

PERMODELAN ELEMEN HINGGA 3D BALOK TINGGI BETON MUTU TINGGI DENGAN PENGEKANGAN

Elia Anggarini¹, Syahril Taufik² dn Darmasyah Tjitradi³.

1. Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Jl. S.Parman, Banjarmasin, 70115, Indonesia
2. Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl.Brigjen H. Hasan Basri, Banjarmasin, 70123, Indonesia
3. Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl.Brigjen H. Hasan Basri, Banjarmasin, 70123, Indonesia
E-mail: eliaanggarini@umbjm.ac.id
lia.teweh@gmail.com

ABSTRAK

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, nilai ketahanan dan duktilitas 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. Tahapan permodelan berupa variasi kuat tekan beton, jarak antar sengkang dan nilai luas tulangan sengkang. Beban yang diaplikasikan adalah two point loads dengan nilai pembebanan yang sama pada setiap model. Kemudian dilakukan analisa terhadap ketahanan balok dengan menghitung luasan daerah dibawah grafik antara δ -P. Keseluruhan analisa untuk mendapatkan nilai duktilitas ≥ 4 yang merupakan syarat duktilitas untuk beban gravitasi. Selain itu dilakukan analisa pada balok tinggi beton mutu tinggi yang dengan dan tanpa tulangan sisi. Hasil menunjukan keruntuhan yang terjadi pada setiap model adalah keruntuhan lentur (tekan) pada daerah loading plat, sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan geser yang bersifat getas.

Kata kunci: pengekangan, balok tinggi, beton mutu tinggi, full scale, duktilitas.

ABSTRACT

Confinement 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, toughness, 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 concrete strength, distance between confinement and the value of confinement bar's size. The applied loads were two point loads with the same loads value in each model. The analysis of toughness has been done afterwards by calculating the size of area under the graph of δ -P. The overall analysis was done to get the ductility values ≥ 4 which is the requirement for gravity load. Another analysis also been done to high strength concrete deep beam with and without reinforcement side. 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.

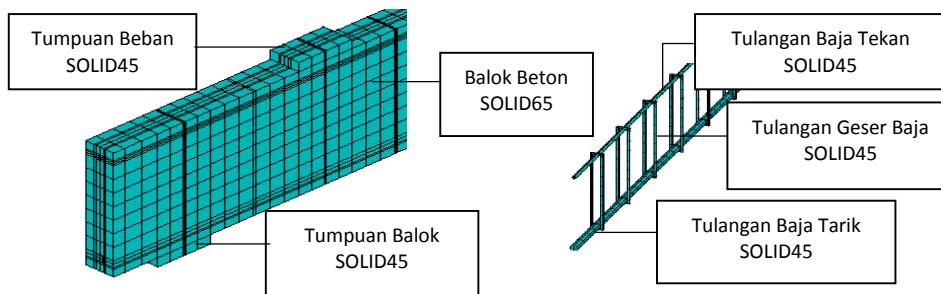
Keywords: confinement, deep beam, high strength concrete, full scale, ductility.

1. 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 duktilitas dari beton adalah dengan memberikan pengekangan (*confinement*) (Park dan Paulay, 1974). Beton mutu tinggi memiliki kekuatan yang tinggi namun duktilitasnya rendah, sehingga perlu upaya khusus untuk meningkatkan kinerja duktilitasnya agar lebih tahan gempa. Oleh karena itu untuk mempelajari perilaku balok tinggi beton mutu tinggi dengan pengekangan 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.

2. METODE 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*). Pendeskripsi *element types* untuk input ANSYS balok tinggi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Element Types* untuk Input ANSYS

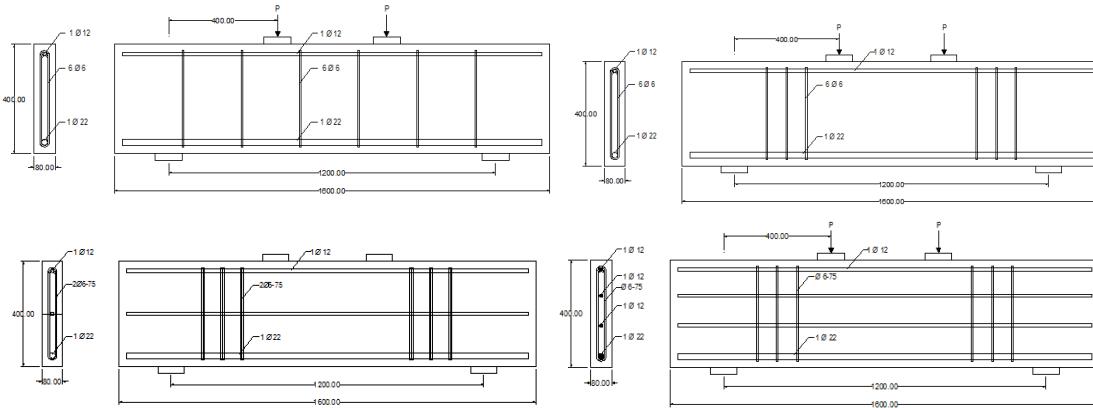
Tabel 1. Judul Tabel

Material	Elemen	Dimensi	Element Type
Beton	Balok	800 mm x 400mm	SOLID 65
Baja	Tulangan Tarik	1D22 (As=628 mm ²)	SOLID 45
Baja	Tulangan Tekan	1D12 (As=628 mm ²)	SOLID 45
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. Data Model Elemen Balok Beton Bertulang di ANSYS

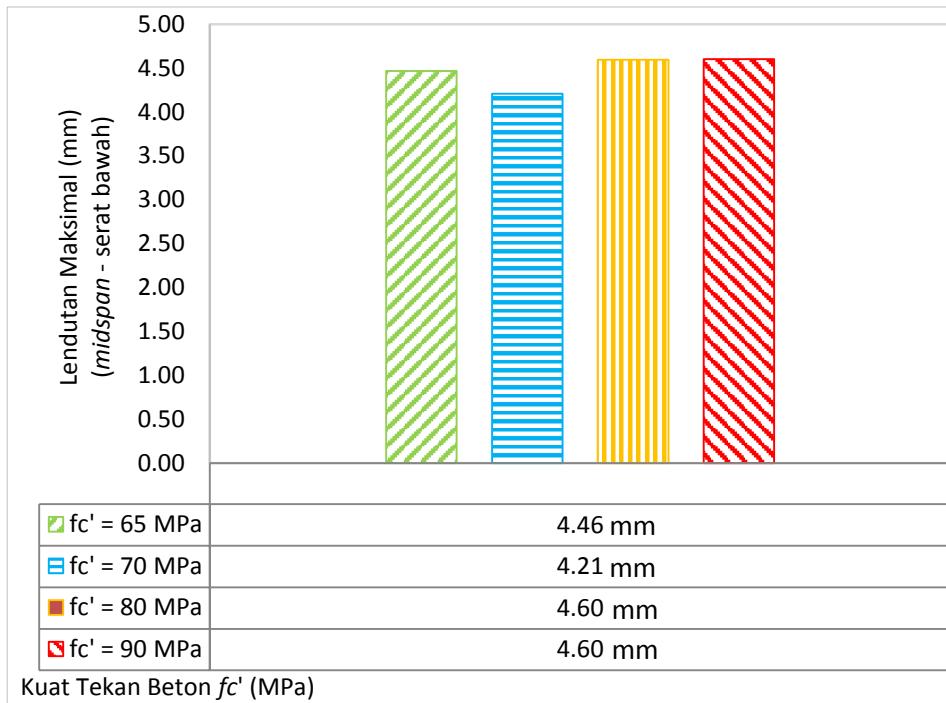
Kode	<i>fc'</i> (MPa)	Tul. Tarik	Tul. Tekan	Tul. Longitudinal	Tul. Sengkang
EA.BT.M1.65	65	1D22	1D12	N/A	Ø6-215
EA.BT.M1.70	70	1D22	1D12	N/A	Ø6-215
EA.BT.M1.80	80	1D22	1D12	N/A	Ø6-215
EA.BT.M1.90	90	1D22	1D12	N/A	Ø6-215
EA.BT.M2.90	90	1D22	1D12	N/A	Ø6-75
EA.BT.M3.90	90	1D22	1D12	1Ø12	Ø6-75
EA.BT.M3a.90	90	1D22	1D12	2Ø12	Ø8-75
EA.BT.M3b.90	90	1D22	1D12	2Ø12	2Ø6-75
EA.BT.M3c.90	90	1D22	1D12	2Ø12	2Ø8-75
EA.BT.M4.90	90	1D22	1D12	2Ø12	Ø6-75



Gambar 2. Balok Tinggi Validasi dan Model

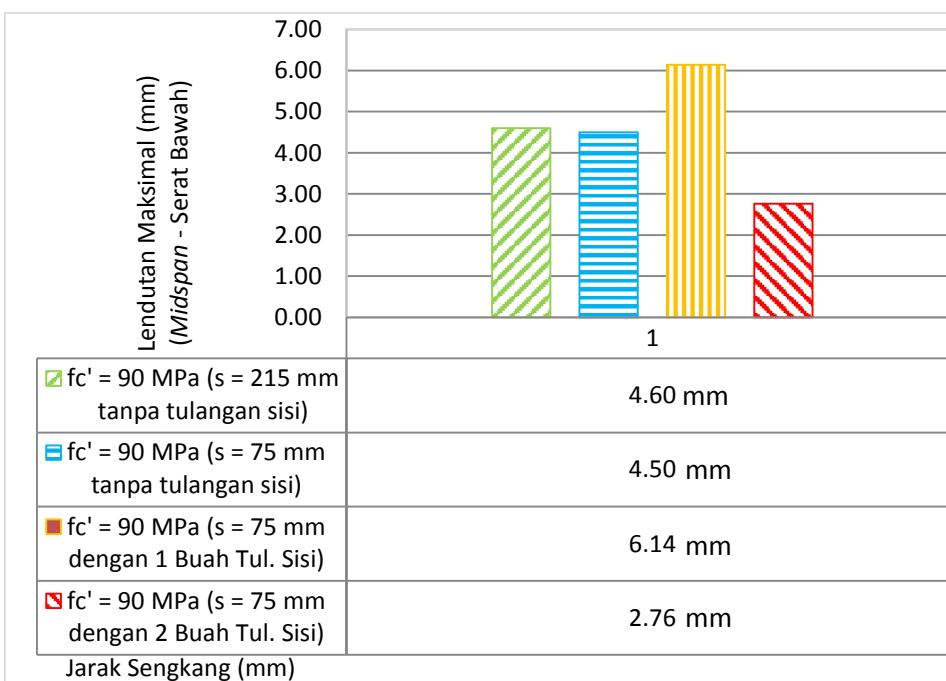
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian lendutan balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan FEA ANSYS dapat lihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 4 berikut.



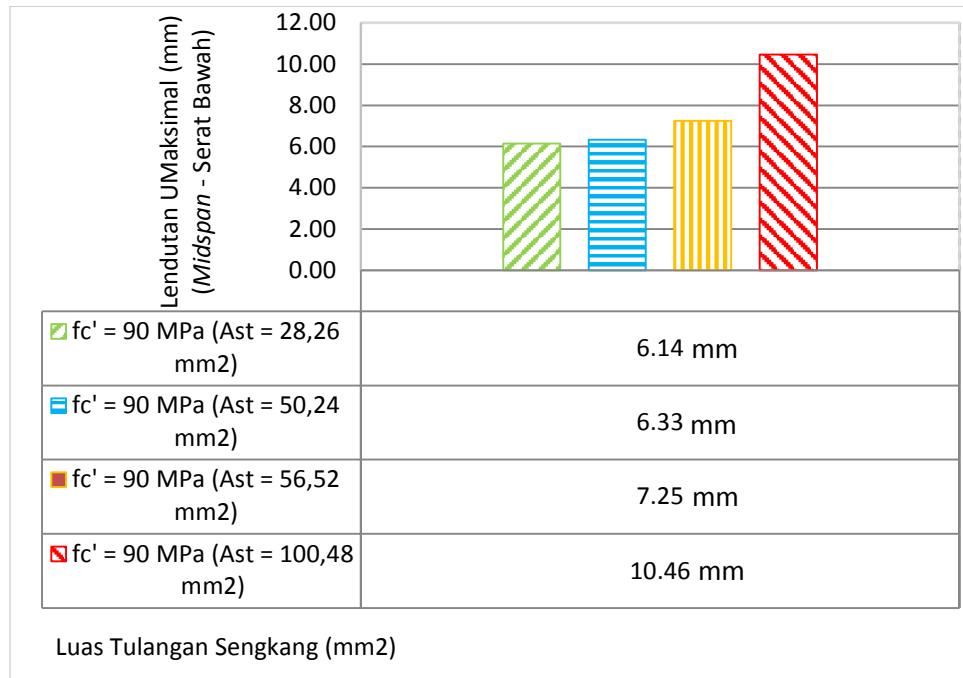
Gambar 3. Lendutan Maksimal pada Pengujian Tahap I

Hasil dari pengujian lendutan balok tinggi beton mutu tinggi pada tahap I menghasilkan peningkatan nilai lendutan yang tidak begitu signifikan.



Gambar 4. Lendutan Maksimal pada Pengujian Tahap II

Hasil dari pengujian lendutan balok tinggi beton mutu tinggi pada tahap II menghasilkan nilai lendutan yang variasi pula. Namun pada model balok tertentu nilai lendutan meningkat secara signifikan.



Gambar 5. Lendutan Maksimal pada Pengujian Tahap III

Hasil dari pengujian lendutan balok tinggi beton mutu tinggi pada tahap III menghasilkan nilai lendutan yang meningkat secara signifikan.

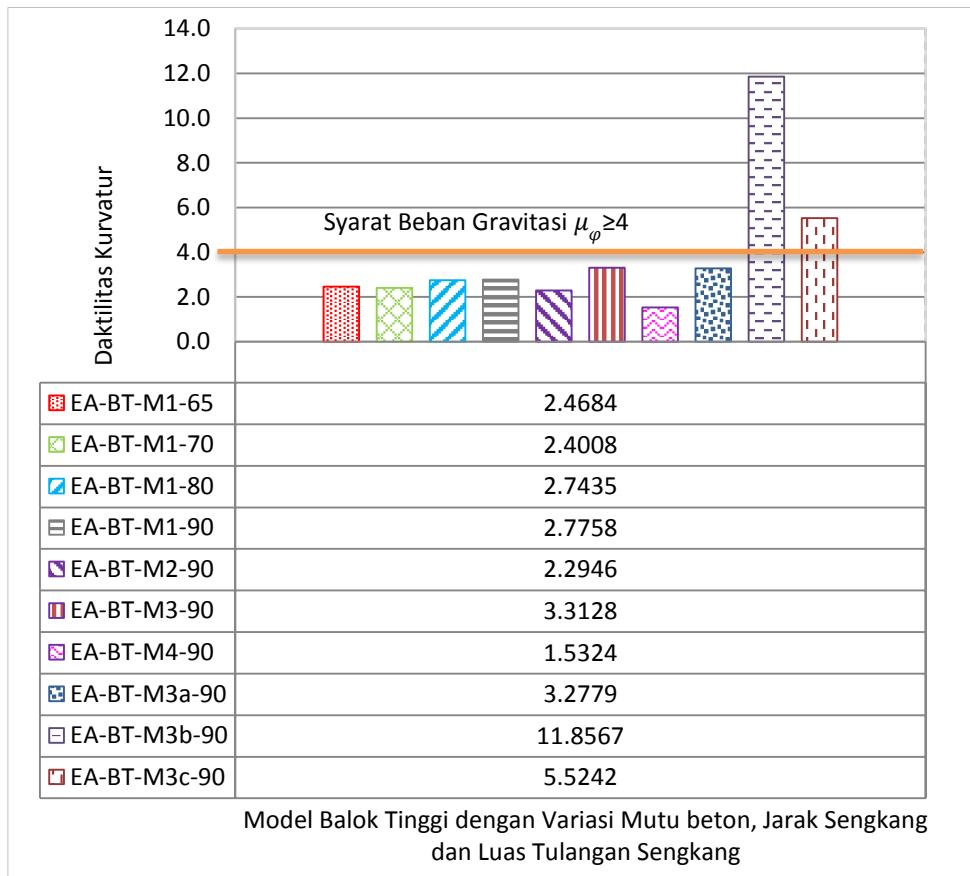
Untuk hasil analisis ketahanan pada model balok tinggi beton mutu tinggi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai Indek Ketahanan Pada Model Balok Tinggi

Kode Model	A (Satuan Luas)	A + B (Satuan Luas)	Indek Ketahanan
1	2	3	4 = 3/2
EA-BT-M1-65	31,196	1389	45,524
EA-BT-M1-70	28,441	1326	47,622
EA-BT-M1-80	26,111	1586	61,740
EA-BT-M1-90	23,004	1643	72,422
EA-BT-M2-90	15,612	1445	93,557
EA-BT-M3-90	15,628	1338	86,615
EA-BT-M3a-90	16,581	2413	146,528
EA-BT-M3b-90	25,070	2834	114,034
EA-BT-M3c-90	15,770	4799	305,273
EA-BT-M4-90	15,560	454	30,180

Hasil dari pengujian ketahanan balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan FEA ANSYS yang dilakukan dengan variasi kuat tekan beton (mutu tinggi), jarak tulangan sengkang dan luas tulangan meningkatkan nilai indek ketahanan. Dengan meningkatkan luas tulangan sengkang menghasilkan nilai indek ketahanan meningkat secara signifikan.

Hasil dari pengujian daktilitas kurvatur balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan FEA ANSYS dapat lihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik Daktilitas Kurvatur pada Semua Model Balok

Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa pada balok tinggi pada dasarnya mempunyai nilai daktilitas kurvatur kurang dari 4 (syarat untuk beban gravitasi) yang menyebabkan balok tinggi bersifat getas. Namun dengan maningkatkan nilai luas tulangan sengkang menyebabkan kenaikan nilai daktilitas secara signifikan.

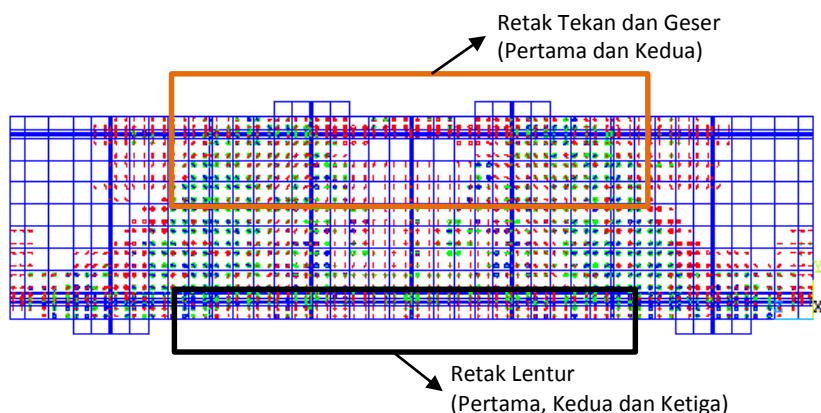
Hasil dari pengujian tegangan pada balok tinggi beton mutu tinggi menggunakan FEA ANSYS dapat disimpulkan bahwa tegangan beton dan tulangan baja pada balok tinggi mempunyai nilai tegangan yang di dominasi oleh tegangan tekan sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan geser yang bersifat getas. Hasil analisis tegangan pada balok tinggi beton mutu tinggi terhadap variasi mutu beton, jarak sengkang dan luas tulangan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Nilai Tegangan Ultimit Pada Model Balok Tinggi

Kode Model	Beton f_c' (MPa)	Tegangan Retak Ultimit (MPa)	Peningkatan Tegangan Ultimit (%)
EA-BT-M1-65	65	64,744	0,00
EA-BT-M1-70	70	72,100	11,36
EA-BT-M1-80	80	84,290	30,18
EA-BT-M1-90	90	85,551	32,13
EA-BT-M2-90	90	85,579	32,18
EA-BT-M3-90	90	96,599	49,20
EA-BT-M3a-90	90	90,144	39,23
EA-BT-M3b-90	90	90,688	40,07
EA-BT-M3c-90	90	97,299	50,28
EA-BT-M4-90	90	71,459	10,37

Dari Tabel 6 dapat diketahui dengan memvariasiakan mutu beton, jarak sengkang dan menambah luas tulangan sengkang menyebabkan tegangan yang terjadi pada balok tinggi meningkat pula. Peningkatan signifikan terjadi pada saat meningkatkan nilai luas tulangan.

Untuk penjelasan pola retak yang umumnya terjadi pada balok tinggi dapat dilihat pada dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Pola Retak pada saat Beban Ultimit pada Pengujian Tahap I

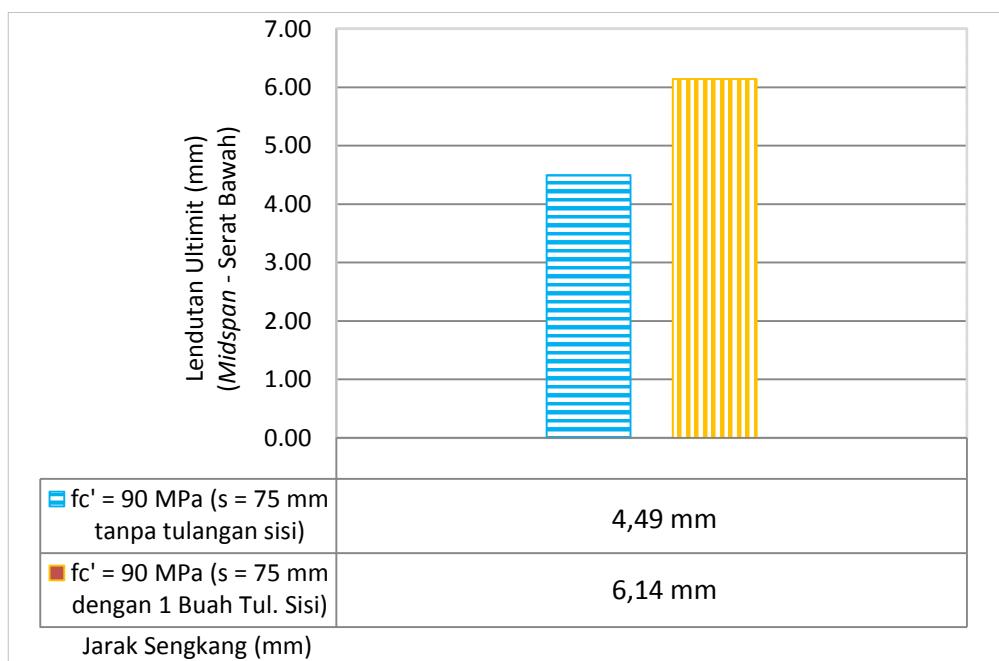
Dapat dilihat pada Gambar 7 retak mula-mula terjadi pada daerah tarik tengah bentang berupa retak lentur dan pada daerah tekan pada posisi loading plat berupa retak tekan, kemudian bertambahnya beban secara bertahap (*load step*) retak pada daerah geser balok terjadi retak geser, retak berangsut menjalar menyudut yang terjadi antara perletakan menuju loading plat, pola retak menyudut pada saat beban ultimit membentuk sudut antara 45° sampai 65° yang menimbulkan keruntuhan berupa keruntuhan geser yang menyebabkan keruntuhan bersifat getas.

Tabel 8. Persentase Retak Akibat Pengujian

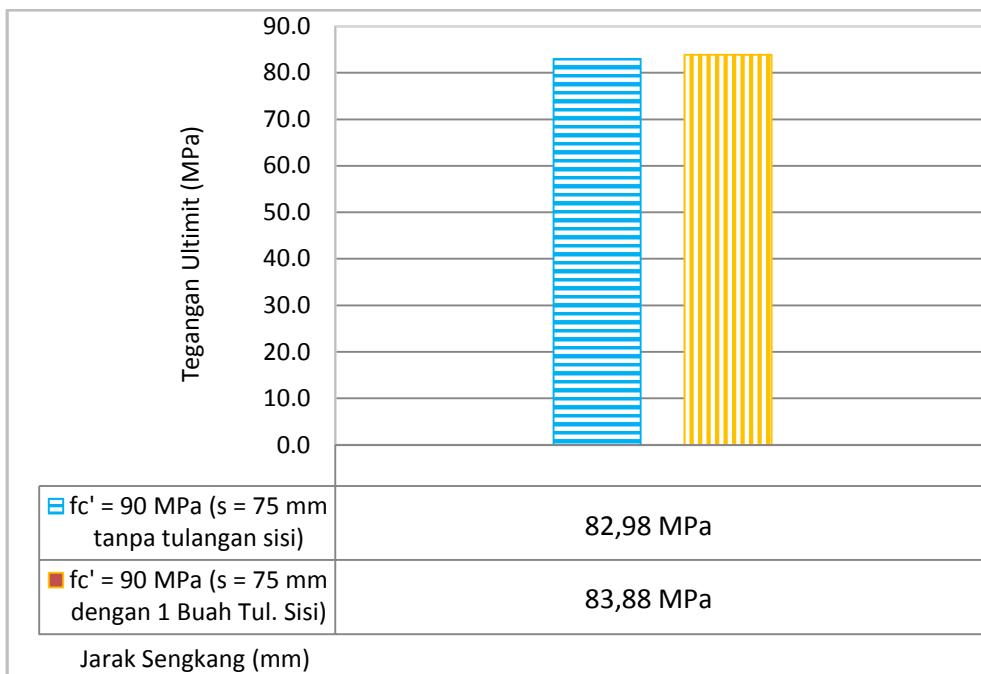
Kode Model	Beban Pult (kN)	ANSYS		Prosentase Retak (%)	Reduksi Volume Retak (%)
		Volume Retakan (mm ³)	Volume Beton Balok Tinggi (mm ³)		
EA-BT-M1-65	450 kN	4,267 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	83,33	0,000
EA-BT-M1-70	480 kN	4,523 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	88,33	5,660
EA-BT-M1-80	510 kN	4,864 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	95,00	12,284
EA-BT-M1-90	540 kN	5,035 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	98,33	15,254
EA-BT-M2-90	510 kN	4,960 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	96,88	13,986
EA -BT-M3-90	570 kN	5,117 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	99,93	16,611
EA-BT-M3a-90	540 kN	4,901 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	95,72	12,944
EA-BT-M3b-90	528 kN	4,987 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	97,41	14,454
EA-BT-M3c-90	600 kN	5,088 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	99,38	16,150
EA-BT-M4-90	540 kN	5,040 x 10 ⁷	5,120 x 10 ⁷	98,44	15,349

Dari Tabel 8 dapat diketahui dengan memvariasikan mutu beton, jarak sengkang dan menambah luas tulangan sengkang menyebabkan volume keretakan mengikat pula, bahkan dilihat pada saat beban tertinggi beton mengalami keretakan hampir 100%.

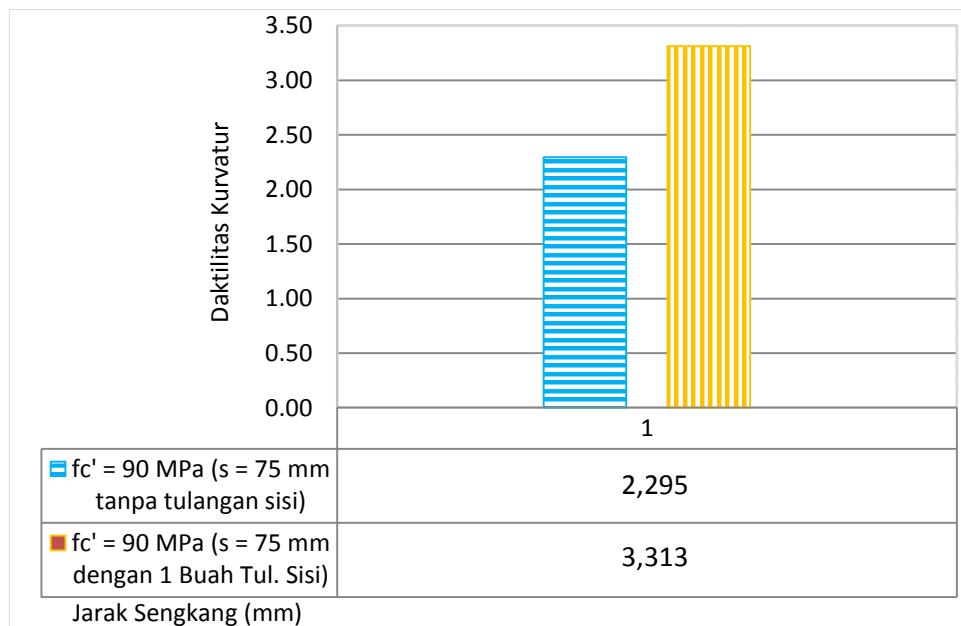
Hasil dari pengujian lendutan, daktilitas kurvatur dan tegangan pada balok tinggi beton mutu tinggi yang tanpa dan dengan tulangan sisi menggunakan FEA ANSYS dapat dilihat pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 berikut:



Gambar 8. Perbandingan Lendutan Ultimit Balok Tanpa dan Dengan Tulangan Sisi



Gambar 9. Perbandingan Tegangan Ultimit Balok Tanpa dan Dengan Tulangan Sisi



Gambar 10. Perbandingan Daktilitas Kurvatur Balok Tanpa dan Dengan Tulangan Sisi

Dari Gambar 8 sampai dengan Gambar 10 dapat diketahui dengan menambahkan tulangan sisi pada suatu balok akan meningkatkan kekuatan balok dari segi lendutan, daktilitas kurvatur dan tegangan, namun peningkatan yang terjadi tidak telalu signifikan hanya berkisar antara 10 sampai dengan 20 persen.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap model balok tinggi beton mutu tinggi dapat disimpulkan bahwa hasil dari nilai lendutan, nilai tegangan, pola retak dan kekuatan suatu balok tinggi berdasarkan analisis menggunakan *FEA ANSYS* meningkat seiring meningkatnya kuat tekan beton, luas tulangan sengkang dan merapatkan jarak antar tulangan sengkang. Penambahan tulangan sisi berpengaruh pada kekuatan balok tinggi, semakin banyak menambah tulangan sisi maka beban yang dapat ditahan, tegangan dan daktilitas balok tinggi meningkat. Nilai daktilitas akan meningkat secara signifikan dengan melakukan perubahan variabel pada tulangan sengkang seperti merapatkan jarak dan menambah tulangan longitudinal serta memperbesar diameter tulangan sengkang akan sangat mempengaruhi dalam meningkatkan nilai daktilitas.

DAFTAR RUJUKAN

- 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., Hatfield, 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.
- 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.
- Karthik M. R, Madhu. 2009. *Stress-Strain Model of Unconfined and Confined Concrete and Stress-Block Parameters*. Texas A&M University.
- 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
- Park. P, Paulay T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*, Wiley, America.
- 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
- Taufik, Syahril. 2008. *Behavior of Bolted Connection With High Strength and Stainless Steel*. Ph. D, Swansea.
- 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 Ekivalen*, Civil Engineering Dimension.
- 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.