

## PEMODELAN BALOK TINGGI PADA BETON MUTU TINGGI DENGAN PENGEKANGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA 3D

oleh :

**Elia Anggarini**

Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Email : lia.teweh@gmail.com

**Faridha Hayati**

Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Email : faridhahayati@gmail.com

**Ichwan Setiawan**

Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Banjarmasin

Email : ichwansetiawan83@gmail.com

**Abstrak:** Sampai saat ini, pengekangan adalah cara yang paling efektif untuk meningkatkan daktilitas pada beton mutu tinggi. Pengekangan dibutuhkan untuk mengantisipasi timbulnya retak langsung pada balok tinggi yang diakibatkan oleh gaya geser yang cukup besar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pola keruntuhan dan daktilitas balok tinggi beton mutu tinggi akibat pengekangan. Penelitian ini melakukan pengujian secara bertahap menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program komputasi ANSYS. Tahapan permodelan dilakukan secara *3D full scale* untuk menunjukkan pola tegangan khususnya pada tulangan. Pengujian model balok tinggi beton mutu tinggi dilakukan secara bertahap dengan memberikan variasi jarak dan letak tulangan sengkang. Beban yang diaplikasikan adalah *two point loads* dengan nilai pembebanan yang sama pada setiap model. Keseluruhan analisa untuk mendapatkan nilai daktilitas  $\geq 4$  yang merupakan syarat daktilitas untuk beban gravitasi. Hasil menunjukkan keruntuhan yang terjadi hampir semuanya adalah keruntuhan lentur (tekan) pada daerah *loading plate*, sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan geser yang bersifat getas.

**Kata Kunci :** pengekangan, balok tinggi, beton mutu tinggi, full scale, daktilitas

**Abstract:** *Until now, confinement is the most effective way to improve the ductility of the concrete. It is needed to anticipate the emergence of direct crack in deep beam caused by a huge shearing force. This research aimed to analyse the collapse's pattern and ductility of high strength concrete beam as the result of confinement. This research has conducted a gradually test by finite element method using ANSYS. Modelling stage has been done in 3D full scale to show the stress pattern especially on reinforcement. The modelling stage were distance between confinement and the position of confinement. The applied loads were two point loads with the same loads value in each model. The overall analysis was done to get the ductility values  $\geq 4$  which is the requirement for gravity load. The result shows the collapse's pattern in each model is flexural failure in the area of loading plat, therefore the final collapse's pattern is determine by the brittle shear failure.*

**Keywords:** *confinement, deep beam, high strength concrete, full scale, ductility*

## Pendahuluan

Pada balok tinggi akan dominan terjadi keruntuhan geser, dimana keruntuhan bersifat getas (brittle) tanpa adanya peringatan berupa lendutan yang berarti. Keruntuhan geser diakibatkan oleh gaya geser yang mengakibatkan terjadinya retak miring pada balok, dan setelah retak ini terjadi, mekanisme transfer gaya geser akan disumbangkan oleh aksi pelengkung (arching action). Aksi ini dapat memberikan cadangan kapasitas yang cukup besar pada balok dalam memikul beban (Sudarsana, 2006). Sampai saat ini, cara yang paling efektif untuk meningkatkan daktilitas dari beton adalah dengan memberikan pengekanan (confinement) (Park dan Paulay, 1974). Pengekanan dibutuhkan untuk mengantisipasi timbulnya retak secara langsung pada balok yang diakibatkan oleh gaya geser yang cukup besar. Beton mutu tinggi memiliki kekuatan yang tinggi namun daktilitasnya rendah, sehingga perlu upaya khusus untuk meningkatkan kinerja daktilitasnya agar lebih tahan gempa. Oleh karena itu untuk mempelajari perilaku balok tinggi beton mutu tinggi dengan pengekanan maka penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis metode elemen hingga dengan bantuan program software komputasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan permodelan metode elemen hingga dengan bantuan program software komputasi dan untuk menganalisis nilai daktilitas kurvatur serta ketahanan pada balok tinggi beton mutu tinggi yang dipengaruhi oleh pengekanan.

## Sasaran Penelitian

Sasaran dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui kriteria desain yang tepat untuk balok tinggi beton bertulang mutu tinggi yang digunakan dan memberikan suatu konsep pemodelan yang tepat dan ekonomis dari segi biaya apabila melakukan pengujian eksperimental di laboratorium.

## Tinjauan Pustaka

Penggunaan sengkang akan meningkatkan kekuatan balok karena sengkang akan memikul sebagian besar gaya geser penampang, sengkang akan menahan perkembangan lebar retak tarik diagonal dan sengkang yang cukup rapat akan mengikat beton. Beton bertulang akan meningkat kekuatannya apabila dilakukan pengekanan. Salah satu faktor yang kemungkinan dapat mempengaruhi daktilitas kurvatur adalah pengekanan (Whittaker, 2000), dimana pengekanan berhubungan erat dengan rasio tulangan.

## Balok Tinggi

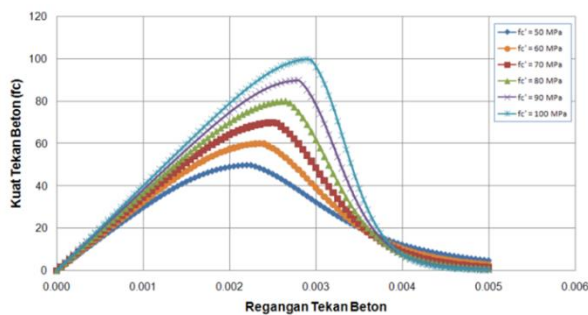
Pengertian balok tinggi menurut ACI Code 318-2008 adalah suatu balok yang memiliki nilai perbandingan bentang bersih ( $l_n$ ) sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi keseluruhan balok ( $h$ ) untuk pembebanan merata atau dua kali tinggi efektif balok ( $2d$ ) dari muka perletakan untuk balok dengan pembebanan terpusat (Wight, 2009). Atau balok yang memiliki bentang geser yang pendek dengan angka perbandingan bentang geser/tinggi efektif ( $a/d$ ) kurang dari 2,0 untuk balok dengan tumpuan sederhana (simply supported beam) atau kurang dari 2,5 untuk balok yang memiliki bentang yang panjang (continous beam) (Park, 1975). Sedangkan menurut Nawy pengertian balok tinggi adalah balok yang memiliki perbandingan bentang

geser/tinggi efektif ( $a/d$ ) tidak melebihi dari 2,0 dan 2,5 di mana bentang geser adalah bentang bersih balok untuk beban terdistribusi merata beban terpusat dan kurang dari 5,0 untuk beban merata.

### Beton Bertulang Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi adalah beton yang mempunyai kuat tekan tinggi, ketahanan dan kemampuan yang tinggi terhadap berbagai keadaan lingkungan. Beton mutu tinggi juga memiliki modulus elistisitas yang tinggi, rendah permeabilitas dan ketahanan terhadap serangan dari beberapa kerusakan (Neville dan Aitcin, 1997). Menurut klasifikasi kekuatannya, beton mutu tinggi dengan kuat tekan 50 MPa sampai 80 MPa dan beton mutu sangat tinggi dengan kuat tekan lebih dari 80 MPa.

Grafik hubungan tegangan dan regangan beton mutu tinggi usulan Popovics dapat dilihat pada Gambar 1.

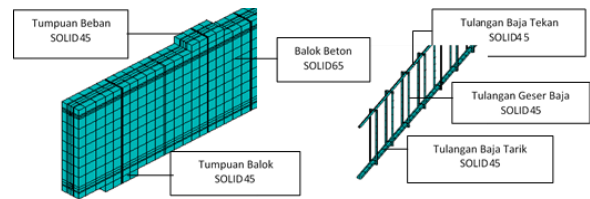


Gambar 1. Grafik Tegangan-Regangan Beton Mutu Tinggi Usulan Popovics (1973)

### Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan bantuan software komputasi ANSYS versi 9.0. Pada permodelan akan dilakukan secara 3D full scale solid element untuk seluruh bagian elemen. Hasil analisis yang akan diperoleh berupa nodal displacement, elements forces and moments, deflection, dan diagram stress contour. Selain itu juga akan diperoleh pola

keretakan yang terjadi pada kondisi retak pertama (first crack) dan retak ultimit (ultimit crack). Pendeskripsian element types untuk input ANSYS balok tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.



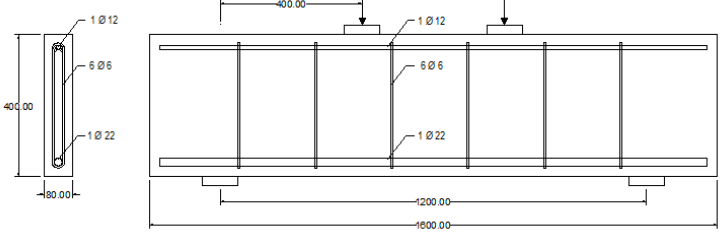
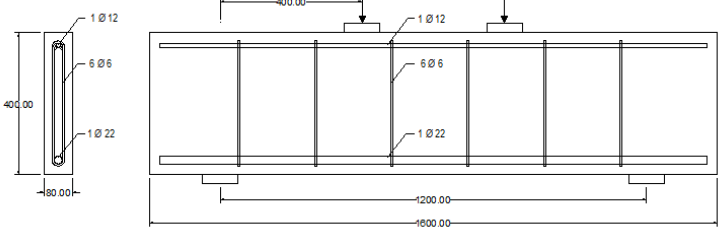
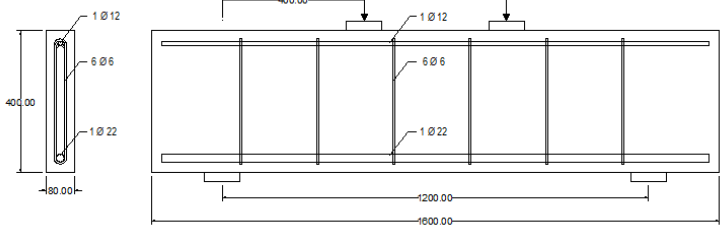
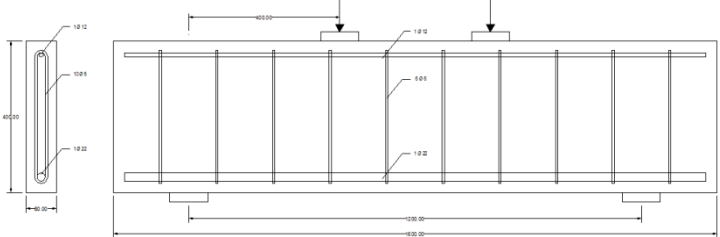
Gambar 2. Element Types untuk Input ANSYS

Tabel 1. Data Model Elemen Balok Beton Bertulang di ANSYS

Material	Elemen	Dimensi	Element Type
Beton	Balok	800 mm x 400mm	SOLID 65
Baja	Tulangan Tarik	1D22 (As=628 mm <sup>2</sup> )	SOLID 45
	Tulangan Tekan	1D12 (As=628 mm <sup>2</sup> )	
Baja	Tulangan Geser	φ6-125 mm	SOLID 45
Baja	Tumpuan / Tumpuan Beban	200 mm x 100 mm x 50 mm	SOLID 45

Konfigurasi model balok beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konfigurasi Model Elemen Balok Beton Bertulang (L= 1600 mm)

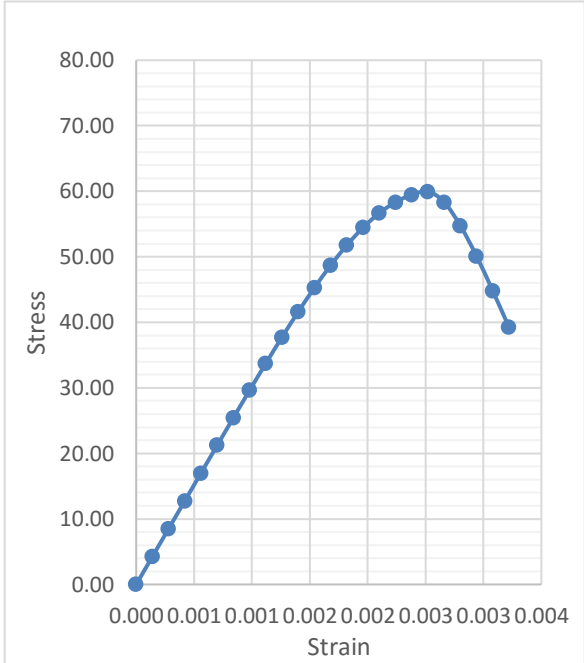
Pemodelan	Gambar
Kode: EFI-BTMTVal000 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-215$	 <p style="text-align: center;"><b>Balok Validasi</b></p>
Kode: EFI-BTMTVal001 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-215$	 <p style="text-align: center;"><b>Balok Validasi</b></p>
Kode: EFI-BTMT-90-M1 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-215$	
Kode: EFI-BTMT-90-M2 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-144$	

(dilanjutkan)

Tabel 2. Konfigurasi Model Elemen Balok Beton Bertulang (L= 1600 mm) (lanjutan)

Pemodelan	Gambar
Kode: EFI-BTMT-90-M3 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-75$	
Kode: EFI-BTMT-90-M4 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-22$	
Kode: EFI-BTMT-90-M5 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-75$	
Kode: EFI-BTMT-90-M6 $f_c' : 90 \text{ MPa}$ Tulangan tarik: 1D22 Tulangan Tekan: 1D12 Tulangan Sengkang: $\emptyset 6-22$	

Tabel 3. Input material model SOLID65 (beton)

<b>Linear Isotropic</b>		
Modulus Elastisitas	30374 MPa	Rumus Modifikasi Usulan Dr. K. M. Nemati
Poisson Rasio	0,20	HSC
<b>Multilinear Kinematic Hardening</b>		
Strain ( $\epsilon_c$ )	Stress ( $f_c$ )	Grafik
0,00042	12,756	
0,00055	17,003	
0,00083	25,454	
0,00111	33,741	
0,00137	41,621	
0,00149	45,292	
0,00160	48,702	
0,00170	51,782	
0,00179	54,461	
0,00160	48,702	
0,00170	51,782	
0,00179	54,461	
0,00186	56,67	
0,00192	58,35	
0,00195	59,456	
0,00252	59,964	
0,00266	58,344	
0,00294	50,101	
0,00042	12,756	
<b>Concrete65</b>		
Open shear transfer coefficient	0,20	
Closed shear transfer coefficient	1,00	
Uniaxial cracking stress	4,5701	$0.59 \times \sqrt{f_c'}$
Uniaxial crushing stress	60	$f_c'$
Tensile crack factor	0,60	

Tabel 4. Input material model SOLID45 (Baja Tulangan)

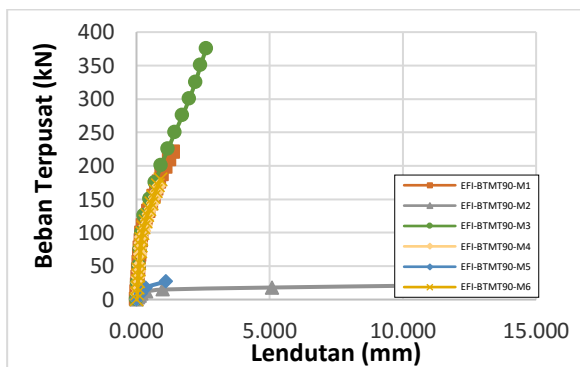
<b>Linear Isotropic</b>	
Modulus Elastisitas Baja	200000
Poisson Rasio	0,30
<b>Bilinear Isotropic Hardening</b>	
Tegangan leleh Baja, $f_y$ (Tul. Utama $\varnothing$ 22 mm)	585
Tegangan leleh Baja, $f_y$ (Tul. Utama $\varnothing$ 12 mm)	433
Tegangan leleh Baja, $f_y$ (Tul. Senggang $\varnothing$ 6 mm)	397

Tabel 5. Input material model SOLID45  
(Tumpuan dan Loading Plat)

Linear Isotropic		Kondisi Linier
Modulus Elastisitas Baja	200000	
Poisson Rasio	0,30	

### Hasil Pengujian Lendutan

Hasil dari pengujian lendutan balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan FEA ANSYS yang dilakukan dengan variasi jarak sengkang dan letak tulangan sengkang menghasilkan nilai lendutan yang variasi pula. Lendutan terkecil didapatkan pada model EFI-BTMT90-M4 dengan beban ultimit yang mampu ditahan hanya 170 kN sedangkan lendutan terbesar didapatkan pada model EFI-BTMT90-M2 dengan beban yang mampu ditahan adalah sebesar 210 kN. Hasil dari pengujian balok tinggi model 1 sampai dengan model 6 dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

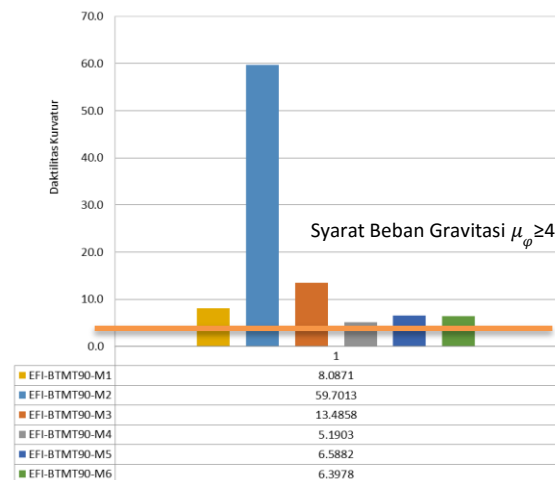


Gambar 3. Diagram P-Lendutan Beton Pengujian (Midspan)

Berdasarkan Gambar 3 diagram beban dan lendutan, dapat dilihat bahwa pada model 2 sangat duktail dengan nilai lendutan sebesar 11,0 mm.

### Hasil Pengujian Duktilitas Kurvatur

Hubungan momen-kurvatur dapat dicari setelah nilai beban dan lendutan didapat. Peningkatan kurvatur terjadi bila nilai lendutan bertambah besar, kondisi tersebut menentukan sifat duktail balok, semakin besar nilai kurvatur menyebabkan balok semakin bersifat duktail. Hasil analisa duktilitas kurvatur pada pemodelan ii dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Duktilitas Kurvatur pada Semua Model Balok

Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada balok tinggi pada dasarnya mempunyai nilai duktilitas kurvatur kurang dari 4 (syarat untuk beban gravitasi) yang menyebabkan balok tinggi bersifat getas. Namun dengan merapatkan jarak tulangan sengkang menyebabkan kenaikan nilai duktilitas secara signifikan.

### Hasil Pengujian Tegangan Beton dan Tulangan Baja

Hasil dari pengujian tegangan pada Balok Tinggi Beton Beton Mutu Tinggi menggunakan FEA ANSYS dapat disimpulkan bahwa tegangan beton dan tulangan baja pada balok tinggi mempunyai nilai tegangan yang di dominasi oleh tegangan tekan sehingga pola keruntuhan

akhir ditentukan oleh keruntuhan geser yang bersifat getas.

Hasil analisis tegangan pada balok tinggi beton mutu tinggi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

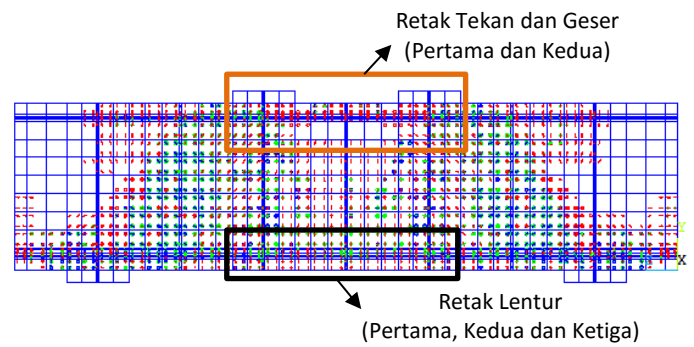
Tabel 6. Nilai Tegangan Ultimit Pada Model Balok Tinggi

Kode Benda Uji	Mutu Beton	Tegangan Retak Pertama	Tegangan Retak Ultimit
	$f'_c$ (MPa)	(MPa)	(MPa)
EFI-BTMT90-M1	90	33,870	84,525
EFI-BTMT90-M2	90	7,055	84,080
EFI-BTMT90-M3	90	11,511	64,711
EFI-BTMT90-M4	90	9,480	27,851
EFI-BTMT90-M5	90	5,679	20,671
EFI-BTMT90-M6	90	9,114	36,536

Dapat dilihat pada Tabel 6 dengan tegangan pada model yang tulangan sengkangnya tersebar sepanjang bentang balok memiliki nilai yang tertinggi, sedangkan untuk nilai tegangan yang terendah dimiliki oleh model balok yang tulangan sengkangnya hanya diberikan pada daerah lentur.

### Hasil Pengujian Pola Retak Balok

Untuk penjelasan pola retak yang umumnya terjadi pada balok tinggi dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pola Retak pada saat Beban Ultimit pada Pengujian Tahap I

Dapat dilihat pada Gambar 8 retak mula-mula terjadi pada daerah tarik tengah bentang berupa retak lentur dan pada daerah tekan pada posisi loading plat berupa retak tekan, kemudian seiring bertambahnya beban secara bertahap (load step) retak pada daerah geser balok terjadi retak geser, retak berangsur menjalar menyudut yang terjadi antara perletakan menuju loading plat, pola retak menyudut pada saat beban ultimit membentuk sudut antara 45o sampai 65o yang menimbulkan keruntuhan berupa keruntuhan geser yang menyebabkan keruntuhan bersifat getas.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap model balok tinggi beton mutu tinggi dengan variasi jarak dan diameter sengkang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil dari perilaku balok tinggi beton mutu tinggi berupa nilai lendutan, nilai tegangan, pola retak dan kekuatan suatu balok tinggi berdasarkan analisis menggunakan FEA ANSYS meningkat pada balok uji yang tulangan sengkang diberikan sepanjang bentang balok.
2. Pemberian tulangan sengkang pada daerah geser dan lentur tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada kekuatan balok tinggi beton mutu tinggi.



3. Nilai daktilitas tidak akan meningkat secara signifikan dengan hanya memberikan tulangan sengkang pada daerah geser dan lentur, sedangkan dengan melakukan memberikan tulangan sengkang sepanjang bentang baik akan sangat mempengaruhi dalam meningkatkan nilai daktilitas. Jadi, penambahan tulangan sengkang sepanjang bentang balok adalah paling efektif dalam menambah daktilitas pada balok tinggi.

### Daftar Pustaka

- Aguilar, G, Adolfo B. Matamoros, Gustavo J. Parra-Montesinos, Julio A. Ramírez, and Wight, K. James. 2002. *Experimental Evaluation of Design Procedures for Shear Strength of Deep Reinforced Concrete Beams*. ACI Structural Journal.
- Arabzadeh, A, R. Aghayari, Ali Reza Rahai. 2011. *Investigation of Experimental and Analytical Shear Strength of Reinforced Concrete Deep Beams*. International Journal of Civil Engineering.
- Azizinamini, A., Kuska, S.S.B., Brungardt, P., Hatfiled, E., *Seismic Behaviour of Square High Strength Concrete Columns*, ACI Structural Journal, V. 91, no. 3, May-June 1994, pp. 336 - 345.
- Barbosa, Antonio F, Gabriel O. R. 1998. *Analysis of Reinforced Concrete Structures Using ANSYS Nonlinear Concrete Model*. CIMNE, Barcelona, Spain.
- C. G. Karayannis, C. E. Chalioris, P. D. Mavroeidis. 2005. "Shear Capacity of RC Rectangular BEFImS with Continuous Spiral Transversal Reinforcement", Computational Methods and Experimental MEFIsurements XII - Modeling and Simulation, Vol. 41, Ed. C.A. Brebbia, CA., pp. 379-386.
- Carrasquillo, R. L., Athur H. Nilson, Floyd O. Slate. 1981. "Properties of high-strength concrete subject to short-term loads." Journal of the American Concrete Institute, 78(3), 171-178.
- Delalibera, RG., dan J. S. Giongo. 2008. "Theoretical and Numerical Analysis of Reinforced Concrete Beams with Confinement Reinforcement", IBRACON Structures and Materials Journal, Vol. 1, No. 1, pp. 17-30.
- Handayani, Noviyanthi. 2010. *Perilaku Lentur dan Geser Balok Tinggi Beton Mutu Normal Berdasarkan SNI 03-2847-2002*. Magister Teknik Sipil Universitas Lambung mangkurat Banjarmasin, Banjarmasin.
- Jang, Il-Young., Park, Hoon-Gyu., Kim, Yong-Gon., Kim, Sung-Soo, dan Kim, Jong-Hoe. 2009. *Flexural Behavior of High-Strength Concrete Beams Confined with Stirrups in Pure Bending Zone*, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 3, No.1, pp. 39-45.
- Hadi, Muhammad NS., Ross J. 2008. "The Effects of Confinement Shapes on Over Reinforced HSC Beams", International Journal of Computer, Information, and Systems Science, and Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 110-117.
- Karthik M. R, Madhu. 2009. *Stress-Strain Model of Unconfined and Confined Concrete and Stress-Block Parameters*. Texas A&M University.
- Lertsrisakulrat, T., Niwa, J., Yanagawa, A. and Matsuo, M.: *Concepts of Localized Compressive Failure of Concrete in RC Deep Beams*, Journal of Materials, Concrete Structures, Pavements, No.697, Vol.54, pp.215-225, Feb. 2002.
- Mandal, P. 1993. *Curvature Ductility of Reinforced Concrete Sections with and without Confinement*, Master Thesis Department of Civil Engineering,

- Kanpur: Indian Institute of Technology Kanpur.
- Mander J.B, M. J. N.Priestley, Park R. 1988. *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.114, No.8, pp.1804-1826.
- Nemati, Kamran M. 1991. *Relationship Between the Compressive Strength and Modulus of Elasticity of High-Strength Concrete*, CBM-CI International Workshop, Karachi, Pakistan
- Sudarsana, I.K. 2006. *Prediksi Kuat Geser Balok-Tinggi Beton Bertulang Berdasarkan Strut and Tie Model*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol.10, No.1, Januari 2006
- Sugianto, Agus. 2011. *Perilaku Penggunaan Struktur Penunjang dan Pengikat (Strut and Tie) Pada Balok Beton Mutu Normal*, Magister Teknik Sipil Universitas Lambung mangkurat Banjarmasin, Banjarmasin.
- Taufik, Syahril. 2008. *Behavior of Bolted Connection With High Strength and Stainless Steel*. Ph. D, SwansEFI.
- Tjitradi, Darmansyah. 2015. *Pemodelan Perilaku Keruntuhan Balok Tinggi Beton Bertulang Menggunakan Ansys*, Program Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin.
- Tjitradi, Darmansyah, Syahril Taufik, Bengawan L. Kosasih. 2007. *Perhitungan Kapasitas Penampang Kolom Beton Mutu Tinggi yang Terkekang dengan Blok Tegangan Segi Empat Ekuivalen*, Civil Engineering Dimension.
- Wight, James K., MacGregor J. G. 2009. *Reinforced Concrete Mechanics & Desain (Fifth Edition)*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Wolanski, Anthony J B.S. 2004. *Flexural Behavior of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Finite Element Analysis*. Faculty of the Graduate School, Arquette University, Milwaukee, Wisconsin.
- Wu, Zhenhua. 2006. *Behavior of High-Strength Concrete Members Under Pure Flexure and Axial-flexural Loadings*. Dissertation Civil Engineering North Carolina State University. Raleigh, North Carolina.