

# PERMODELAN PERILAKU KERUNTUHAN BALOK TINGGI BETON BERTULANG MENGGUNAKAN ANSYS

Darmansyah Tjitradi, Eliatun

Staff Pengajar Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin

## Abstrak

Tulisan ini merupakan hasil permodelan komputer Software ANSYS Version 9.00 terhadap perilaku keruntuhan elemen struktur balok tinggi beton bertulang. Tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengetahui kapasitas beban, deformasi, tegangan, dan pola retak yang terjadi pada balok tinggi beton bertulang mutu normal.

Dalam penelitian ini akan dimodelkan sebanyak delapan benda uji balok sederhana bertulangan rangkap simetris 2D20 dan tulangan geser  $\phi$ 10-100 dengan lebar 200 mm dan variasi tinggi setiap 100 mm dari 300 mm sampai dengan 1000 mm. Balok akan dibebani beban terpusat ditengah bentang balok sampai dengan keruntuhannya.

Hasil dari penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi balok maka kapasitas lentur akan semakin meningkat namun lendutan yang terjadi semakin kecil, nilai daktilitas kurvatur semakin rendah yang menyebabkan keruntuhan balok tinggi menjadi lebih getas, dan semakin tinggi pula tegangan yang terjadi pada tulangan geser, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penampang balok sangat diperlukan sekali tulangan geser untuk mencegah terjadinya lebih awal keruntuhan geser beton yang bersifat getas, serta konsentrasi retak lebih mengarah pada bagian tekan balok yaitu pada bagian serat tekan dan tumpuan balok, sehingga mutu beton sangat mempengaruhi keruntuhan balok tinggi.

**Kata Kunci:** balok tinggi, ANSYS

## 1. Pendahuluan

Salah satu bagian komponen struktural suatu konstruksi yang memiliki peran untuk memikul beban adalah balok. Dalam memikul beban struktur balok akan mengalami gaya-gaya dalam berupa momen, geser, dan normal serta juga akan mengalami deformasi. Balok yang menggunakan material beton akan mempunyai kelemahan dalam hal menahan tarik maka untuk menambah kekuatan tarik dari beton digunakanlah tulangan baja yang dipasang didaerah tarik. Untuk meningkatkan kemampuan lentur balok maka sering ditemui penggunaan balok tinggi seperti pada balok transfer geser, balok jembatan, balok-balok pada bentang pendek, dan dinding-dinding geser. Balok tinggi merupakan elemen struktural yang mempunyai rasio bentang balok dari as ke as terhadap tinggi balok yang tidak melebihi 2 untuk bentang sederhana ( $L/H < 2$ ) dan 2,5 untuk balok menerus ( $L/H < 2,5$ ) (Shahidul I., 2012). Oleh karena itu dalam penelitian ini akan mempelajari perilaku keruntuhan elemen struktur balok tinggi beton bertulang dengan menggunakan permodelan komputer software ANSYS version 9.0.

## 2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a) Untuk mengetahui hubungan antara beban dengan deformasi yang terjadi pada balok tinggi.
- b) Untuk mengetahui daktilitas kurvatur yang terjadi pada balok tinggi.
- c) Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan yang terjadi pada balok tinggi.
- d) Untuk mengetahui perilaku retak yang terjadi pada setiap model balok tinggi.

### 3. Tinjauan Pustaka

#### 3.1. Definisi Balok Tinggi

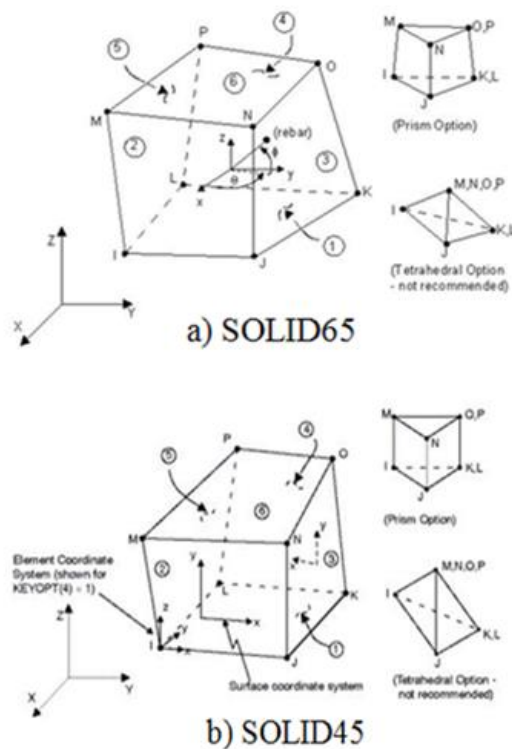
Balok tinggi merupakan elemen struktural yang mempunyai rasio bentang balok dari as ke as terhadap tinggi balok yang tidak melebihi 2,0 untuk bentang sederhana ( $L/H < 2,0$ ) dan 2,5 untuk balok menerus ( $L/H < 2,5$ ) (Shahidul I., 2012). Balok tinggi banyak digunakan dalam dunia konstruksi seperti balok transfer geser, balok jembatan, dinding pondasi, dinding geser, dll.

Berdasarkan hasil penelitian Patil, (2013) dapat diketahui bahwa keruntuhan utama balok tinggi adalah disebabkan oleh retak geser diagonal yang terjadi pada badan balok dan semakin tinggi balok maka kekuatan lentur balok juga akan meningkat.

#### 3.2. Permodelan Struktur dengan menggunakan ANSYS

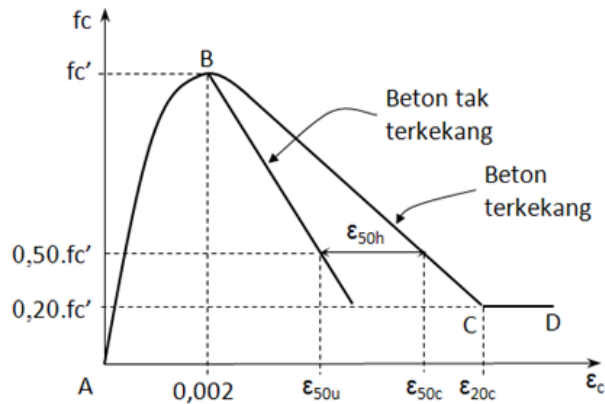
##### a. Model Beton Bertulang (Reinforced Concrete)

Untuk memodelkan material beton bertulang digunakan model 8 elemen Solid (SOLID65) dengan tiga derajat kebebasan pada setiap titiknya dan terjadi translasi pada arah  $x$ ,  $y$ , and  $z$  (lihat Gambar 1a). Elemen ini juga mempunyai kemampuan untuk berdeformasi plastis, retak dalam arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . (L. Dahmani, et.al, 2010).



Gambar 1 a) Model 3D Elemen Beton SOLID65, dan  
b) Model 3D Elemen Baja SOLID45

Model kurva tegangan-regangan beton mutu normal yang digunakan adalah model tegangan-regangan beton menurut Kent-Park (1971) (Park, R., dan T. Paulay, 1975) (lihat Gambar 2), yaitu:



Gambar 2. Model kurva tegangan-regangan beton menurut Kent-Park (1971)

1. Daerah AB:  $\varepsilon_c \leq 0,002$

$$f_c = f_c' \cdot \left[ \frac{2 \cdot \varepsilon_c}{0,002} - \left( \frac{\varepsilon_c}{0,002} \right)^2 \right] \quad (1)$$

2. Daerah BC:  $0,002 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{50u}$

$$f_c = f_c' \cdot [1 - z \cdot (\varepsilon_c - 0,002)] \quad (2)$$

3. Daerah CD:  $\varepsilon_c \geq \varepsilon_{20c}$

$$f_c = 0,20 \cdot f_c' \quad (3)$$

Dimana:

$$z = \frac{0,5}{\frac{3 + 0,002 \cdot f_c'}{f_c' - 1000} + \varepsilon_{50h} - 0,002} \quad (4)$$

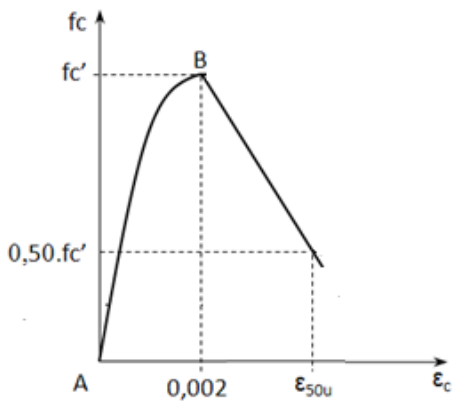
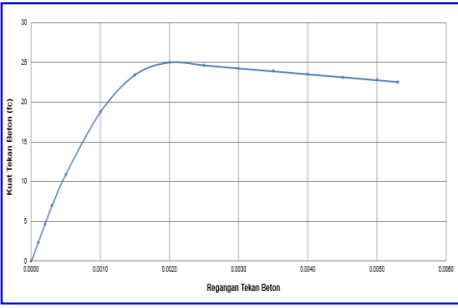
$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f_c'}{f_c' - 1000} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{S}} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{20c} = \frac{0,8}{z} + 0,002 \quad (7)$$

Data sifat penampang yang akan digunakan dalam permodelan ANSYS dapat dilihat pada Tabel 1.

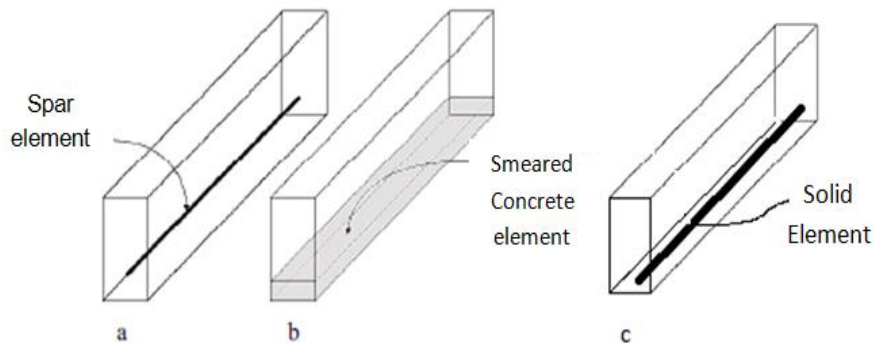
Tabel 1. Data Material Beton SOLID 65

<b>Linear - Elastic - Isotropic</b>		
Modulus Elastisitas Beton, $E_c$	$2,35 \times 10^4$ MPa	
Poisson Rasio, $\nu$	0,20	
<b>Nonlinear – Multinlinear Kinematic Hardening</b>		
Regangan ( $\epsilon_c$ )	Tegangan ( $f_c$ )	
0,0000	0,000	
0,0001	2,350	
0,0002	4,700	
0,0003	6,938	
0,0005	10,938	
0,0010	18,750	
0,0015	23,438	
0,0020	25,000	
0,0025	24,629	
0,0030	24,257	
0,0035	23,886	
0,0040	23,514	
0,0045	23,143	
0,0050	22,771	
0,0053	22,548	
<b>Nonlinear – Inelastic – Non-metal plasticity – Concrete65</b>		
Open shear transfer coefficient	0,30	
Closed shear transfer coefficient	1,00	
Uniaxial cracking stress	3,50 MPa	$(f_r = 0,7 \cdot \sqrt{f_c'})$
Uniaxial crushing stress	25 MPa	$(f_c')$
Tensile crack factor	0,60	

### b. Model Tulangan Baja (Steel Reinforcement)

Dalam memodelkan tulangan baja biasanya menggunakan tipe elemen SOLID 45 (lihat Gambar 1b) dengan 3 model (L. Dahmani, A, 2010), yaitu:

- Model 1: tulangan baja di idealisasikan sebagai elemen batang aksial (spar elements) dengan sifatnya seperti tulangan aslinya namun berupa garis lihat Gambar 3.a Elemen ini dapat langsung dihasilkan dari titik-titik dalam model dan mudah digunakan dalam memodelkan tulangan baja suatu beton bertulang.
- Model 2: tulangan baja di idealisasikan sebagai tulangan yang terdistribusi merata dalam elemen beton (smeared concrete element). Dalam hal ini, beton dan tulangan terdistribusi ke dalam elemen dengan batas-batas geometrik yang sama dan pengaruh tulangan merata ke dalam elemen yang berhubungan (Gambar 3.b).
- Model 3: tulangan baja di idealisasikan sebagai elemen Solid dengan sifatnya seperti tulangan aslinya (seperti Gambar 3.c), model ini yang dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 3. Model Tulangan Baja a) model Spar Element, b) Smeared Concrete Element, dan c) model Solid Element

Model hubungan tegangan-regangan baja yang digunakan adalah model Bilinear Isotropic Hardening, dengan data material dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data Material Tulangan Lentur Tarik dan Tekan Baja SOLID 45

<b>Linear - Elastic - Isotropic</b>	
Modulus Elastisitas Baja, $E_s$	$2 \times 10^5$ MPa
Poisson Rasio, $\nu_s$	0,30
<b>Nonlinear – Inelastic – Rate Independent – Isotropic Hardening plasticity – Mises Plasticity – Bilinear Isotropic Hardening</b>	
Tegangan leleh Baja, $f_y$	400 MPa

Tabel 3. Data Material Tulangan Geser Baja SOLID 45

<b>Linear - Elastic - Isotropic</b>	
Modulus Elastisitas Baja, $E_s$	$2 \times 10^5$ MPa
Poisson Rasio, $\nu_s$	0,30
<b>Nonlinear – Inelastic – Rate Independent – Isotropic Hardening plasticity – Mises Plasticity – Bilinear Isotropic Hardening</b>	
Tegangan leleh Baja, $f_y$	240 MPa

### c. Model Tumpuan Baja (Support)

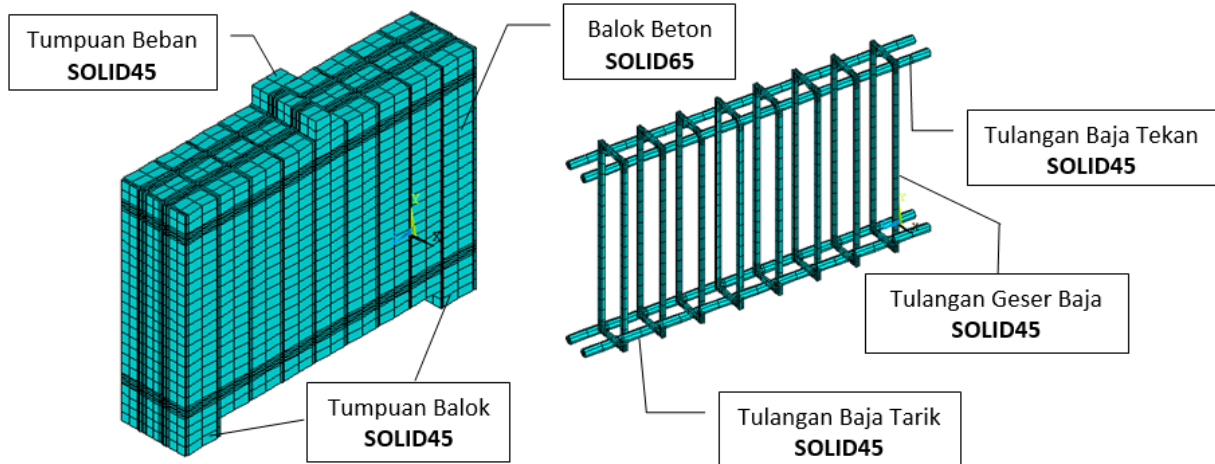
Tumpuan baja menggunakan model SOLID 45 dengan material kondisi linier dan data dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Material Tumpuan Baja SOLID 45

Linear - Elastic - Isotropic		Kondisi Linear
Modulus Elastisitas Baja, $E_s$	$2,0 \times 10^5$ MPa	
Poisson Rasio, $\nu_s$	0,30	

### 4. Permodelan Elemen Balok Beton Bertulang

Dalam penelitian ini diambil kasus elemen balok beton bertulang mutu normal sebanyak 8 buah dengan dimensi: lebar=200 mm, dan tinggi bervariasi setiap 100 mm dari 300 mm sd. 1000 mm, dan panjang total balok yang ditinjau 910 mm, dan panjang balok dari as ke as tumpuan sebesar 800 mm, model struktur beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 5.



Gambar 4. Permodelan Balok Beton Bertulang menggunakan ANSYS

Tabel 5. Data Model Elemen Balok Beton Bertulang di ANSYS

Material	Elemen	Dimensi	Element Type
Beton	Balok	200 mm x (300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, dan 1000 mm)	SOLID 65
Baja	Tulangan Tarik	2D20 ( $A_s=628 \text{ mm}^2$ )	SOLID 45
	Tulangan Tekan	2D20 ( $A_s=628 \text{ mm}^2$ )	
Baja	Tulangan Geser	$\phi 10$ -100 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 6.

Tabel 6. Konfigurasi Model Elemen Balok Beton Bertulang (L= 800 mm)

No.	Kode Benda Uji	Rasio L/H	Tulangan Lentur Baja		Tulangan Geser Baja	Keterangan
			Tarik	Tekan		
1	BT.200.300	2,67	2D20	2D20	φ10-100	Balok Biasa
2	BT.200.400	2,00	2D20	2D20	φ10-100	
3	BT.200.500	1,60	2D20	2D20	φ10-100	Balok Tinggi
4	BT.200.600	1,33	2D20	2D20	φ10-100	
5	BT.200.700	1,14	2D20	2D20	φ10-100	
6	BT.200.800	1,00	2D20	2D20	φ10-100	
7	BT.200.900	0,89	2D20	2D20	φ10-100	
8	BT.200.1000	0,80	2D20	2D20	φ10-100	

Ket: *BT.X.Y* = Balok Tinggi dengan lebar X dan tinggi Y

## 5. Hasil Analisis Permodelan Elemen Balok Beton Bertulang

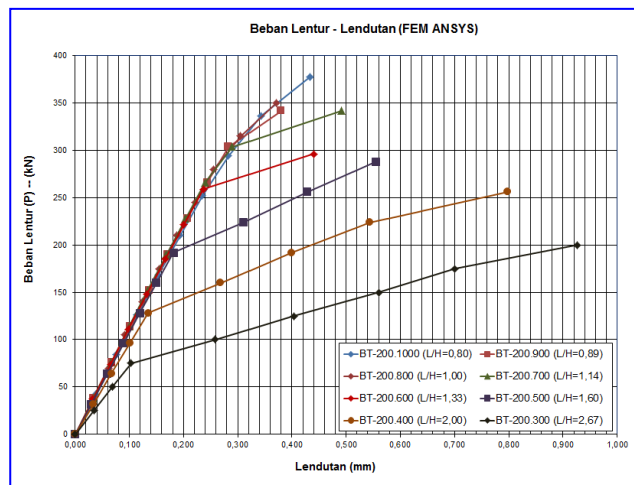
Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS dapat diketahui beban, deformasi, pola tegangan beton dan tulangan baja, serta pola retak yang terjadi pada setiap model benda uji.

### 5.1. Hubungan Beban-Deformasi Balok

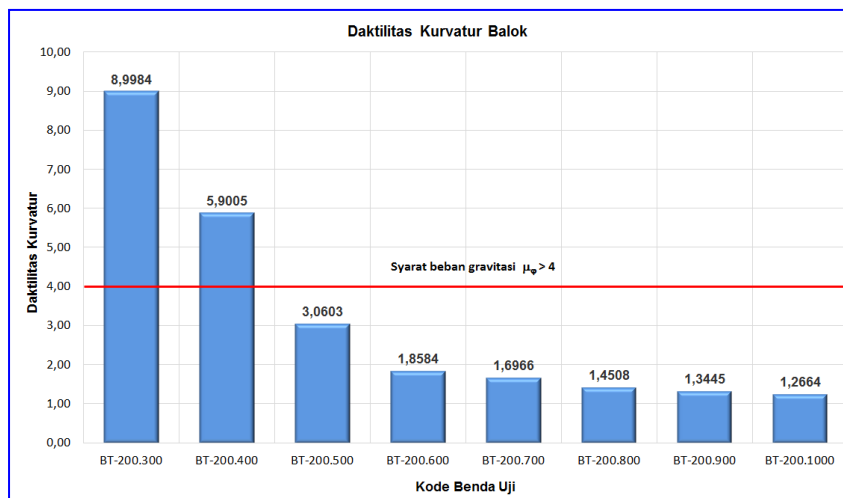
Dari Gambar 5 dapat diketahui bahwa semakin tinggi balok (H) atau perbandingan  $L/H \leq 2,67$  maka lendutan yang terjadi semakin kecil hal ini menunjukkan perilaku keruntuhan balok tinggi yang mengarah ke keruntuhan getas. Namun pada level beban dibawah 25% terhadap beban ultimit (kondisi elastis) semua benda uji mempunyai perilaku lendutan yang sama. Sedangkan untuk level beban dibawah 60% terhadap beban ultimit (kondisi beban kerja) maka balok yang mempunyai perbandingan  $L/H \leq 1,60$  akan mempunyai perilaku lendutan yang sama.

### 5.2. Daktilitas Kurvatur Balok

Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa pada balok dengan perbandingan  $2,00 \leq L/H \leq 2,67$  mempunyai nilai daktilitas kurvatur lebih dari 4 (syarat untuk beban gravitasi). Sedangkan pada balok dengan perbandingan  $0,80 \leq L/H \leq 1,60$  mempunyai nilai daktilitas kurvatur kurang dari 4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi balok, maka nilai daktilitas kurvatur semakin rendah yang menyebabkan keruntuhan balok tinggi menjadi lebih getas.



Gambar 5. Hubungan antara Beban Lentur dan Lendutan Balok Tinggi

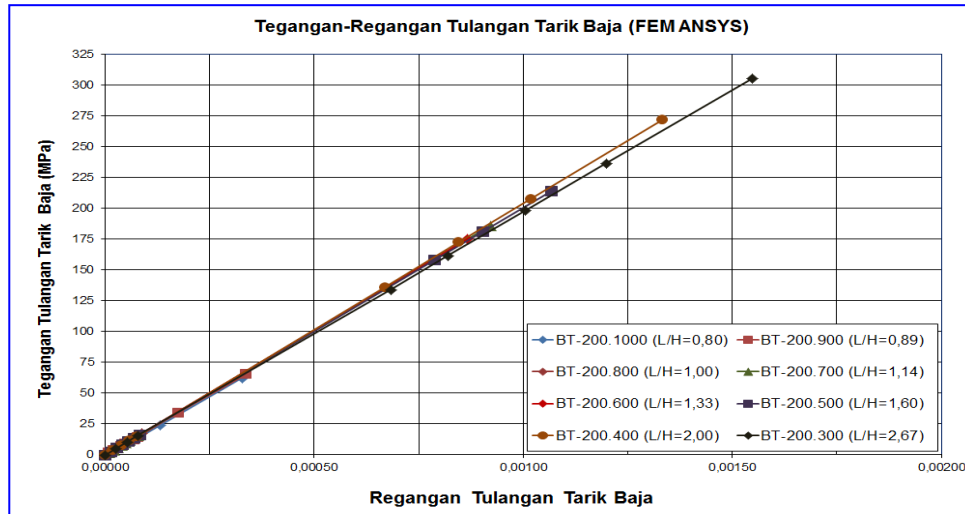


Gambar 6. Daktilitas Kurvatur Balok Tinggi setiap model benda uji

### 5.3. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik Baja

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa tulangan tarik pada semua benda uji tidak ada yang mencapai tegangan lelehnya ( $f_y = 400$  MPa). Pada balok dengan perbandingan  $1,14 \leq L/H \leq 2,67$  tulangan tarik baja hanya mencapai tegangan sebesar  $46\% \cdot f_y$  sd.  $76\% \cdot f_y$ . Sedangkan pada balok dengan perbandingan  $0,80 \leq L/H \leq 1,00$  tulangan tarik baja hanya mencapai tegangan sebesar  $5\% \cdot f_y$  sd.  $15\% \cdot f_y$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi balok, maka tulangan tarik baja mempunyai nilai tegangan yang semakin rendah, hal ini mirip dengan perilaku keruntuhan tekan (over reinforced) dimana tulangan tarik baja belum berfungsi seluruhnya namun beton sudah mengalami keruntuhan terlebih dulu.

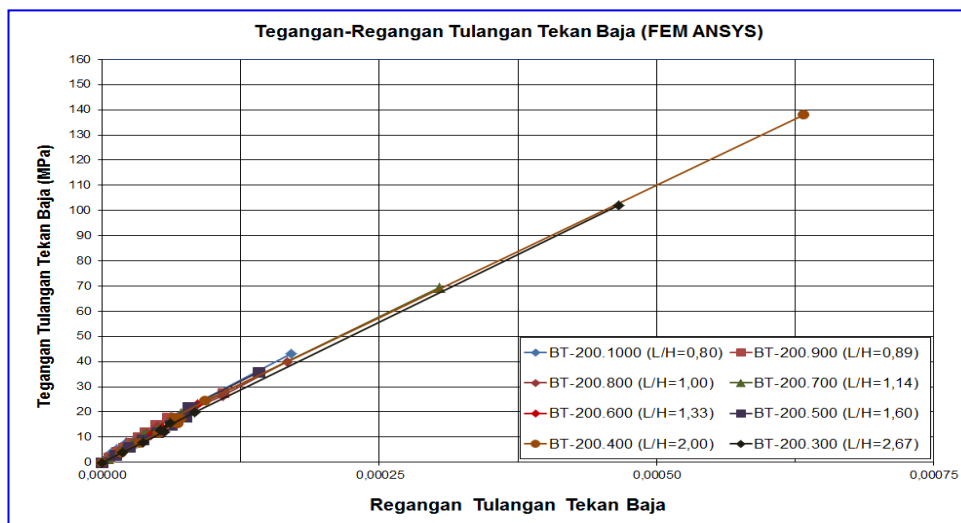




Gambar 7. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tarik Baja pada Balok Tinggi

#### 5.4. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tekan Baja

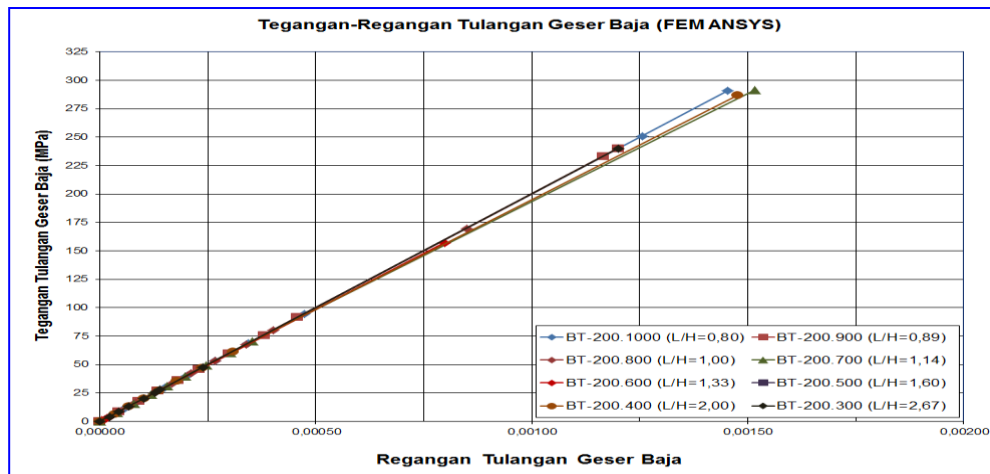
Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa tulangan tekan pada semua benda uji tidak ada yang mencapai tegangan lelehnya ( $f_y = 400$  MPa). Pada balok dengan perbandingan  $2,00 \leq L/H \leq 2,67$  tulangan tekan baja hanya mencapai tegangan sebesar  $25\% \cdot f_y$  sd.  $35\% \cdot f_y$ . Sedangkan pada balok dengan perbandingan  $0,80 \leq L/H \leq 1,60$  tulangan tekan baja hanya mencapai tegangan sebesar  $9\% \cdot f_y$  sd.  $11\% \cdot f_y$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi balok maka tulangan baja masih belum mencapai tegangan lelehnya namun beton sudah mengalami keruntuhan terlebih dulu.



Gambar 8. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Tekan Baja Balok Tinggi

## 5.5. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Geser Baja

Dari Gambar 9 dapat diketahui bahwa pada balok dengan perbandingan  $2,00 \leq L/H \leq 2,67$  dan  $0,80 \leq L/H \leq 1,14$  tulangan geser baja dapat mencapai tegangan lelehnya ( $f_y = 240$  MPa). Sedangkan pada balok dengan perbandingan  $1,33 \leq L/H \leq 1,60$  tulangan geser baja belum mencapai tegangan lelehnya namun hanya mencapai tegangan sebesar  $65\% \cdot f_y$  sd.  $75\% \cdot f_y$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada kasus balok tinggi tulangan geser baja sangat diperlukan sekali karena keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan geser dan dapat memutuskan tulangan geser balok, hal ini dapat diketahui dari tingginya konsentrasi tegangan yang terjadi pada tulangan geser.

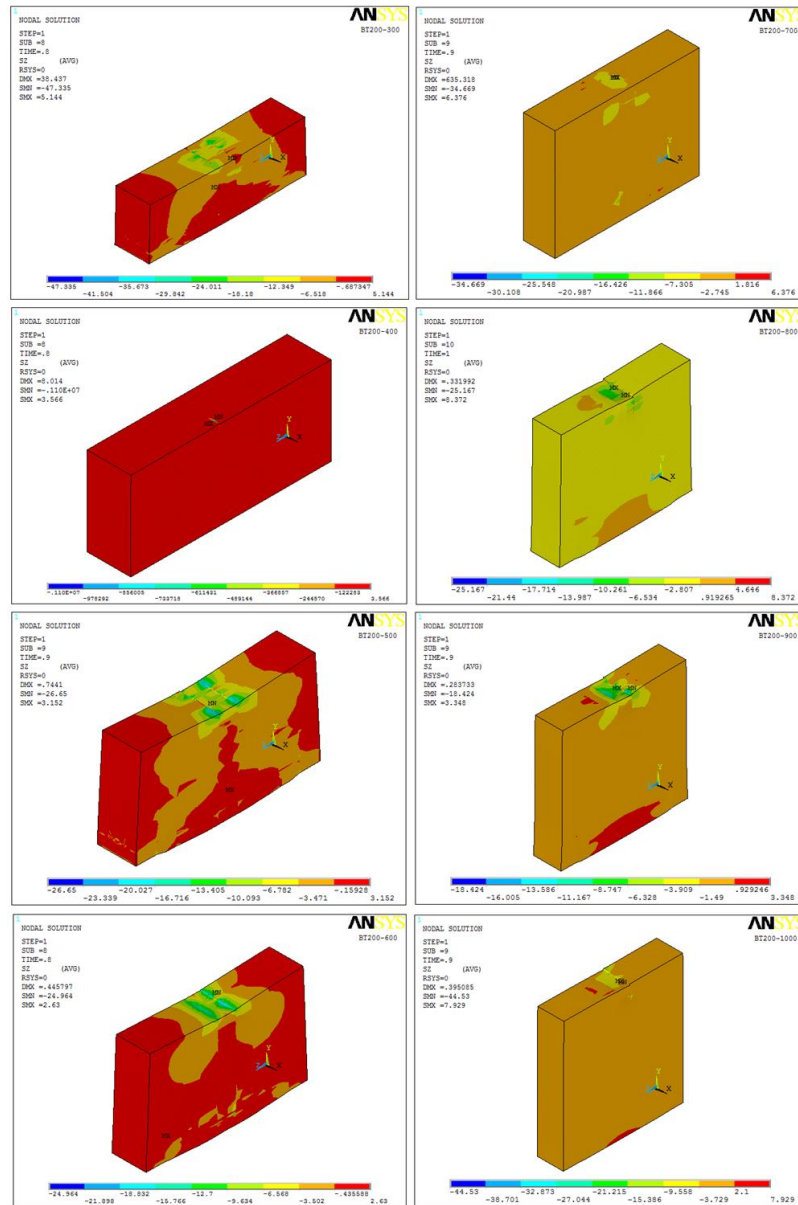


Gambar 9. Hubungan Tegangan dan Regangan Tulangan Geser Baja Balok Tinggi

## 5.6. Tegangan Beton pada saat Beban Ultimit

Dari Gambar 10 dapat diketahui bahwa:

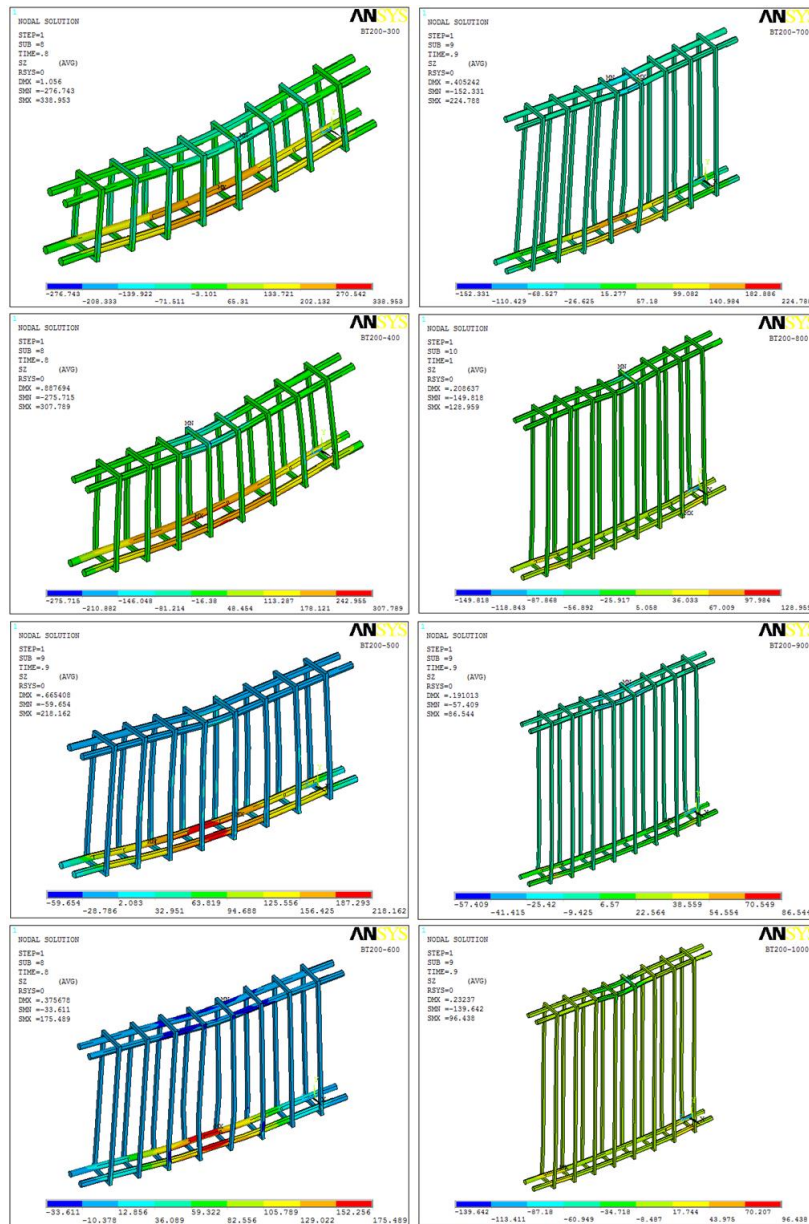
- untuk balok  $2,00 \leq L/H \leq 2,67$  mempunyai tegangan yang di dominasi oleh daerah tarik sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan lentur.
- untuk balok  $1,33 \leq L/H \leq 1,66$  mempunyai tegangan yang di dominasi oleh daerah tarik namun penampang masih memiliki tegangan tekan, sehingga pola keruntuhan akhir adalah kombinasi antara keruntuhan geser dan lentur.
- untuk balok  $1,00 \leq L/H \leq 1,14$  mempunyai tegangan yang di dominasi oleh tegangan tekan namun penampang masih memiliki sedikit tegangan tarik pada serat bawah balok, sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan geser.
- untuk balok  $0,80 \leq L/H \leq 0,89$  mempunyai tegangan yang di dominasi oleh tegangan tekan namun penampang masih memiliki sangat sedikit sekali tegangan tarik pada serat bawah balok, sehingga pola keruntuhan akhir ditentukan oleh keruntuhan geser.



Gambar 10. Pola Tegangan Beton pada saat beban ultimit

### 5.7. Perilaku Tegangan Tulangan Lentur dan Geser Baja pada saat Beban Ultimit

Dari Gambar 11 dapat diketahui bahwa semakin tinggi penampang maka tegangan yang terjadi pada tulangan tarik dan tekan akan semakin kecil, namun sebaliknya yang terjadi pada tulangan geser yang mempunyai tegangan yang semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penampang maka tulangan lentur akan semakin tidak berfungsi karena keruntuhan akhir yang terjadi lebih ditentukan oleh keruntuhan beton yang merupakan keruntuhan geser yang bersifat getas. Selain itu dapat disimpulkan pula bahwa semakin tinggi penampang balok maka akan semakin tinggi pula tegangan yang terjadi pada tulangan geser, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penampang balok sangat diperlukan sekali tulangan geser untuk mencegah terjadinya lebih awal keruntuhan geser beton yang bersifat getas.



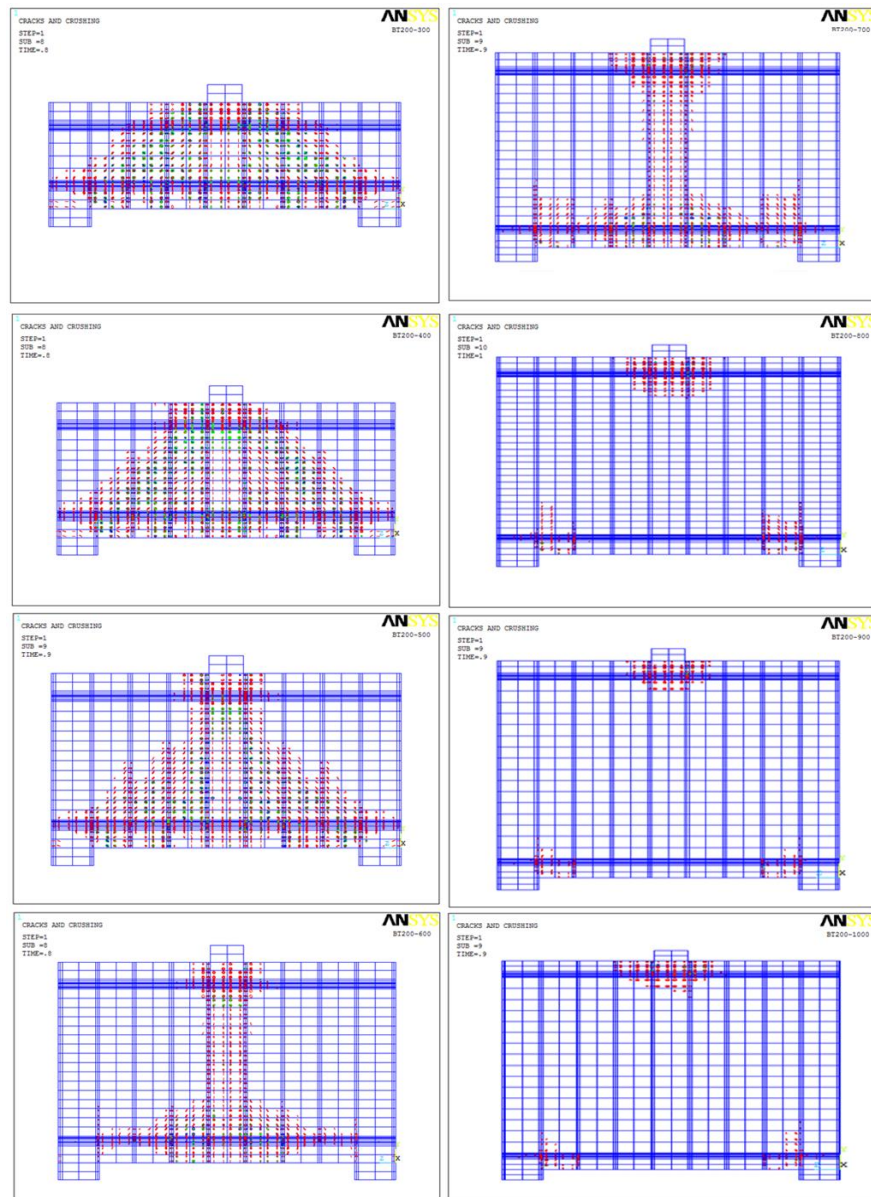
Gambar 11. Pola Tegangan Tulangan Lentur dan Geser pada saat beban ultimit

### 5.8. Perilaku Retak Balok pada saat Beban Ultimit

Dari Gambar 12 dapat diketahui bahwa:

- untuk balok  $1,60 \leq L/H \leq 2,67$  pola retak miring pada saat beban ultimit membentuk sudut dari  $45^\circ$ ,  $55^\circ$ , dan  $65^\circ$ , dan terlihat banyak sekali terjadi retak pada bagian serat tarik dan badan balok, sedangkan pada daerah tekan sebaran retak yang terjadi semakin pendek seiring dengan kenaikan tinggi balok.
- untuk balok  $1,33 \leq L/H \leq 1,14$  pola retak miring semakin tidak terlihat dan retak miring terjadi pada jarak 100 mm dari muka tumpuan, dan terlihat retak pada bagian serat tarik dan badan balok sudah mulai berkurang seiring dengan kenaikan tinggi balok, sedangkan pada daerah tekan retak yang terjadi semakin parah atau beton mengalami *spalling* dan *crushing* seiring dengan kenaikan tinggi balok.

- c) untuk balok  $0,80 \leq L/H \leq 1,00$  tidak terlihat pola retak miring pada badan balok dan pada bagian tengah serat tarik, namun terlihat retak geser yang terjadi pada bagian muka tumpuan dengan sebaran retak horisontal sepanjang 100 mm dari muka tumpuan, sedangkan pada daerah tekan retak yang terjadi semakin parah atau beton mengalami *spalling* dan *crushing* seiring dengan kenaikan tinggi balok.
- d) Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi balok maka konsentrasi retak lebih mengarah pada bagian tekan balok yaitu pada bagian serat tekan dan tumpuan balok, sehingga pengaruh mutu beton sangat menentukan sekali.



Gambar 12. Pola Retak Beton Balok Tinggi pada saat beban ultimit

## 6. Kesimpulan dan Saran

### 6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- a) Semakin tinggi balok maka kapasitas lentur akan semakin meningkat namun lendutan yang terjadi semakin kecil.
- b) Semakin tinggi balok, maka nilai daktilitas kurvatur semakin rendah yang menyebabkan keruntuhan balok tinggi menjadi lebih getas.
- c) Semakin tinggi penampang balok maka akan semakin tinggi pula tegangan yang terjadi pada tulangan geser, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi penampang balok sangat diperlukan sekali tulangan geser untuk mencegah terjadinya lebih awal keruntuhan geser beton yang bersifat getas.
- d) Semakin tinggi penampang maka tegangan yang terjadi pada tulangan tarik dan tekan akan semakin kecil, namun sebaliknya yang terjadi pada tulangan geser yang mempunyai tegangan yang semakin besar, sehingga sangat diperlukan sekali tulangan geser untuk mencegah terjadinya lebih awal keruntuhan geser beton yang bersifat getas.
- e) Semakin tinggi balok maka konsentrasi retak lebih mengarah pada bagian tekan balok yaitu pada bagian serat tekan dan tumpuan balok, sehingga pengaruh mutu beton sangat menentukan sekali.

### 6.2. Saran

Saran dari penelitian ini adalah perlu penelitian lanjutan mengenai:

- a) Pengaruh tulangan geser horisontal dan vertikal pada balok tinggi, mengingat tingginya tegangan geser yang terjadi pada balok tinggi.
- b) Efektifitas penggunaan tulangan lentur tekan pada balok tinggi dalam mengubah perilaku getas balok tinggi.

## 7. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Program Magister Teknik Sipil Unlam yang telah mendanai penelitian ini.

## 8. Daftar Pustaka

- Kent, D. C. and Park, R., **Flexural Members with Confined Concrete**, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, ST7, July, 1971, pp. 1969 - 1990.
- L. Dahmani, A. Khennane, and S. Kaci, **Crack Identification In Reinforced Concrete Beams Using Ansys Software**, Strength of Materials, Vol. 42, No. 2, Springer Science + Business Media, Inc., 2010.
- Nawy, E.G., Tavio, and Kusuma B., **Beton Bertulang: Sebuah Pendekatan Mendasar**, Edisi Kelima, ITS Press,, 2010.
- Patil, A. N. Shaikh, B. R. Niranjana, **Experimental and Analytical Study on Reinforced Concrete Deep Beam**, International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) Vol.3, Issue.1, Jan-Feb. 2013 pp-45-52, 2013.
- Park, R., dan T. Paulay, **Reinforced Concrete Structures**, John Wiley & Sons Inc., 1975.
- Shahidul Islam, S. M., **Automated Design of Reinforced Concrete Deep Beams**, Thesis submitted to School of Engineering and Information Technology University of New South Wales, Canberra for the degree of Doctor of Philosophy, November 2012