

**PERILAKU DAN PENINGKATAN KAPASITAS BALOK TINGGI  
AKIBAT PERUBAHAN RASIO BENTANG GESER  
TERHADAP TINGGI EFEKTIF BALOK (a/d)**

**(The Behaviour and Capacity Improvement of Deep Beam Due To Span Shear Ratio  
Change To The Beam Effective Depth (a/d))**

Ninik Catur Endah Yuliati <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Staff Pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang  
Jl. Taman Agung No. 1 Malang 65146, e-mail : nien\_cey@yahoo.com

---

**ABSTRACT**

*The advantage of deep beam is it has a stiffness factor higher than conventional beam. Design of deep beam-reinforced concrete usually just consider minimum reinforcement only, for longitudinal reinforcement and shear reinforcement because deep beam is not designed to received main load but just for esthetic only. Because of that reason, this research is needed to design reinforcement on deep beam for carrying main load so that a premier failure can be avoid. Twelve (12) specimens are used in this research. The compressive strength of the deep-beams is 25 MPa simply supported with the dimensions of (13x40x100) cm such as result from geometric scale 1: 4. The tensile reinforcement is 4 Ø 10 mm and the compressive reinforcement is 2 Ø 10 mm. The shear reinforcement used is Ø 6 – 100 mm for each specimen. Longitudinal shear reinforcement variations used without longitudinal shear reinforcement, 2 Ø 6 mm, 4 Ø 6 mm and 6 Ø 6 mm. For each variations used, there are 3 sample tests. The sample tests are done by using two-point simetrical load and span shear ratio towards effective deep beam (a/d) starting from 0,6 ; 0,8 ; and 1. Data of crack-load, ultimate-load, strain of longitudinal reinforcement, strain of shear reinforcement, strain of longitudinal shear reinforcement and displacement of beam on point load is measured for load increase with interval load is 250 kg. The result of the research shows that span shear ratio towards effective deep beam (a/d) can establish shear crack load capacity (Pcr) and ultimate load capacity (Pu) of deep beam. Decreasing of span shear ratio towards effective deep beam (a/d) caused load capacity of deep beam increase. Strain of reinforcement was measured load capacity of deep beam, for Pcr and Pu. Span shear ratio towards effective beam depth (a/d) is influence load capacity of deep beam. So that, increasing span shear ratio towards effective deep beam (a/d) caused strain of longitudinal reinforcement and shear reinforcement decrease. Span shear ratio towards effective deep beam (a/d) also measure behavior of deep beam. At the shorter span shear ratio towards effective deep beam (a/d), failure of deep beam is shear-failure. At the longer span shear ratio towards effective deep beam (a/d), failure of deep beam is tension-failure.*

Keywords : *Longitudinal shear reinforcement, shear capacity, span shear ratio*

**PENDAHULUAN**

Perilaku dan karakteristik balok tinggi sangat berbeda dengan perilaku dan karakteristik balok yang mempunyai perbandingan normal. Pada balok tinggi akan dominan terjadi keruntuhan akibat tegangan geser. Untuk itu perencanaan tulangan geser menjadi amat penting pada desain balok tinggi. Tulangan geser tidak hanya meningkatkan kapasitas geser balok, tetapi juga daktilitasnya sehingga tulangan geser mereduksi resiko terjadi keruntuhan getas. Selain sengkang yang menahan gaya geser maka pada penelitian ini dicoba divariasikan dengan menggunakan tulangan geser longitudinal yang diharapkan dapat menyumbangkan tahanan terhadap kapasitas geser balok tinggi.

**Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemberian tulangan geser longitudinal

terhadap kapasitas dan kekakuan geser serta perilaku perkuatan lainnya pada balok tinggi beton bertulang.

**Tinjauan Pustaka dan Teori**

Penyelidikan keruntuhan tekan geser telah dilakukan pada balok tinggi dengan mengambil variasi rasio bentang geser dan tinggi efektif balok a/d (Gambar 3) antara 1,0 sampai 2,5 dengan beban single dan double pada balok. Dijelaskan bahwa mutu beton, rasio penulangan utama, rasio penulangan geser pada rasio a/d 1,0 sampai 2,5 akan mempengaruhi keruntuhan tekan geser pada balok tinggi (Zararis, 2003).

Desain dengan metode CIRIA pada balok tinggi dengan memakai beton normal dan mutu tinggi telah dilakukan revisi untuk memperkirakan geser ultimit yang terjadi. Parameter yang bervariasi diberikan pada penyelidikan tersebut antara lain ; rasio a/d antara 0,27 sampai 2,7 ; jumlah penulangan utama (1,23 sampai 5,80%), jumlah penulangan

geser dan mutu beton yang digunakan antara 25 sampai 100 MPa (Leong and Tan, 2003).

Perkiraan daerah dan dimensi keruntuhan tekan geser juga dapat dilakukan pada balok tinggi dengan memakai metode AE, yang mengukur besarnya energi lokal dari sensor-sensor yang diberikan pada permukaan beton. Evaluasi daerah keruntuhan dapat diketahui dari pengujian tekan uniaxial pada balok berdasarkan amplitudo maksimum yang diukur dari tegangan maksimum. Panjang daerah keruntuhan balok hasil pengujian ternyata lebih dari 30% dari hasil pengukuran sensor yang dilakukan dari berbagai bentuk dan ukuran benda uji (Watanabe, 2002,).

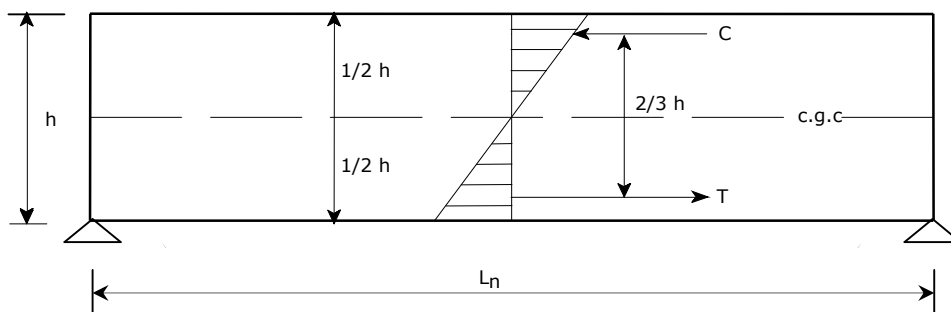
Pengaruh letak beban dengan penulangan geser yang berbeda pada balok tinggi dengan mutu tinggi ( $f'_c > 55$  MPa) juga telah diteliti, dimana dilakukan pengujian dengan beban seluruhnya terletak pada tepi atas balok, dan semua pada tepi bawah balok serta kombinasi tepi atas dan tepi bawah balok dengan ratio  $P_{top}/P_{bottom}$  masing-masing 1:1 dan 2:1. Sedangkan variasi penulangan geser yang diteliti antara lain balok tinggi dengan tulangan utama yang dimiringkan, tulangan geser vertikal serta kombinasi tulangan geser vertikal dan horizontal. Penelitian ini juga menjelaskan bidang defleksi balok, lebar retak yang terbentuk, pola retak, model keruntuhan, beban retak diagonal, kekuatan layan dan ultimit (Tan and Weng, 1999).

Perilaku balok tinggi lebih mendekati perilaku dua dimensi bukan satu dimensi sehingga distribusi tegangan yang terjadi juga mendekati keadaan tegangan dua dimensi. Akibatnya bidang datar sebelum lenturan tidak harus tetap datar setelah terlentur. Distribusi tegangannya tidak lagi linear, deformasi geser yang diabaikan pada balok lentur konvensional menjadi sesuatu yang cukup signifikan dibandingkan dengan deformasi lentur murninya. Gambar 1 menjelaskan distribusi tegangan yang bersifat linear pada tengah-tengah bentang balok sebelum terjadi retak, dimana hal ini terjadi pada

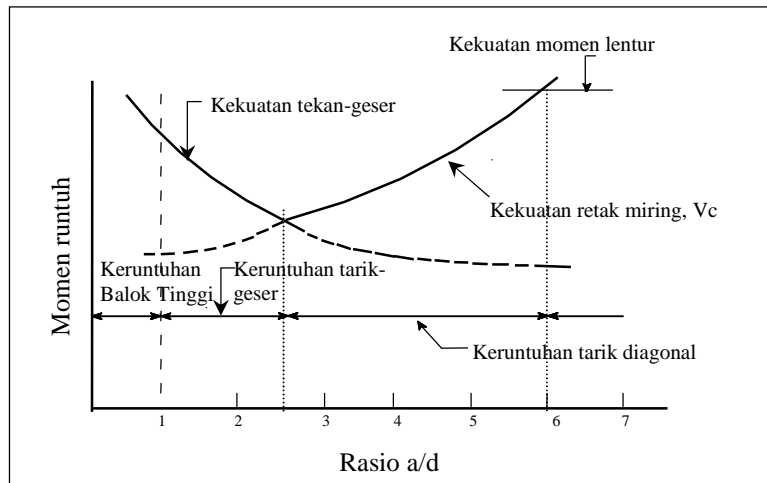
balok dengan rasio bentang efektif terhadap tinggi balok lebih besar dari enam (rasio  $a/d > 6$ ).

Trajektori yang terbentuk pada balok lentur yang dibebani dengan beban merata diperlihatkan pada Gambar 2. Distribusi tegangan utama dapat diperoleh dari analisa elemen hingga. Hasil yang diperoleh dari analisa tersebut dengan mengambil asumsi bahan balok memiliki sifat elastis, homogen dan isotropik. Hasil tegangan-tegangan utama tarik dan tekan ditampilkan dengan arah panah masing-masing, dimana panjang arah panah menunjukkan besarnya tegangan, serta arah panah menunjukkan arah tegangan. Dari trajektori tersebut terlihat bahwa tegangan tekan maksimum terjadi pada tengah bentang disisi atas balok dengan arah tegangan menuju kearah tumpuan. Tegangan tarik terjadi juga pada tengah bentang, tetapi terjadi pada sisi bawah balok dengan arah yang berubah jika makin dekat dengan tumpuan. Dari trajektori tegangan utama tersebut diharapkan retak vertikal akan terbentuk ditengah bentang, pada sisi bawah balok, yang arahnya tegak lurus dengan  $f_1$ . Dari tengah bentang, retak awal pada sisi bawah balok akan bertambah keatas dan arahnya berubah seiring dengan meningkatnya tegangan geser,  $v$  dan berubahnya arah  $f_1$ .

Faktor yang mempengaruhi perilaku dan kekuatan geser balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana sangat banyak dan kompleks serta tidak seluruhnya bisa di pahami. Faktor-faktor tersebut termasuk ukuran dan bentuk penampang balok, jumlah dan susunan penulangan lentur, penulangan tekan dan transversal, rasio bentang geser terhadap tinggi efektif balok ( $a/d$ ) serta sifat-sifat beton dan bajanya sendiri. Jika faktor selain rasio  $a/d$  dibuat tetap pada penampang balok persegi maka variasi kapasitas geser dapat dijelaskan seperti Gambar 2 berikut ini.



Gambar 1. Distribusi tegangan lentur pada balok lentur

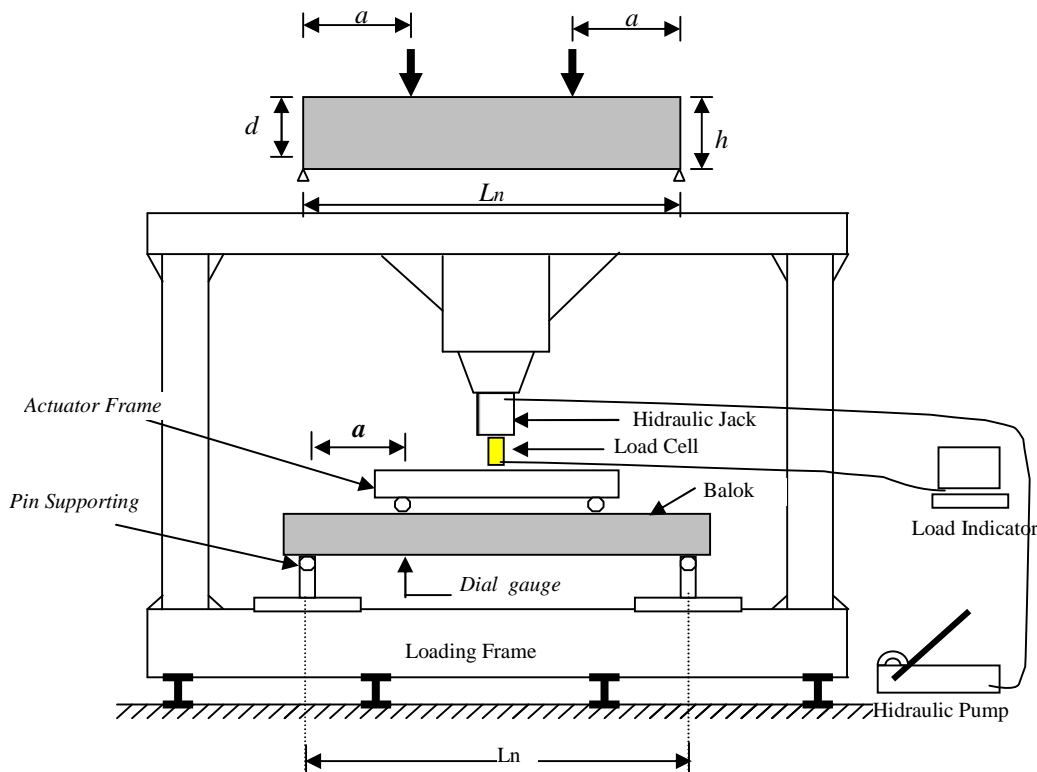


Gambar 2. Perubahan rasio a/d terhadap geser pada balok persegi

**METODE PENELITIAN**

Balok uji sebanyak 12 (duabelas) buah berukuran (130x400) mm panjang 100 cm diuji dengan skala penuh. Variabel yang diambil adalah 3 (tiga) balok tanpa memakai tulangan geser longitudinal, kemudian setiap 3 (tiga) balok memakai 1 lapis Ø6mm, 2 lapis Ø6mm dan 3 lapis Ø6mm tulangan geser longitudinal. Semua balok diuji dengan memakai setting beban 2 (dua) titik, dengan

rasio a/d berturut-turut ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0. Mutu beton dipakai 25 MPa. Peralatan pengujian yang digunakan antara lain ; *loading frame* kapasitas 30 ton, *hydraulic jack* kapasitas 50 ton, *Load ceel* kapasitas 30 ton yang dilengkapi dengan *Load indikator* dengan ketelitian pembacaan sampai 1 kg, *dial gauge* ketelitian 0,001 mm. Pengujian balok uji dilakukan dengan memakai loading frame seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Setting Pembebanan Balok dengan two point loading

Pembacaan yang dilakukan pada pengujian adalah data beban yang diberikan setiap kenaikan 250 kg, beban saat retak awal balok, beban saat retak diagonal/geser terjadi, beban saat kondisi ultimit tercapai, serta displacemen pada titik beban (tepi atas dan tepi bawah balok). Pengamatan yang dilakukan adalah pola retak yang terjadi mulai retak awal, retak diagonal sampai beban pasca retak balok. Pengujian balok dilakukan pada setiap variasi penulangan geser longitudinal dengan a/d mulai 0,6 ; 0,8 dan 1,0 dengan pemberian dua titik beban pada balok seperti terlihat pada gambar 3. Selain data tersebut diatas juga dibaca data mengenai regangan yang terjadi melalui strain gauge yang dipasang pada tulangan pokok, sengkang dan tulangan geser longitudinal seperti terlihat pada Gambar 4.

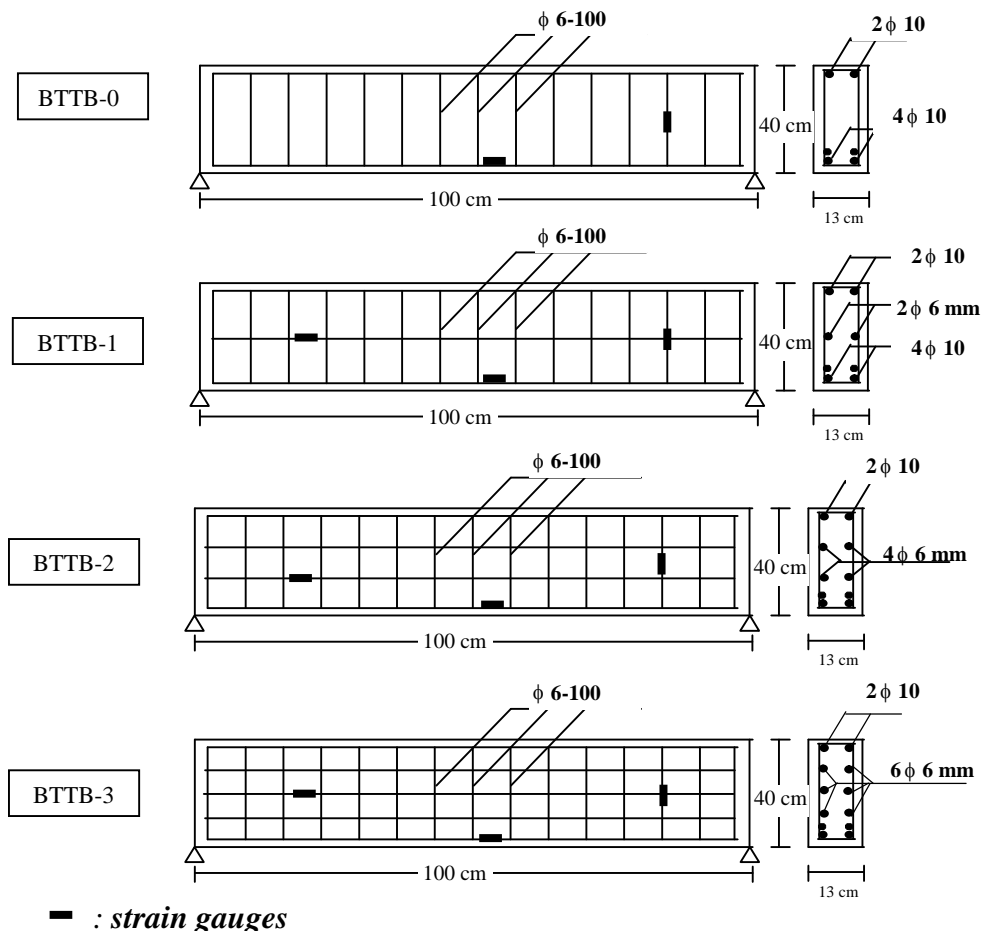
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian dengan sistem *two point loading* terhadap benda uji balok tinggi, diperoleh hasil-hasil berikut, lihat Tabel 1.

### Pengaruh Rasio a/d Terhadap Kapasitas Beban

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, hubungan antara rasio a/d dan kapasitas beban retak yang dapat diterima balok dapat digambarkan seperti pada gambar 5 di bawah ini. Dengan memperhatikan Gambar 5 terlihat bahwa perubahan letak pembebanan berdasarkan rasio a/d memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap besarnya beban *first-crack* yang bisa diterima oleh balok.

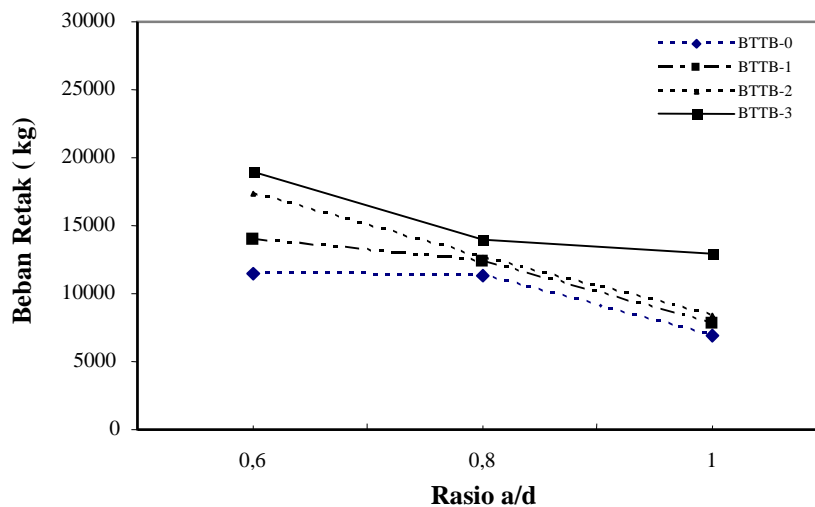
Pada semua type balok yaitu BTTB-0, BTTB-1, BTTB-2 dan BTTB-3 terlihat bahwa semakin besar rasio a/d maka beban *first-crack* yang bisa diterima akan semakin kecil. Pada BTTB-0 penurunan tingkat beban yang bisa diterima balok jika dibandingkan dengan rasio a/d = 0,6 adalah 1,529 % untuk rasio a/d = 0,8 dan 39,799 % untuk rasio a/d = 1. Pada BTTB-1 penurunan tingkat beban yang bisa diterima balok jika dibandingkan dengan rasio a/d = 0,6 adalah 12.049 % untuk rasio a/d = 0,8 dan 44.725 % untuk rasio a/d = 1. Untuk balok dengan 2 lapis tulangan geser longitudinal (BTTB-2) besarnya penurunan beban *first-crack* yang diterima balok adalah 27.563 % untuk a/d = 0,8 dan 51.901%



Gambar 4. Penulangan pada Balok-uji

Tabel 1. Hasil Pengujian pada balok Tinggi

Benda Uji	Jml Tul Geser Long	Rasio (a/d)	Beban (kg)		Regangan Maksimum (x 0,000001)			Lendutan (mm)	
			First crack	Ultimit	Tul. lentur	Geser Long	Senggang	First crack	Ultimit
BTTB-0	0	0.6	11445	16935	251		9094	5.69	2.68
	0	0.8	11270	13340	146		1573	1.74	1.25
	0	1	6890	9635	101		1375	1.34	1
BTTB-1	1	0.6	13985	20210				4.88	2.53
	1	0.8	12300	16850	624	125	1103	6.33	4.17
	1	1	7730	10915				6.82	3.96
BTTB-2	2	0.6	17360	22560				4.62	4.23
	2	0.8	12575	19490	1053	256	742	7.77	4.32
	2	1	8350	14010				5.98	2.48
BTTB-3	3	0.6	18930	24562				8.28	5.18
	3	0.8	13950	24440	1614	347	686	4.25	1.75
	3	1	12920	16610				9.58	5.66



Gambar 5. Hubungan Beban Retak dengan Rasio a/d pada balok tinggi

untuk  $a/d = 1$  jika dibandingkan dengan rasio  $a/d = 0,6$ . Sedangkan pada BTTB-3 penurunan yang terjadi adalah 26.307 % untuk  $a/d = 0,8$  dan 31.749 % untuk rasio  $a/d = 1$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil jarak beban yang diterima balok terhadap tumpuan maka kemampuan balok untuk menerima beban *first-crack* akan semakin besar. Hasil penelitian ini mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Zarraris pada tahun 2003 yang menyatakan bahwa variasi  $a/d$  antara 1 sampai dengan 2.5 dengan system pembebanan *single* dan *double* sangat menentukan kapasitas beban yang mampu diterima balok tinggi.

Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa perubahan letak pembebanan berdasarkan rasio  $a/d$  juga memberikan pengaruh yang sangat signifikan

terhadap besarnya beban ultimit/puncak yang bisa diterima oleh balok. Pada semua type balok yaitu BTTB-0, BTTB-1, BTTB-2 dan BTTB-3 terlihat bahwa semakin besar rasio  $a/d$  maka beban ultimit/puncak yang bisa diterima akan semakin kecil. Pada BTTB-0 penurunan tingkat beban yang bisa diterima balok jika dibandingkan dengan rasio  $a/d = 0,6$  adalah 21.228 % untuk rasio  $a/d = 0,8$  dan 43.106 % untuk rasio  $a/d = 1$ . Pada BTTB-1 penurunan tingkat beban yang bisa diterima balok jika dibandingkan dengan rasio  $a/d = 0,6$  adalah 20.556 % untuk rasio  $a/d = 0,8$  dan 48.538 % untuk rasio  $a/d = 1$ . Untuk balok dengan 2 lapis tulangan geser longitudinal (BTTB-2) besarnya penurunan beban ultimit/puncak yang diterima balok adalah 13.608 % untuk  $a/d = 0,8$  dan 37.899 % untuk  $a/d =$

1 jika dibandingkan dengan rasio  $a/d = 0,6$ . Sedangkan pada BTTB-3 penurunan yang terjadi adalah 0.497 % untuk  $a/d = 0.8$  dan 32.375 % untuk rasio  $a/d = 1$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil jarak beban yang diterima balok terhadap tumpuan maka kapasitas atau kemampuan balok untuk menerima beban ultimit/puncak akan semakin besar.

Dari hasil analisa tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa perubahan rasio  $a/d$  sangat berpengaruh terhadap beban yang dapat diterima oleh balok. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin kecil jarak  $a$  (jarak antara tumpuan dengan titik beban), maka momen lentur yang terjadi akan semakin kecil sehingga tegangan geser yang bekerja akan semakin besar.

### Pengaruh Rasio $a/d$ Terhadap Perilaku Balok Tinggi

Dari grafik hubungan antara besarnya regangan yang terjadi pada tulangan terhadap variasi rasio  $a/d$  (Gambar 7) pada balok tinggi tanpa tulangan geser longitudinal (BTTB-0) terlihat bahwa semakin besar rasio  $a/d$  maka regangan yang terjadi baik pada tulangan pokok maupun sengkang akan semakin berkurang. Hal ini sangat berhubungan erat dengan hasil penelitian mengenai kapasitas beban yang bisa diterima oleh balok dimana semakin besar rasio  $a/d$  maka kapasitas beban baik untuk *first-crack* maupun beban ultimit akan semakin kecil. Karena beban yang diterima semakin kecil maka regangan yang terjadi pada tulangan juga akan semakin kecil.

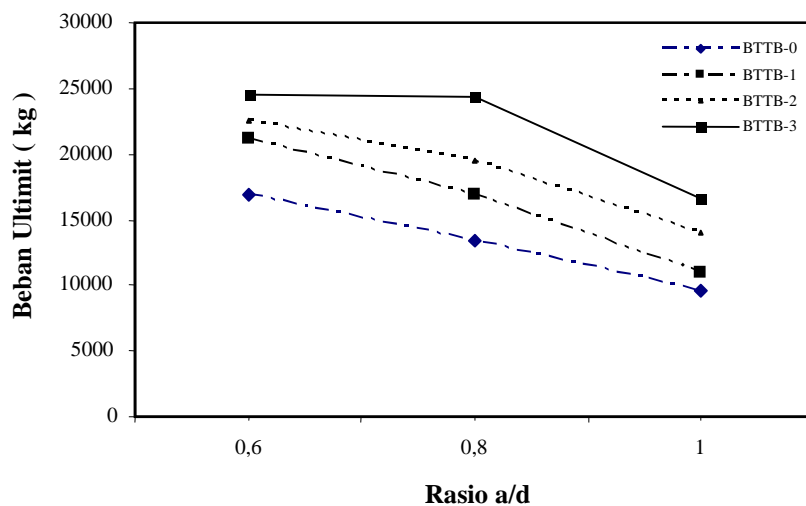
Pada rasio  $a/d = 0,6$  terlihat bahwa regangan yang terjadi pada sengkang sebesar 0.0091 melebihi batasan regangan leleh yang ditentukan yaitu sebesar 0,002. Karena sengkang adalah satu-satunya

perkuatan yang diberikan untuk menerima geser maka seluruh tegangan geser yang terjadi akibat pembebanan akan diterima oleh sengkang. Hal ini menunjukkan bahwa pada balok tinggi dengan rasio  $a/d$  yang makin kecil keruntuhan pada balok lebih dominan kearah keruntuhan geser dibandingkan keruntuhan lentur. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Watanabe, 2002 yang menyatakan bahwa pola keruntuhan balok tinggi sangat tergantung kepada rasio bentang geser terhadap tinggi efektif balok ( $a/d$ ).

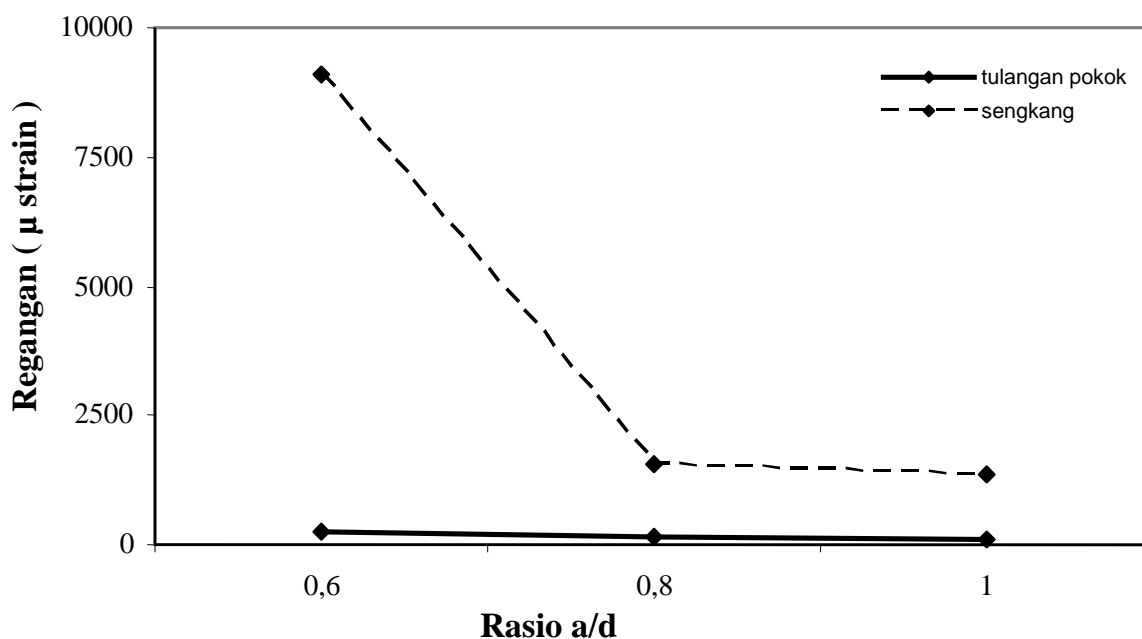
### KESIMPULAN

Perubahan rasio  $a/d$  sangat mempengaruhi tingkat beban yang bisa diterima oleh balok tinggi, baik untuk beban *first-crack* maupun beban ultimit. Semakin kecil nilai rasio  $a/d$  maka beban yang mampu diterima oleh balok akan semakin besar. Besarnya nilai regangan dipengaruhi oleh nilai beban ( $P$ ), baik untuk  $P_u$  dan  $P_{cr}$ , sedangkan nilai  $P$  sendiri tergantung pada besarnya variasi rasio  $a/d$ . Jadi semakin besar rasio  $a/d$  nilai regangan semakin kecil dan sebaliknya. Hal ini berlaku baik regangan pada tulangan pokok maupun regangan pada sengkang.

Rasio  $a/d$  juga sangat menentukan perilaku balok tinggi. Pada rasio  $a/d$  yang kecil, maka keruntuhan yang terjadi akan cenderung bersifat keruntuhan geser. Sebaliknya pada rasio  $a/d$  yang besar, maka keruntuhannya akan lebih dominan bersifat keruntuhan lentur.



Gambar 6. Hubungan Beban Ultimit dengan Rasio  $a/d$  pada balok tinggi



Gambar 7. Hubungan Regangan dan Rasio a/d pada balok tinggi tanpa tulangan geser longitudinal

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas seluruh pembiayaan penelitian ini yang merupakan bagian dari Program Hibah Kompetisi A2, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta untuk Tahun Anggaran 2006 di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2005. *Design of Beams for Shear*. Dept. of Civil Engineering University of Pretoria.  
 Departemen Pekerjaan Umum, 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Yayasan LPMB, Bandung.  
 Leong, C.L., and Tan. K.H., 2003. Proposed Revision on CIRIA Design Equation for Normal and High Strength Concrete Deep Beams. *Magazine of Concrete Research*, Vol.55 Issue.3, pp 267-278.  
 Tan, K.H., C.Y Tang, and K.Tong, 2004. Shear Strength Prediction of Pierced Deep Beams with Inclined Web Reinforcement. *Magazine of Concrete Research*, Vol.56, Issue.8, pp.443-452.

Tan, K.H and Weng, L.W, 1999. High-strength Concrete Deep Beams with Different Web Reinforcement under Combined Loading. *Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, 8-10 December 1999, Sydney.  
 Teng, Susanto., Fung-Kew.K., Soon-Ping. P., Lingwei W.G, and Tan K.H, 1996. Performance of Strengthened Concrete Deep Beams Predamaged in Shear. *ACI Structural Journal*, Vol.93, No.2, March-April 1996, pp159-171.  
 Watanabe, Ken., Mitsuyasu Iwanami, Hiroshi Yokota, and Junichiro Niwa, 2002. Estimation of The Localized Compressive Failure Zone of Concrete by AE Method. *Proceeding of the 1<sup>st</sup> fib Congress*, Osaka, Session 13, October 2002, pp.117-124.  
 Zararis, Prodromos.D., 2003. Shear Compression Failure in Reinforced Concreted Deep Beams. *Journal of Structural Engineering*, Vol.129, No.4, April 2003, pp 544-553.