_{yield} = \frac{5500 + 8000 + 7500}{3} = 7000 \text{ kg} = 70000 \text{ N}$$

Berat balok beton (q)

$$q = B_{j_{\text{Beton}}} \times b \times h = 0,000024 \times 200 \times 200 = 0,96 \text{ N/mm}$$

Reaksi perletakan:

$$\begin{aligned} RVA &= \frac{P_{yield}}{2} + Q \frac{L}{2} \\ &= \frac{70000}{2} + 0,96 \times \frac{600}{2} = 35288 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen yield yang terjadi adalah:

$$\begin{aligned} M_y &= Rva \cdot \frac{L_0}{2} - \frac{Q}{2} \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\ &= 35288 \times \frac{450}{2} - \frac{0,96}{2} \left(\frac{600}{2}\right)^2 = 10543200 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tinggi daerah tekan beton (c) :

$$c = \frac{M_y}{A_s \cdot f_y} = \frac{10543200}{401,92 \times 320} = 81,975 \text{ mm}$$

Regangan beton pada saat baja tulangan tarik sudah mencapai fase yield

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_y \cdot c}{d - c} = \frac{0,0016 \times 81,975}{171 - 81,975} = 0,00147$$

Kurvatur pada fase yield:

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,00147}{81,975} = 0,00001797 \text{ Rad/mm}$$

b. Fase Ultimate

Nilai P rata-rata pada fase ultimit dari ketiga benda uji adalah:

$$P_{ultimte} = \frac{10500 + 11000 + 12000}{3} = 11666,66 \text{ kg} = 116666,6 \text{ N}$$

Reaksi perletakan:

$$Rva = \frac{P_{ultm}}{2} + Q \frac{L}{2} = \frac{116666,6}{2} + 0,96 \frac{600}{2} = 56121,3 \text{ N}$$

Momen ultimit yang terjadi adalah:

$$M_u = Rva \cdot \frac{L_0}{2} - \frac{Q}{2} \left(\frac{L}{2}\right)^2 \\ = 56121,3 \times \frac{450}{2} - \frac{0,96}{2} \left(\frac{600}{2}\right)^2 = 16793200 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari tinggi daerah tekan beton (a), diasumsikan baja tekan belum leleh, maka:

$$M_u = 0,85 f_c' ab \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s E_s \varepsilon_c \left(\frac{a - \beta d'}{a}\right) \\ 16793200 = 0,85 \times 25 \times a \times 200 \left(171 - \frac{a}{2}\right) + 401,92 \times 200000 \times 0,003 \left(\frac{a - 0,85 \times 20}{a}\right) \\ a = 18,965 \text{ mm}$$

Tinggi daerah tekan beton:

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{18,965}{0,85} = 22,31 \text{ mm}$$

Cek apakah benar asumsi baja tekan belum leleh:

$$\varepsilon_s' = \frac{\varepsilon_{cu}(c - d')}{c} \\ = \frac{0,003(22,31 - 20)}{22,31} = 0,0003108 < \varepsilon_{sy} = 0,0016$$

Berarti benar baja tekan belum leleh.

Kurvatur ultimit:

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,003}{22,31} = 0,00013 \text{ Rad/mm}$$

Nilai daktilitas

$$Daktilitas = \frac{\varphi_u}{\varphi_y} = \frac{0,00013}{0,00001797} = 7,48$$

Dengan cara yang sama, dilakukan analisis momen kapasitas lentur, kurvatur dan daktilitas untuk balok tipe BU2 dan BU3 yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil analisis Momen, kurvatur dan daktilitas

Tipe	ρ' / ρ	My (Nmm)	Mu (Nmm)	φ_y	φ_u	μ
BU1	0,14	10.543.200	16.793.200	0,00001797	0,00013	7,23
BU2	0,25	8.021.600	17.521.600	0,00001473	0,000132	8,96
BU3	0,59	2.521.600	17.771.600	0,000011633	0,000132	11,35

Sebagai validasi hasil penelitian, hasil penelitian ini dapat dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu:

1. Perbandingan Terhadap Hasil Penelitian Oscar (2009)

Tabel 2 Oscar (penelitian permodelan) menyatakan bahwa untuk balok R3-4 dengan rasio tulangan tarik $\rho = 0,0125$ dan penambahan tulangan tekan mencapai $\frac{1}{4}$ tulangan tarik ($\frac{\rho'}{\rho} = 0,25$), dapat mencapai daktilitas sebesar 9,8793.

Tabel 3 pada penelitian ini (penelitian eksperimental), benda uji R3-4 sebanding dengan benda uji BU2, dengan nilai $\rho = 0,012$ dan $\frac{\rho'}{\rho} = 0,25$ dan daktilitas yang dihasilkan adalah 8,96. Apabila dibandingkan, terdapat selisih nilai penelitian permodelan terhadap nilai penelitian eksperimental sebesar 9,3%.

2. Perbandingan Terhadap Hasil Penelitian Park Paulay (1975)

Keduanya merupakan hasil penelitian eksperimental dengan perbedaan karakteristik material baja dari negara masing-masing. Untuk memudahkan perbandingan hasil penelitian, maka tabel 3 diubah dalam bentuk prosentase peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas, yang tertera pada tabel 4.

Tabel 4. Prosentase peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas

Peningkatan ρ'/ρ	Peningkatan Mu (%)	Peningkatan μ (%)
0,14 sd 0,25	4,47	19,73
0,25 sd 0,59	1,43	26,17

Dari tabel 4, terlihat bahwa penambahan tulangan tekan sampai dengan 25% dapat meningkatkan momen kapasitas lentur Mu mencapai 4,47% dan daktilitas 19,73%. Namun penambahan tulangan tekan diatas 25% sd 50%, hanya meningkatkan sedikit kapasitas lentur dan banyak peningkatan nilai daktilitas. Dengan kata lain, penambahan tulangan tekan diatas 50%, tdk efektif dalam peningkatan kapasitas lentur, namun sangat efektif dalam peningkatan daktilitas. Apabila dibandingkan terhadap hasil penelitian Park Paulay (1975), tabel 5, terdapat perbedaan yang sangat jauh. Penambahan tulangan tekan sampai dengan 30%, dapat meningkatkan kapasitas lentur hingga 10%, 50% lebih tinggi dari hasil penelitian ini. Peningkatan daktilitas dengan penambahan tulangan tekan hingga 60% adalah 70, lebih tinggi 63% dari hasil penelitian ini.

Tabel 5. Hasil penelitian Park Paulay (Prosentase peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas)

Peningkatan ρ'/ρ	Peningkatan Mu (%)	Peningkatan μ (%)
0 sd 0,333	10	60
0,333 sd 0,666	5	70

Mengacu pada hasil penelitian Park Paulay ini, perlu adanya pembahasan lebih lanjut, mengenai hubungan daktilitas material baja terhadap peningkatan momen kapasitas lentur dan daktilitas balok beton bertulang. Perlu penambahan pada bahasan hasil uji tarik baja tulangan yang digunakan oleh Park Paulay terhadap hasil uji tarik baja tulangan SNI hasil produksi beberapa produsen baja Indonesia. Dengan penambahan bahasan tersebut, akan diperoleh analisis yang lebih dalam mengenai perbedaan hasil pengujian tersebut.

4. Kesimpulan

1. Penambahan tulangan tekan dapat meningkatkan momen kapasitas lentur dan daktilitas.
2. Namun semakin banyak tulangan tekan yang ditambahkan, momen kapasitas lentur hanya bertambah sedikit. Hal ini terlihat pada penambahan tulangan tekan hingga mencapai 50% tulangan tarik, hanya meningkatkan kapasitas momen lentur sebesar 1,43%.

3. Namun yang terpenting adalah daktilitas struktur dapat terus meningkat dengan signifikan
4. Hasil penelitian berbeda jauh dengan hasil penelitian Park Paulay.

Daftar Pustaka

- Eka Susanti (2014). *Studi Perbandingan Nilai Kuat Lentur dan Daktilitas Beton Yang Menggunakan Pasir Merapi dan Pasir Lumajang*, Jurnal KERN UPN, vol.4 No.1 hal 11-19, ISSN: 2087-7498
- Nawy, E.G., (1996), *"Reinforced Concrete, Fundamental Approach"*, 3rd ed, Prentice-Hall Inc., New York.
- Oscar Fithrah Nur (2009), *Analisa Pengaruh Penambahan Tulangan Tekan Terhadap Daktilitas dan Kurvatur Balok Beton Bertulang*, Jurnal Rekayasa Sipil VOLUME 5 NO. 1, Pebruari 2009, ISSN 1858 -2133
- Priestley, M.J.N.; dan Paulay, T (1990), *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley & Sons.
- Park, R.; dan Paulay, T (1975), *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons, 761 hal.
- Purwono, R.; Tavio, Imran, I.; dan Raka I G. P (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*, ITS Press, Surabaya, Indonesia, 408 hal

