

VISUALISASI DAN ANALISIS KERUNTUHAN BALOK BETON BERTULANG MENGUNAKAN ANSYS

Darmansyah Tjitradi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km.33, Banjarbaru, Kalimantan Selatan-70714, email: tjitradi_syah@yahoo.com

Abstrak: Tulisan ini merupakan hasil permodelan 3D FE komputer Software ANSYS Version 9.0 terhadap perilaku keruntuhan elemen struktur balok beton bertulang mutu normal. Tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengetahui kapasitas beban, deformasi, tegangan, regangan dan pola retak yang terjadi pada balok beton bertulangan tunggal dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang.

Dalam penelitian ini akan dimodelkan secara manual dan software ANSYS sebanyak tiga benda uji balok beton bertulang 200mmx400mmx3000mm bertumpuan sederhana dengan tulangan tunggal 2D16, 2D32 dan 2D34,7475 untuk mewakili kondisi keruntuhan tarik, tekan, dan seimbang. Balok akan dibebani beban terpusat ditengah bentang dan diamati perilaku keruntuhannya mulai dari beban retak pertama sampai dengan keruntuhannya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa balok beton bertulang dapat dimodelkan dan dianalisis dengan menggunakan software ANSYS. Perilaku balok beton bertulang dapat dijelaskan secara manual dan FEM bahwa balok dengan kondisi keruntuhan tarik memiliki perilaku keruntuhan yang lebih daktail dibandingkan dengan balok kondisi keruntuhan tekan, dan seimbang. Analisis manual menurut SNI 03-2847-2002 lebih cocok digunakan untuk balok dengan kondisi keruntuhan tarik ($\rho < 0,75.pb$).

Kata Kunci: balok beton, keruntuhan tarik, keruntuhan tekan, keruntuhan seimbang, ANSYS, FEA

PENDAHULUAN

Balok adalah merupakan komponen struktural suatu konstruksi yang memiliki peran untuk memikul beban lentur, geser, dan aksial. 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. Penambahan tulangan tarik pada balok beton akan menyebabkan perbedaan pola keruntuhan beton yang terjadi. Dalam desain lentur tulangan tarik harus didesain memenuhi persyaratan daktailitas agar keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik yang bersifat daktail, dan harus dihindari desain tulangan dengan keruntuhan tekan yang bersifat mendadak/ getas. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan mempelajari perilaku keruntuhan elemen struktur balok beton bertulangan tunggal dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan, dan seimbang yang akan dianalisis menggunakan permodelan komputer software ANSYS version 9.0, dan dianalisis manual menurut SNI 03-2847-2002.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui kapasitas lentur yang terjadi pada setiap model balok.
2. Untuk mengetahui hubungan antara beban dengan deformasi yang terjadi pada setiap model balok.
3. Untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada setiap model balok.
4. Untuk mengetahui perilaku retak yang terjadi pada setiap model balok.

TINJAUAN PUSTAKA

a) Perilaku Keruntuhan Balok Beton menurut SNI 03-2847-2002

Dengan berdasarkan rasio tulangan tarik baja terpasang (ρ_t) keruntuhan balok beton dapat dibedakan menjadi 3 pola keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan Tarik (under reinforced)

$$\rho_t \leq 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_t \leq 0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right] \dots\dots\dots (1)$$

2. Keruntuhan Tekan (over reinforced)

$$\rho_t > 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_t > 0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right] \dots\dots\dots (2)$$

3. Keruntuhan Seimbang (balance reinforced)

$$\rho_t = \rho_b$$

$$\rho_t = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Model benda uji balok penelitian ini mengambil balok bertulangan tunggal dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan, dan seimbang yang diwakili dengan variasi rasio tulangan tarik.

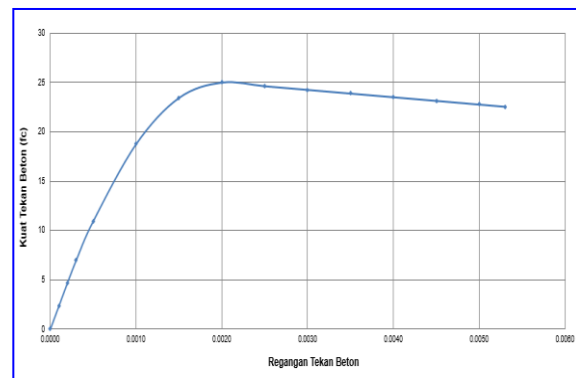
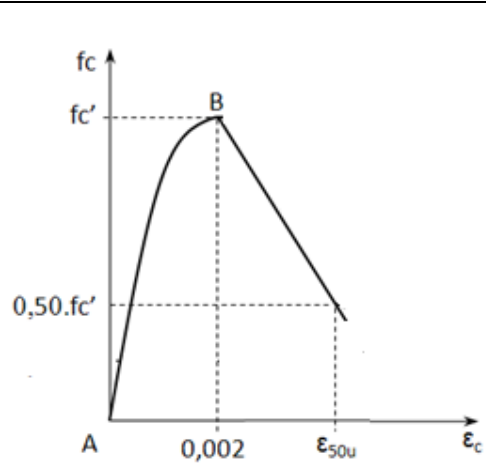
b) Permodelan Beton Bertulang (Reinforced Concrete) pada ANSYS

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. Elemen ini juga mempunyai kemampuan untuk berdeformasi plastis, retak dalam arah x, y, dan z. (L. Dahmani, et.al, 2010). Model kurva tegangan-regangan beton mutu normal yang digunakan adalah model tegangan-regangan beton tidak terkekang menurut Kent-Park (1971) (Park, R., dan T. Paulay, 1975) (lihat Tabel 1).

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

Tabel 1. Data Material Beton SOLID 65

Linear - Elastic - Isotropic		
Modulus Elastisitas Beton, E_c	24.375 MPa	
Poisson Rasio, ν	0,20	
Nonlinear – Multinlinear Kinematic Hardening		
Regangan (ϵ_c)	Tegangan (f_c)	
0	0	
0,00010	2,4375	
0,00015	3,6094	
0,00040	9,0000	
0,00060	12,7500	
0,00100	18,7500	
0,00140	22,7500	
0,00180	24,7500	
0,00200	25,0000	
0,00240	22,3720	
0,00280	19,7430	
0,00300	18,4290	
0,00320	17,1150	
0,00340	15,8000	
0,00360	14,4860	
0,00380	13,1720	
0,00400	11,8580	
0,00420	10,5440	
0,00440	9,2290	
Nonlinear – Inelastic – Non-metal plasticity – Concrete65		
Open shear transfer coefficient	0,30	
Closed shear transfer coefficient	1,00	
Uniaxial cracking stress	3,50 MPa	$(f_r=0,70\sqrt{f_c'})$
Uniaxial crushing stress	25 MPa	(f_c')
Tensile crack factor	0,60	



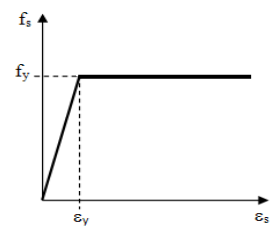
c) Permodelan Tulangan Baja (Steel Reinforcement) pada ANSYS

Untuk memodelkan tulangan baja lentur digunakan tipe elemen SOLID 45, tulangan baja di idealisasikan sebagai elemen batang aksial (Link Spar Element) atau LINK 8 dengan sifatnya seperti tulangan aslinya namun berupa garis. Elemen ini dapat langsung dihasilkan dari titik-titik dalam model dan mudah digunakan dalam memodelkan tulangan baja suatu beton bertulang. (L. Dahmani, A, 2010) (lihat Tabel 2).

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

Tabel 2. Data Material Tulangan Lentur Tarik Baja SOLID 45

Linear - Elastic - Isotropic	
Modulus Elastisitas Baja, E_s	200.000 MPa
Poisson Rasio, ν_s	0,30
Nonlinear – Inelastic – Rate Independent – Isotropic Hardening plasticity – Mises Plasticity – Bilinear Isotropic Hardening	
Tegangan leleh Baja, f_y	400 MPa



d) Permodelan Tumpuan Baja (Support) pada ANSYS

Tumpuan baja menggunakan model SOLID 45 dengan material kondisi linier dan data dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Material Tumpuan Baja SOLID 45

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

METODE PENELITIAN

a) Analisis Manual Balok Beton Bertulang Menurut SNI 03-2847-2002

Analisis manual beban retak, beban leleh, dan beban ultimit serta lendutan balok berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002. Kemudian dibuat grafik hubungan beban lentur dan lendutan yang akan dibandingkan dengan grafik hasil FEM ANSYS.

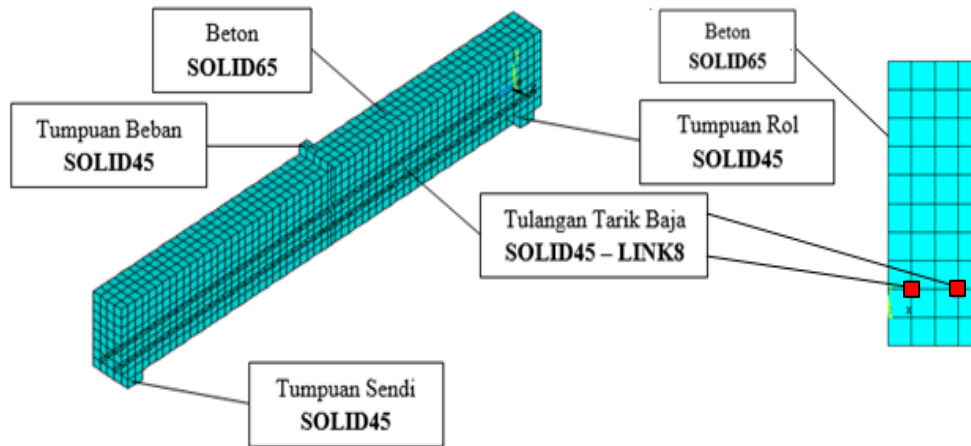
b) Permodelan Elemen Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan ANSYS

Dalam penelitian ini diambil kasus elemen balok beton bertulang mutu normal sebanyak 3 buah yang mewakili balok bertulangan tunggal kondisi keruntuhan tarik (under reinforced), keruntuhan tekan (over reinforced), dan keruntuhan seimbang (balance reinforced), dengan dimensi: 200 mmx400 mm, dan $L = 3000$ mm, serta $L_{as-as} = 2800$ mm (lihat Gambar 1 dan Tabel 4). Balok kemudian dibebani ditengah bentang dengan beban terpusat, dan diamati nilai beban dan lendutannya mulai dari beban retak pertama sampai dengan keruntuhannya.

Tabel 4. Konfigurasi Model Elemen Balok Tulangan Tunggal Beton Bertulang

No.	Kode Benda Uji	Tulangan Lentur Baja (ρ_t)		Kondisi Keruntuhan
		Tarik	A_{st} (%)	
1	BUR-200.400	2D16	401, 920 (0,574)	Under Reinforced ($\rho_t \leq \rho_{maks}$)
2	BOR-200.400	2D32	1607,680 (2, 297)	Over Reinforced ($\rho_t > \rho_{maks}$)
3	BBR-200.400	2D34,7475	1895,600 (2,708)	Balanced Reinforced ($\rho_t = \rho_b$)

Ket: BUR-X.Y = Balok Under Reinforced dengan lebar X dan tinggi Y
 BOR-X.Y = Balok Over Reinforced dengan lebar X dan tinggi Y
 BBR-X.Y = Balok Balanced Reinforced dengan lebar X dan tinggi Y
 $\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 2,032\%$



Gambar 1. Permodelan Balok Beton Bertulang menggunakan Software ANSYS

Tahapan penelitian balok beton bertulang tunggal ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pembuatan model balok uji *simple beam* beton bertulang bertulang tunggal dengan berbagai variasi rasio tulangan tarik.
- 2) Analisis kapasitas lentur dan daktilitas balok secara manual menurut SNI 03-2847-2002.
- 3) Permodelan keruntuhan balok benda uji dengan menggunakan software ANSYS 9.0
- 4) Analisis hasil permodelan komputer yang meliputi:
 - a. Grafik hubungan beban dan lendutan.
 - b. Grafik hubungan tegangan dan lendutan.
 - c. Pola retak beban retak pertama dan retak ultimit.
- 5) Analisis hasil permodelan komputer antar benda uji balok.
- 6) Kesimpulan hasil dan saran.

HASIL PEMBAHASAN

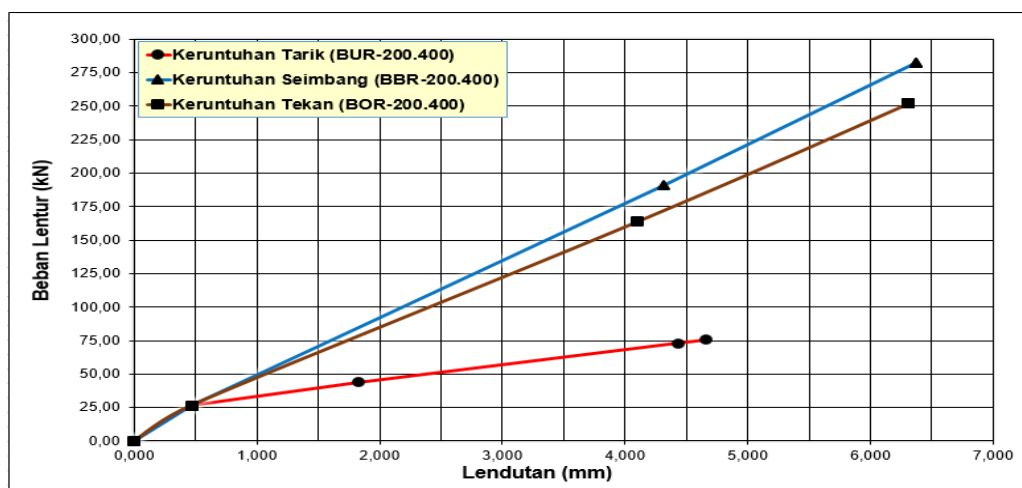
a. Analisis Beban dan Lendutan Balok

1) Hasil Analisis Manual Menurut SNI 03-2847-2002

Berdasarkan hasil dari analisis manual dapat diketahui hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada balok beton dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Tabel 5 dan Gambar 2 dapat diketahui bahwa nilai beban dan lendutan pada saat retak pertama untuk ketiga tipe keruntuhan sama, dan terlihat bahwa setelah retak pertama pada kondisi keruntuhan tarik kekakuan balok terus menurun (daktil) sedangkan pada keruntuhan tekan dan seimbang kekakuan balok hanya sedikit mengalami penurunan (getas).

Tabel 5. Hasil Analisis Beban-Lendutan Manual Menurut SNI 03-2847-2002

Kondisi	Keruntuhan Tarik		Keruntuhan Tekan		Keruntuhan Seimbang	
	Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)
Retak pertama	26,667	0,469	26,667	0,469	26,667	0,469
Layan	43,794	1,825	163,743	4,101	191,040	4,312
Leleh	72,989	4,429	252,033	6,312	282,493	6,376
Ultimit	75,697	4,654	252,033	6,312	282,493	6,376



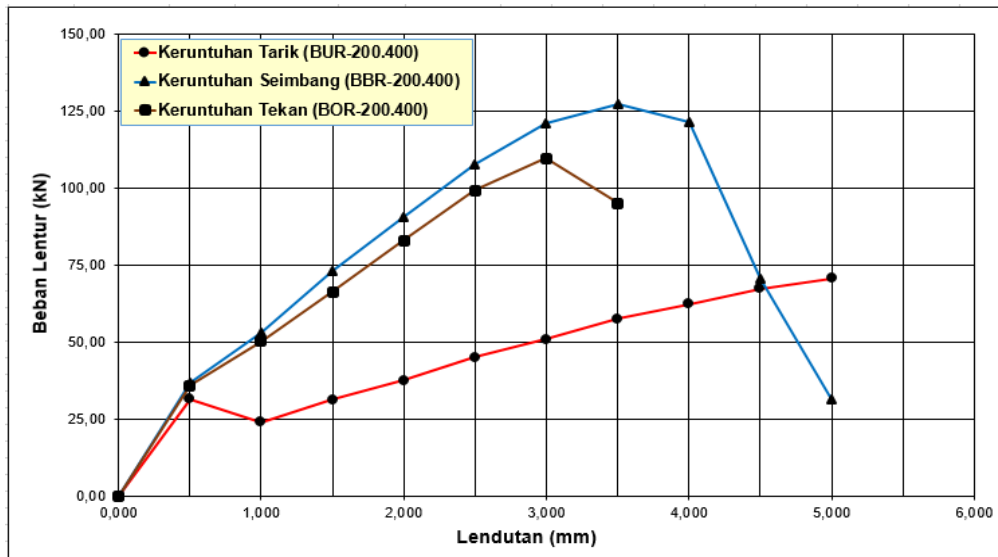
Gambar 2. Hasil Analisis Beban-Lendutan Manual Menurut SNI 03-2847-2002

2) Hasil Analisis Software ANSYS

Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS dapat diketahui hubungan antara beban dan lendutan yang terjadi pada balok beton dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Tabel 6 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai lendutan pada saat retak pertama untuk ketiga tipe keruntuhan sama namun bebannya bervariasi seiring dengan peningkatan rasio tulangan tarik dan terlihat bahwa setelah retak pertama pada kondisi keruntuhan tarik kekakuan balok terus menurun (daktail) sedangkan pada keruntuhan tekan dan seimbang kekakuan balok hanya sedikit mengalami penurunan (getas).

Tabel 6. Hasil Analisis Beban-Lendutan Software ANSYS

Keruntuhan Tarik		Keruntuhan Tekan		Keruntuhan Seimbang	
Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Beban (kN)	Lendutan Tengah Bentang (mm)
31,487	0,500	35,836	0,500	36,721	0,500
24,084	1,000	50,193	1,000	53,156	1,000
31,245	1,500	66,376	1,500	73,126	1,500
37,565	2,000	83,114	2,000	90,491	2,000
45,127	2,500	99,355	2,500	107,783	2,500
50,920	3,000	109,766	3,000	121,223	3,000
57,528	3,500	95,092	3,500	127,399	3,500
62,429	4,000			121,471	4,000
67,305	4,500			70,444	4,500
70,693	5,000			31,299	5,000



Gambar 3. Hasil Analisis Beban-Lendutan Software ANSYS

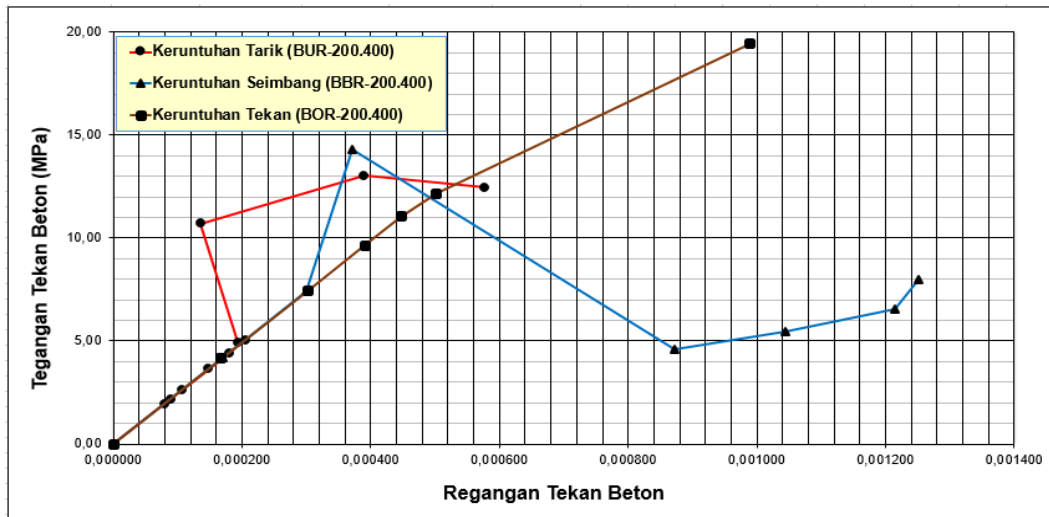
b. Analisis Tegangan dan Regangan Beton

1) Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tekan Beton Software ANSYS

Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS dapat diketahui hubungan antara Tegangan dan Regangan Tekan Beton yang terjadi pada balok beton dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Tabel 7 dan Gambar 4 dapat diketahui bahwa pada lendutan yang sama yaitu 1,5 mm (baris ke-3 pada Tabel 7), maka terlihat semakin tinggi rasio tulangan tarik maka semakin tinggi pula tegangan tekan beton, sehingga perilaku balok akan semakin getas.

Tabel 7. Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tekan Beton Software ANSYS

Keruntuhan Tarik		Keruntuhan Tekan		Keruntuhan Seimbang	
Tegangan Tekan (MPa)	Regangan Tekan	Tegangan Tekan (MPa)	Regangan Tekan	Tegangan Tekan (MPa)	Regangan Tekan
2,175240	0,000089	4,137670	0,000168	4,188820	0,000170
1,937720	0,000079	7,468550	0,000303	7,412620	0,000300
2,623510	0,000108	9,637400	0,000391	14,304000	0,000372
3,624340	0,000149	11,055200	0,000447	4,588310	0,000872
4,397690	0,000180	12,178700	0,000502	5,436220	0,001045
5,035790	0,000205	19,430500	0,000988	6,559570	0,001215
4,914080	0,000194			7,960560	0,001251
10,691500	0,000136				
13,035600	0,000391				
12,439200	0,000578				



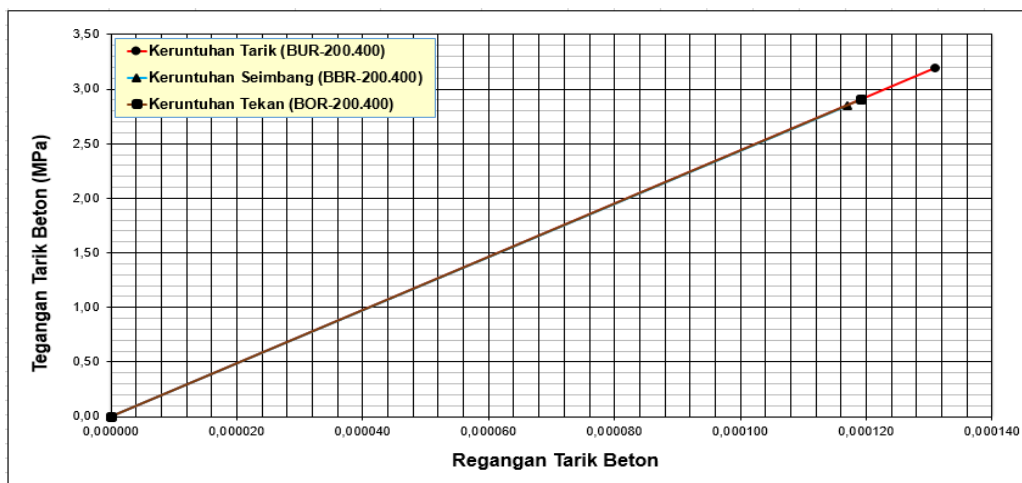
Gambar 4. Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tekan Beton Software ANSYS

2) Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tarik Beton Software ANSYS

Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS dapat diketahui hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Beton yang terjadi pada balok beton dengan kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Tabel 8 dan Gambar 5 dapat diketahui bahwa kondisi keruntuhan tarik memiliki tegangan tarik beton yang paling besar yaitu sebesar 3,190 MPa (tegangan tarik teoritis sebesar $f_t = 3,50$ MPa) dibandingkan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi rasio tulangan tarik maka tegangan tarik yang terjadi akan semakin rendah.

Tabel 8. Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tarik Beton Software ANSYS

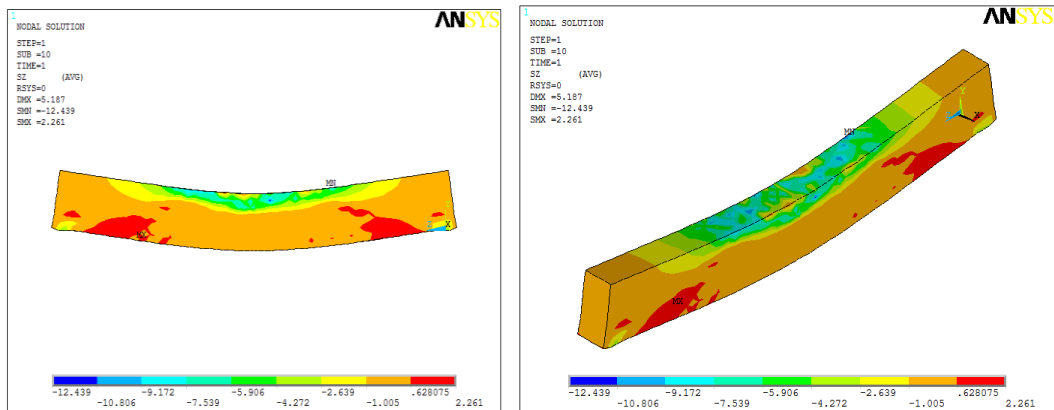
Keruntuhan Tarik		Keruntuhan Tekan		Keruntuhan Seimbang	
Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan Tarik
3,190580	0,000131	2,906170	0,000119	2,849780	0,000117



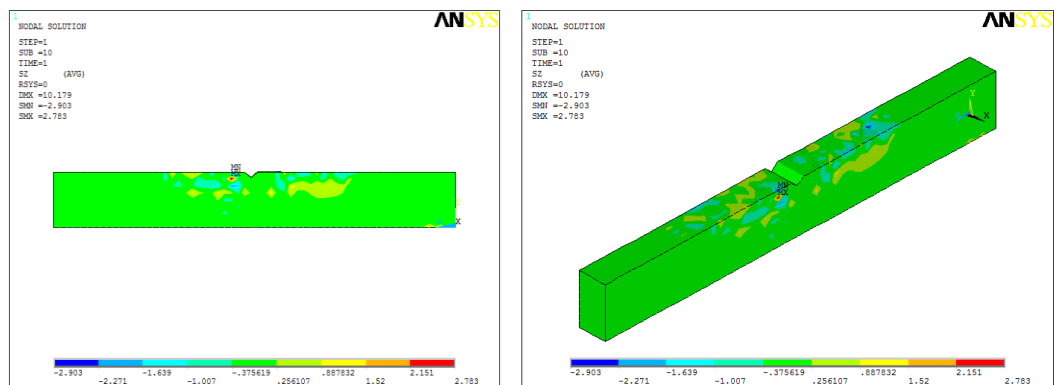
Gambar 5. Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Tarik Beton Software ANSYS

c. Hasil Visualisasi Tegangan Beton pada Keruntuhan Akhir Software ANSYS

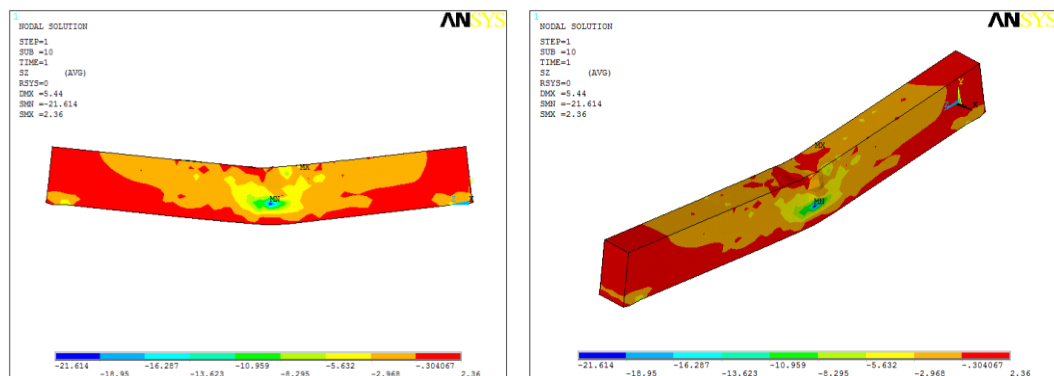
Berdasarkan hasil dari software ANSYS dapat diketahui visualisasi tegangan beton pada saat keruntuhan akhir untuk kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Gambar 6 sd. 8 dapat diketahui bahwa balok dengan tipe keruntuhan seimbang tegangan tekan beton yang terjadi lebih tinggi (getas) dibandingkan dengan tipe keruntuhan tekan dan tarik (daktail).



Gambar 6. Visualisasi Tegangan Beton Balok Kondisi Keruntuhan Tarik (BUR-200.400)



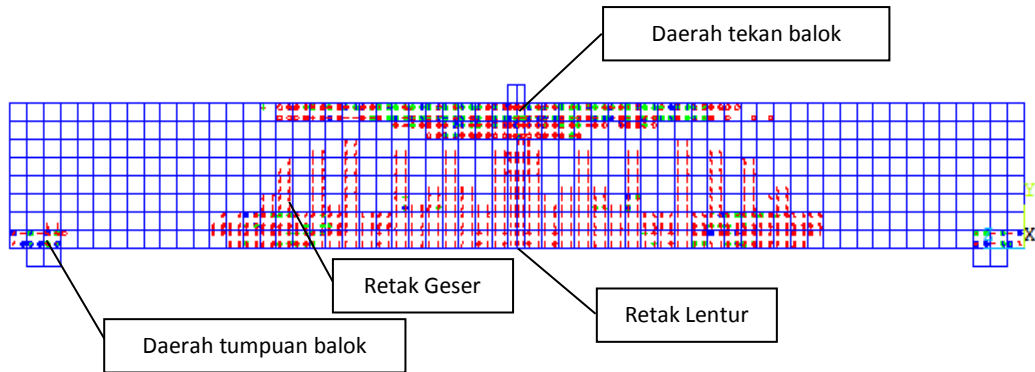
Gambar 7. Visualisasi Tegangan Beton Balok Kondisi Keruntuhan Tekan (BOR-200.400)



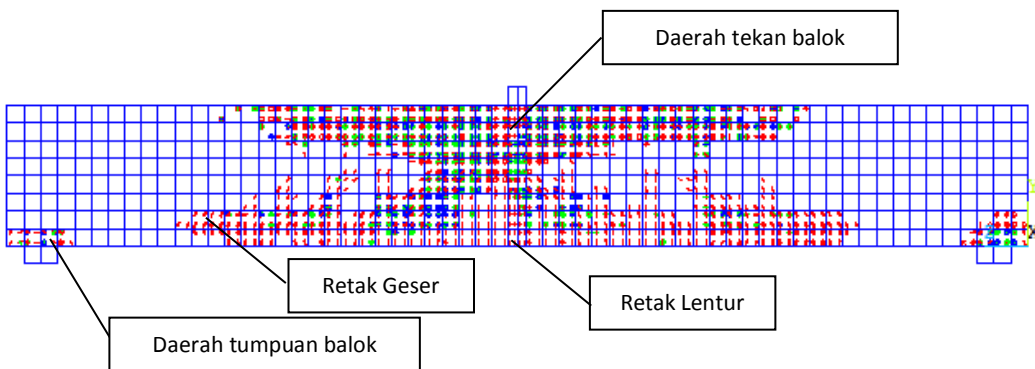
Gambar 8. Visualisasi Tegangan Beton Balok Kondisi Keruntuhan Seimbang (BBR-200.400)

d. Hasil Analisis Pola Retak Beton pada Keruntuhan Akhir Software ANSYS

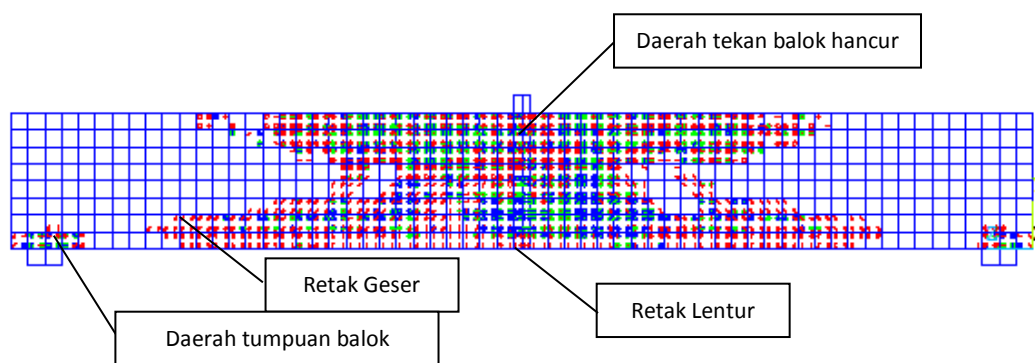
Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS dapat diketahui pola retak beton pada saat keruntuhan akhir untuk kondisi keruntuhan tarik, tekan dan seimbang. Dari Gambar 9 sd. 11 dapat terlihat bahwa pada balok dengan kondisi keruntuhan tarik retak yang terjadi pada daerah tekan beton dan retak geser pada badan balok lebih sedikit dibandingkan balok dengan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang.



Gambar 9. Pola Retak Beton Balok Kondisi Keruntuhan Tarik (BUR-200.400)



Gambar 10. Pola Retak Beton Balok Kondisi Keruntuhan Tekan (BOR-200.400)



Gambar 11. Pola Retak Beton Balok Kondisi Keruntuhan Seimbang (BBR-200.400)

PENUTUP

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Balok beton bertulang dengan berbagai kondisi keruntuhan yang diwakili dengan variasi rasio tulangan tarik dapat dimodelkan dengan menggunakan software ANSYS.
2. Balok dengan kondisi keruntuhan tarik memiliki beban yang lebih rendah pada lendutan yang sama dibandingkan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang (hasil software ANSYS).
3. Balok dengan kondisi keruntuhan tarik memiliki perilaku keruntuhan yang lebih daktail dibandingkan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang (hasil software ANSYS).
4. Balok dengan kondisi keruntuhan tarik daerah tekan beton kerusakannya lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang (hasil software ANSYS).
5. Balok dengan kondisi keruntuhan tarik retak geser yang terjadi pada badan balok lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi keruntuhan tekan dan seimbang (hasil software ANSYS).
6. Semakin tinggi rasio tulangan tarik maka tegangan tarik yang terjadi akan semakin rendah (hasil software ANSYS).
7. Pada balok dengan kondisi keruntuhan tarik, hasil analisis manual menurut SNI-2847-2002 lebih mendekati hasil Software ANSYS saat kondisi beban retak pertama dan beban ultimit, sehingga analisis manual menurut SNI-2847-2002 lebih cocok digunakan untuk balok dengan kondisi keruntuhan tarik ($\rho < 0,75 \cdot \rho_b$).

DAFTAR PUSTAKA

- Kent, D. C. and Park, R., 1971. *Flexural Members with Confined Concrete*, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, pp. 1969 - 1990.
- L. Dahmani, A. Khennane, and S. Kaci, 2010. *Crack Identification In Reinforced Concrete Beams Using Ansys Software*, Strength of Materials, Vol. 42, No. 2, Springer Science + Business Media, Inc.
- SNI 03-2847-2002, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, BSN.