

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Hasil penelitian disajikan berupa data yang telah dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian dimulai dari data-data bahan yang mencakup pengujian agregat, kawat strimin dan baja tulangan. Pengujian karakteristik beton terdiri dari 2 macam, pertama pengujian beton segar, pengujian yang dilakukan adalah pengujian slump. Kedua pengujian mekanik beton yang meliputi kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser. Data yang dihasilkan dari pengujian di atas adalah : kuat tarik *wire mesh*, kuat tarik baja tulangan dan kuat mekanis beton. Pengujian utama dari penelitian ini adalah pengujian kuat lentur dan kuat geser pada balok beton bertulang, yang terdiri dari 7 model balok. Balok kontrol berjumlah 2 balok dengan kode BN dan TSK, sedangkan 5 balok yang diberi variasi kawat strimin dengan kode TKTS, TKGTS, TSKP, TSKG dan TS50KG. Data yang diperoleh dari pengujian utama adalah beban, lendutan, lebar retak dan panjang retak, sehingga dari data tersebut dianalisa untuk mendapatkan grafik beban-lendutan ($P-\Delta$), grafik momen-kelengkungan ($M-\Phi$), angka kekakuan (k), grafik lebar retak- momen ($w-M$) dan grafik panjang retak- momen ($lc-M$).

5.2 Agregat

Pengujian agregat ini meliputi pasir sebagai agregat halus dan kerikil sebagai agregat kasar. Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Ayakan yang digunakan untuk mengelompokkan pasir ini terdiri dari 6 ayakan. Ayakan ini tersusun secara urut dari lubang 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3 dan 0.15 mm. Hasil pengujian mendapatkan bahwa pasir yang digunakan masuk daerah gradasi II yaitu pasir agak kasar. Sedangkan kerikil yang

digunakan tidak melebihi lubang ayakan 20 mm. Rangkuman data yang lain bisa dilihat pada tabel 5.1 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.1- B.4.

Tabel 5.1 Hasil pengujian Material

Penelitian	Pasir	Kerikil
Modulus halus butir (%)	2,6	6,5
Berat jenis SSD	2,6	2,66
Penyerapan air (%)	3,80	2,80
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	20

5.3 Kuat Tarik Baja

Baja yang digunakan pada pengujian ini adalah baja tulangan polos, terdiri atas 2 baja tulangan yaitu tulangan berdiameter 16 mm dan 6 mm. Pengujian ini menggunakan baja tulangan dengan panjang 50 cm. Hasil rangkuman dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.5.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik baja

No.	Diameter (mm)	Tegangan leleh f_y (MPa)	Tegangan ultimit f_u (MPa)	f_y/f_u (%)
1	6	277,57	393,43	70,55
2	16	359,56	484,72	74,17

Pada umumnya besar tegangan leleh baja (f_y) adalah 60% dari kuat tariknya (f_u). Berdasarkan peraturan perencanaan bangunan baja indonesia (PPBBI) 1983 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja yang dipakai dalam penelitian ini termasuk dalam golongan:

- a) Untuk baja tulangan diameter 6 mm
 1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 6 mm (P6, Ø6mm). Tegangan tarik ultimit (f_u) sebesar 393,43 MPa dan tegangan leleh (f_y) sebesar 277,57 MPa.
 2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 70,55 %.

3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTP 30 dengan batas ulur minimum 294 MPa dan kuat tarik minimum 480 MPa.
- b) Untuk baja tulangan diameter 16 mm
1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 16 mm (P16, Ø16 mm), Tengan tarik ultimit (f_u) sebesar 484,72 MPa dan tegangan leleh, (f_y) sebesar 359,56 MPa.
 2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 74,17 %.
 3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTP 30 dengan batas ulur minimum 294 MPa dan kuat tarik minimum 480 MPa.

5.4 Kuat Tarik Kawat Strimin

Pengujian kuat tarik ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik *wire mesh*. Rangkuman hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan hasil selengkapnya dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran B.6.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik *wire mesh*

No	Jenis kawat strimin	Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	Bentuk persegi	Kawat tunggal	458,08	457,75
2		Kawat ganda	457,43	

Kawat yang digunakan dalam pengujian ini berdiameter 0,9 mm dan berbentuk persegi tegak dengan ukuran 2,54 x 2,54 cm. Dari 3x Pengujian untuk kawat tunggal didapatkan beban tarik rata-rata sebesar 458,08 MPa dan tegangan tarik rata-rata sebesar 457,75 MPa. Kawat jala ini mudah dibentuk, tetapi pertemuan antara dua kawat yang bersilangan merupakan bagian yang lemah akibat las yang tidak baik. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa kawat jala yang dibuat dari kawat berkekuatan tinggi lebih cenderung luluh daripada jenis

kawat lain, ketika sambungan mendapat beban. Untuk kontur konstruksi yang lengkung, kawat jala ini lebih sukar untuk digunakan. Kecenderungan tertekuk atau patah lebih banyak daripada kawat lain (Anshori dkk., 2001).

5.5 Slump

Pengujian slump merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran adukan beton. Nilai slump menandakan kepadatan dan atau kecairan campuran beton. Nilai slump ini berpengaruh pada kuat desak beton dan kemudahan dalam pengerjaan, bila nilai slump kecil berarti adukan beton memiliki kuat desak yang tinggi tetapi sulit dalam pengerjaannya karena kurangnya air. Nilai slump dalam pengujian ini diambil seketika sebelum dimasukkan ke dalam cetakan beton. Standar Inggris membuat persyaratan bahwa slump dari contoh bahan beton di lapangan harus diukur seketika setelah pengambilan contoh bahan uji (Murdock dan Brook, 1999). Berdasarkan PBI, 1971 menetapkan bahwa nilai slump untuk pelat, kolom, balok dan dinding sebesar 7,5 sampai 15 cm, nilai slump yang diperoleh untuk benda uji balok beton bertulang ini adalah 12 cm. Dengan nilai slump tersebut pelaksanaan benda uji lebih mudah dikerjakan, karena tidak terlalu kental. Alat yang dipakai dalam pengujian slump adalah: besi tulangan yang mempunyai diameter 16 mm. Besi tulangan digunakan untuk menusuk-nusuk campuran beton yang berada di dalam kerucut abrams , sehingga mengisi tempat yang masih kosong dan beton tersebut menjadi lebih padat.

5.6 Sifat Mekanik Beton

Hasil rangkuman dari pengujian sifat mekanis beton dapat dilihat pada tabel 5.4 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.1-D.5

Tabel 5.4 Hasil Pengujian sifat mekanik beton

No	Sifat-sifat mekanik beton keras	Nilai	Persentase terhadap kuat desak (%)
		(MPa)	
1	Kuat desak (f'_c)	30,908	100
2	Kuat lentur (f_t)	5,44	17,60
3	Kuat tarik belah (f_t)	3,19	10,32
4	Kuat geser (f_{sh})	4,73	15,30

5.6.1 Kuat Desak Beton

Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Kuat desak beton secara umum memang cukup besar, sifat inilah yang paling menonjol pada beton. Hasil pengujian kuat desak silinder beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.1.

Mutu beton sendiri dibedakan menjadi tiga yaitu (PBI 1971) :

- a. Beton mutu rendah $f'_c < 125 \text{ kg/cm}^2$ (12,259 MPa)
- b. Beton mutu sedang $125 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c < 225 \text{ kg/cm}^2$
- c. Beton mutu tinggi $f'_c \geq 225 \text{ kg/cm}^2$ (22, 065 MPa)

Pada hasil pengujian kuat desak didapat kuat desak rata-rata 30,908 MPa lebih besar dari yang direncanakan yaitu sebesar 20 MPa dari pengujian 30 sampel, kalau melihat dari PBI 1971 beton hasil pengujian merupakan beton mutu tinggi. Hal ini akan berpengaruh terhadap perancangan kapasitas balok uji beton bertulang. Namun kapasitas balok dihitung berdasarkan data aktual baik kuat tekan beton maupun tegangan leleh baja.

5.6.2 Kuat Geser Beton

Jumlah benda uji sebanyak 17 buah, benda uji menggunakan cetakan balok ukuran 100 x 100 x 200 (mm). Dari hasil pengujian, nilai kuat geser beton rata-rata sebesar 4,726 MPa, nilai ini hanya 15,30 % dari kuat tekannya. Hasil pengujian kuat lentur beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.3.

5.6.3 Kuat Lentur Beton

Jumlah benda uji sebanyak 10 buah, Dari hasil pengujian, nilai kuat lentur beton rata-rata sebesar 5,47 MPa dan nilai ini hanya 17,6 % dari kuat tekannya. Benda uji menggunakan cetakan balok berukuran 100 x 100 x 400 (mm). Hasil pengujian kuat lentur beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.4.

5.6.4 Kuat Tarik Belah Beton

Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 7 buah, benda uji menggunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Dari hasil pengujian 7 silinder didapatkan kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,187 MPa, nilai ini hanya 10,32 % dibandingkan dengan kuat desaknya.. Hasil pengujian kuat tarik belah silinder beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.5.

5.7 Balok Beton Bertulang

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kuat lentur dan kuat geser yang dimiliki oleh tiap model balok. Pengujian ini membahas antara lain: hubungan beban dan lendutan ($P-\Delta$), hubungan momen dan kelengkungan ($M-\Phi$), analisa kekakuan, analisa daktilitas, hubungan lebar retak dan momen ($w-M$) dan hubungan panjang retak dan momen ($lc-M$).

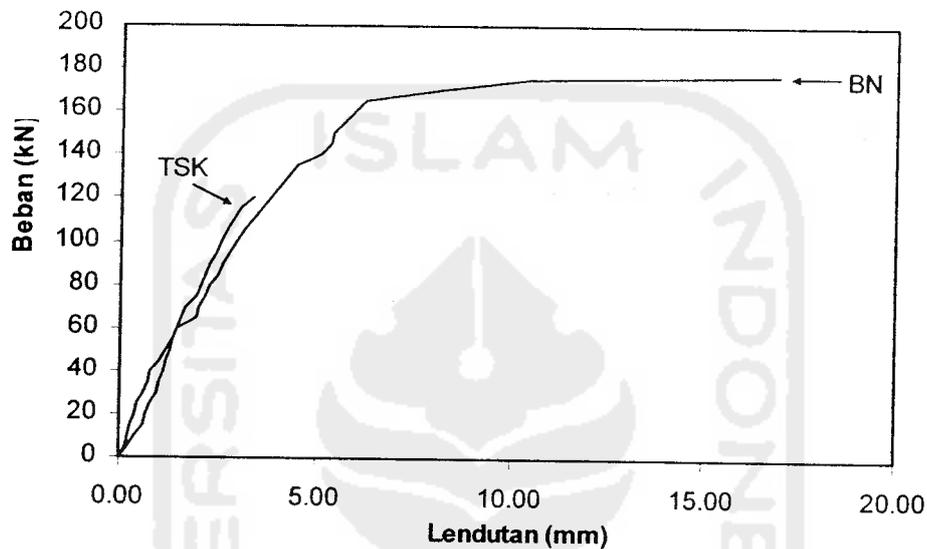
5.7.1 Hubungan Beban Dan Lendutan

Hubungan beban dan lendutan penelitian didapat dari pengujian kuat lentur menggunakan 3 buah *LVDT* yang masing-masing ditempatkan pada balok. *LVDT* 1 dan *LVDT* 3 ditempatkan di bawah 2 beban titik balok dan *LVDT* 2 pada tengah balok. Setelah itu dihubungkan dengan *data logger*, *data logger* juga digunakan untuk pembacaan beban tiap kenaikan sebesar 5 kN dan menghasilkan data berupa lendutan dan beban.

Dengan mengamati grafik hubungan beban dan lendutan pada 7 model balok. Perilaku kuat lenturnya hampir sama, mulai dari ujung sampai ke tengah bentang. Pada pembebanan awal kurva masih tampak linier, kemudian sampai

titik leleh (f_y) kurva mulai tampak datar. Pembebanan terus diberikan, kurva masih datar karena beban tidak meningkat lagi sedangkan lendutan mengalami peningkatan.

1. Hubungan antara balok kontrol BN dan TSK

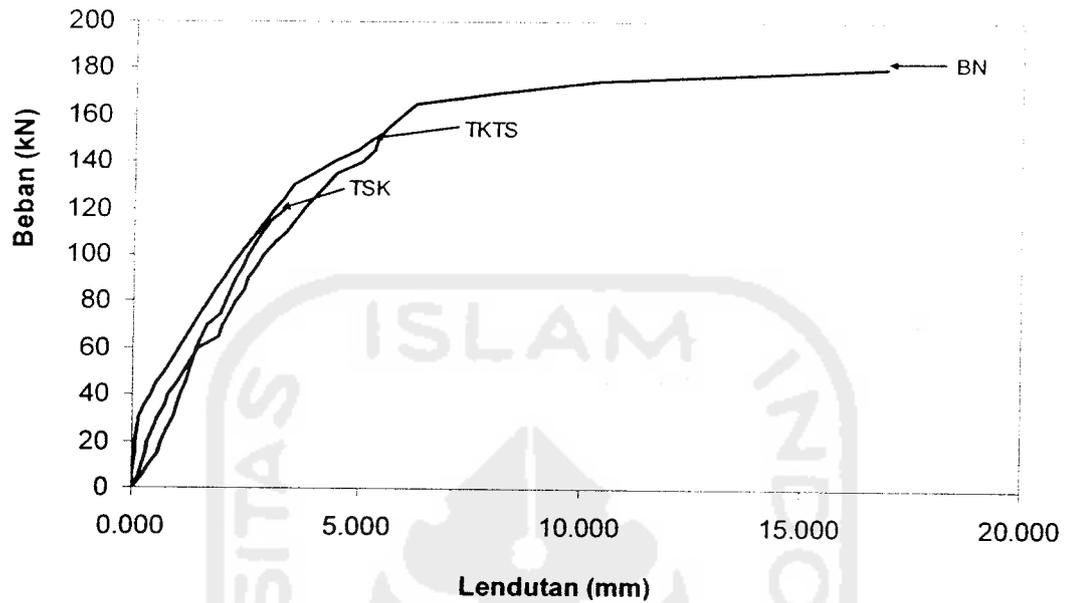


Gambar 5.1 Grafik hubungan beban – lendutan balok BN dan TSK

Dari gambar grafik di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok BN dan balok TSK. Balok BN adalah balok kontrol dengan sengkang penuh tanpa kawat strimin. balok ini dapat menahan beban lentur dan geser jauh lebih besar dibandingkan balok TSK, dimana balok ini tidak menggunakan kawat strimin dan sengkang. Balok BN mempunyai lendutan lebih besar dari balok TSK dengan demikian balok BN memiliki daktilitas lebih besar dibanding balok TSK. Karena pada balok BN terdapat sengkang yang menyebabkan balok kuat dalam menahan lentur maupun geser, bila dibandingkan balok TSK yang tidak memakai sengkang. Penggunaan sengkang pada balok mampu meningkatkan kekuatan dan juga balok menjadi lebih *ductile* (liat).

2. Hubungan antara balok kontrol (BN dan TSK) dan balok kawat strimin

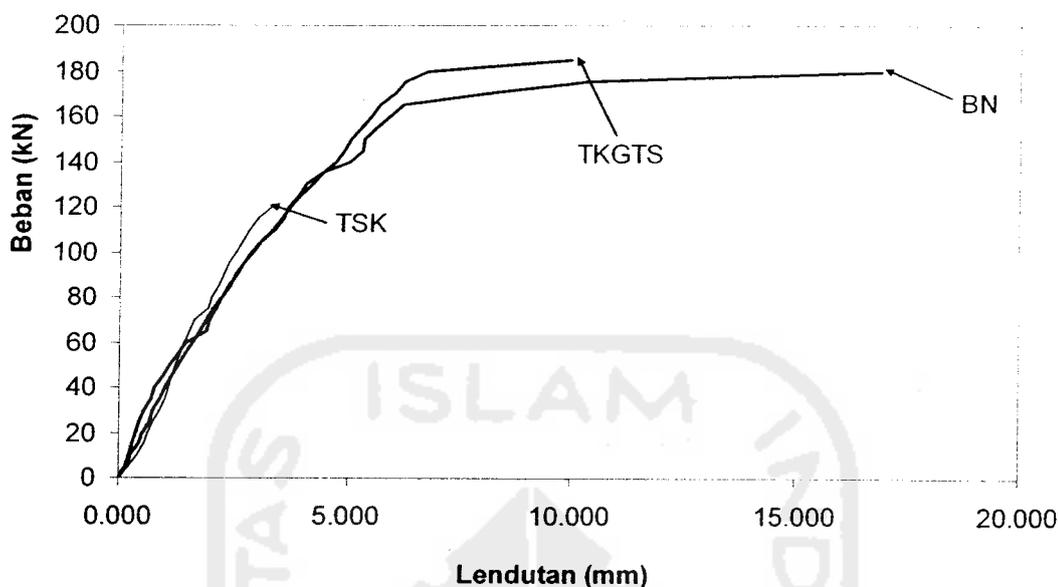
2.1 Hubungan antara balok kontrol dan balok TKTS



Gambar 5.2 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TKTS

Dari gambar 5.2 di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TKTS. Balok TKTS merupakan balok kawat strimin (tegak) 1 lapis tanpa sengkang. Kemampuan balok TKTS dibanding balok TSK, kekuatan maupun daktilitasnya mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan balok TKTS menggunakan strimin sehingga dalam menahan lentur maupun geser lebih besar dibanding balok TSK. Sedangkan dibandingkan balok BN, balok TKTS kekuatan maupun daktilitasnya lebih kecil. Karena pengaruh kawat strimin belum dapat menggantikan peran sengkang dalam menahan lentur dan geser sehingga kekuatan balok lebih kecil dari balok BN. Balok TKTS mempunyai lendutan lebih kecil dari balok BN sehingga balok tersebut bersifat lebih getas dari balok BN. Penggunaan kawat strimin pada balok TKTS belum dapat memperbaiki kekuatan maupun daktilitas terhadap balok BN.

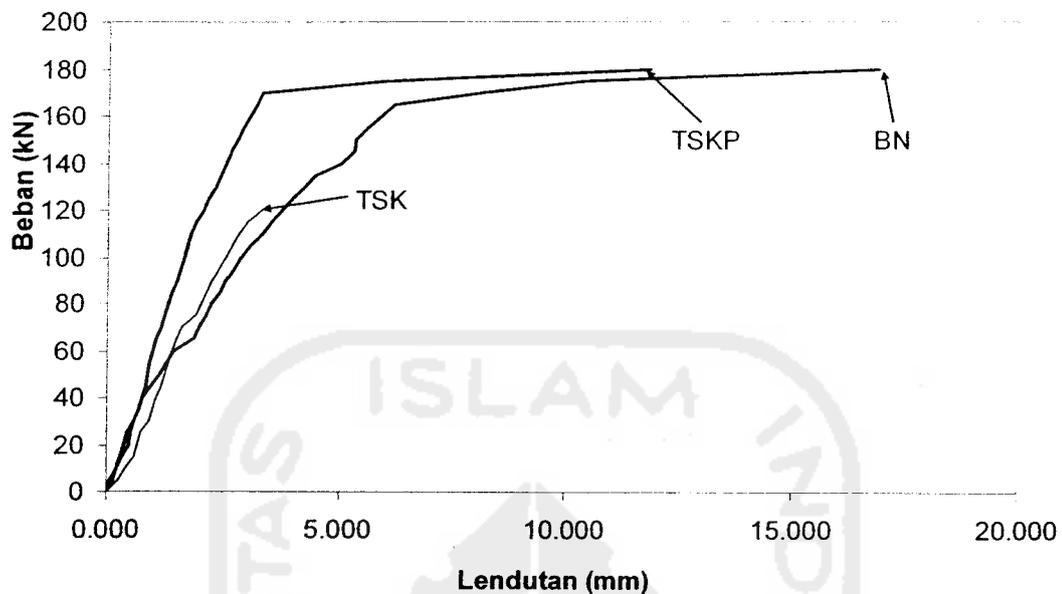
2.2 Hubungan antara balok kontrol dan balok TKGTS



Gambar 5.3 Grafik hubungan beban – lendutan balok kontrol dan balok TKGTS

Dari gambar 5.3 di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TKGTS. Balok TKGTS merupakan balok kawat strimin (tegak) 1 lapis pada daerah geser tanpa sengkang. Balok TKGTS mengalami peningkatan kekuatan maupun daktilitasnya dibandingkan balok TSK. Hal ini disebabkan balok TKGTS kuat dalam menahan geser, sehingga balok TKGTS lebih kuat dibanding balok TSK yang bersifat getas. Dibanding dengan balok BN kekuatannya relatif sama besar, namun memiliki lendutan yang lebih kecil. Karena balok TKGTS tidak menggunakan sengkang, sehingga bersifat kurang lentur dan lebih getas. Dengan demikian penggunaan kawat strimin belum dapat menggantikan peran sengkang dalam meningkatkan kuat geser dan daktilitas bila dibanding balok BN.

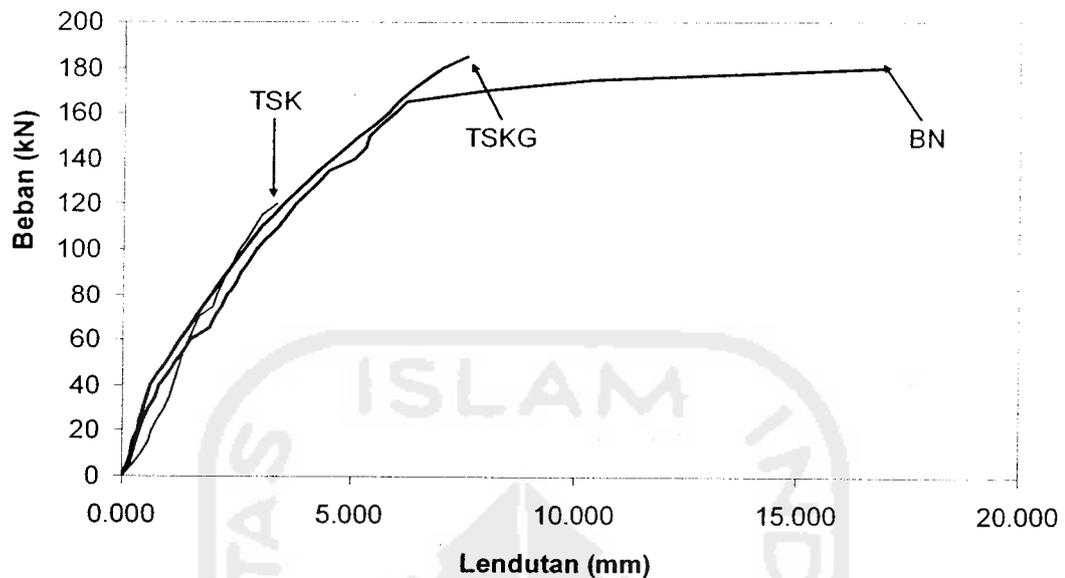
2.3 Hubungan antara balok kontrol dan balok TSKP



Gambar 5.4 Grafik hubungan beban – lendutan balok kontrol dan balok TSKP

Dari gambar 5.4 di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TSKP. Balok TSKP merupakan balok dengan sengkang dan kawat strimin (tegak) penuh. Balok ini, mengalami peningkatan kekuatan dan daktilitasnya dibanding balok TSK. Hal ini disebabkan balok TSKP menggunakan sengkang dan strimin sehingga balok tersebut lebih *ductile* (liat). Balok TSKP kekuatannya relatif sama dengan balok BN namun lendutannya lebih kecil, sehingga balok tersebut bersifat kurang *ductile* (liat). Hal ini disebabkan penggunaan kawat strimin dan sengkang penuh pada balok TSKP kuat dalam menahan geser, sehingga balok menjadi lemah pada daerah lenturnya.

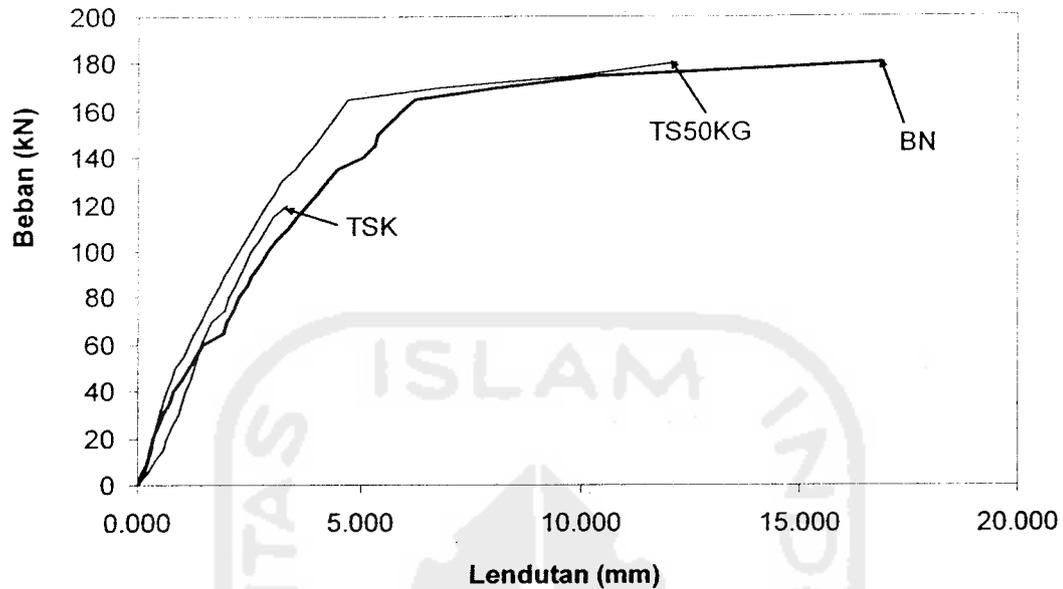
2.4 Hubungan antara balok kontrol dan balok TSKG



Gambar 5.5 Grafik hubungan beban – lendutan balok kontrol dan balok TSKG

Dari gambar 5.5 di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TSKG. Balok TSKG merupakan balok dengan sengkang dan kawat strimin (tegak) 1 lapis pada daerah geser, jadi balok ini menggunakan sengkang dan kawat strimin hanya pada daerah geser saja. Balok ini mengalami peningkatan kekuatan dan lendutannya, sehingga balok TSKG bersifat lebih *ductile* (liat) dibanding balok TSK. Hal ini disebabkan balok TSKG menggunakan strimin pada daerah geser dan sengkang, sehingga balok tersebut lebih kuat dalam menahan kuat geser. Balok TSKG kekuatannya relatif sama besar dengan balok BN, namun lendutannya lebih kecil. Karena balok TSKG dirancang untuk memperkuat daerah geser, sehingga balok lemah dalam menahan lentur. Peran strimin dan sengkang pada daerah geser mampu meningkatkan kekuatan pada daerah geser, sehingga balok menjadi lemah menahan lentur.

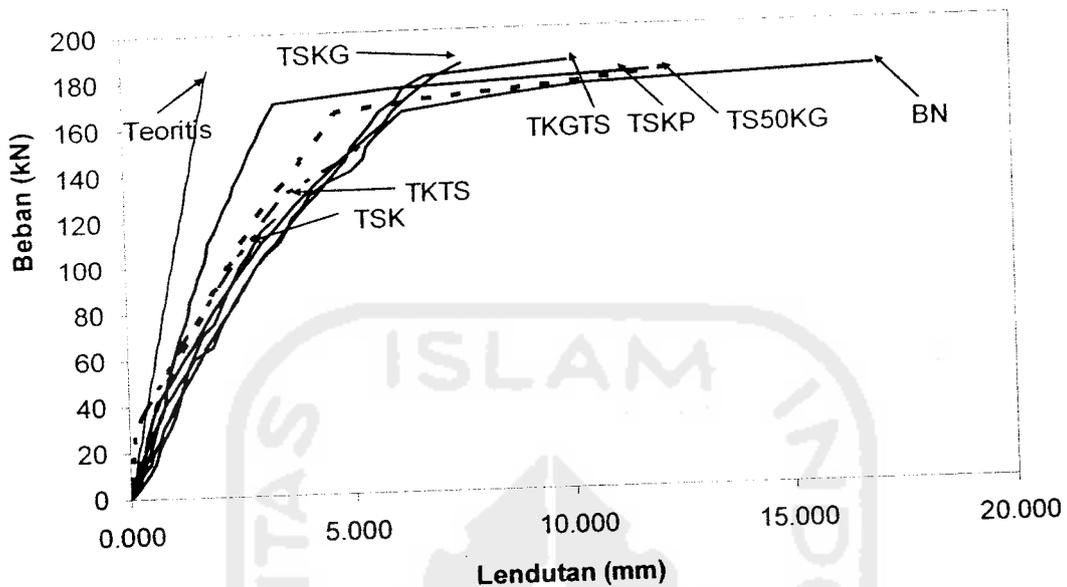
2.5 Hubungan antara balok kontrol dan balok TS50KG



Gambar 5.6 Grafik hubungan beban – lendutan balok kontrol dan balok TS50KG

Dari gambar 5.6 di atas dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TS50KG. Balok TS50KG merupakan balok dengan 50% sengkang dan kawat strimin (tegak) 1 lapis pada daerah geser, jadi balok ini menggunakan sengkang dengan jumlah setengahnya dan kawat strimin hanya pada daerah geser saja. Balok ini mengalami peningkatan kekuatan dan lendutan dibanding balok TSK. Sehingga balok TS50KG lebih kuat dalam menahan geser, karena pengaruh kawat strimin dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser. Sedangkan dibanding balok BN kekuatan relatif sama, namun lendutan yang terjadi pada balok TS50KG lebih kecil. Karena pengaruh strimin dan pengurangan 50% pada daerah geser dapat memperbaiki balok agar lebih kuat di daerah geser, sehingga balok lemah dalam menahan lenturnya.

2.6 Hubungan antara balok kawat strimin dan teoritis.



Gambar 5.7 Grafik hubungan antara balok kawat strimin dan teoritis

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa penempatan kawat strimin tegak 1 lapis sebagai pengganti sengkang tidak efektif dibandingkan terhadap balok BN karena tidak memperbaiki kekuatan balok secara signifikan. Perhitungan beban-lendutan secara teoritis ditunjukkan dengan garis linier yang naik, ini terjadi karena dalam lendutan teoritis yang berpengaruh adalah bebannya sehingga bila beban yang terjadi pada balok itu besar, maka lendutannya akan besar pula. Garis lendutan yang terjadi secara linier, artinya balok masih bersifat elastis penuh karena tidak meninjau retak yang terjadi pada balok sehingga lendutannya kecil. Pada grafik terlihat bahwa lendutan yang terbesar adalah balok BN, hal ini menjelaskan balok tersebut mempunyai daktilitas yang besar dibanding balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang. Sedangkan dibanding balok TSK, balok yang menggunakan kawat strimin dan sengkang mengalami peningkatan baik kekuatannya maupun lendutannya. Hal ini disebabkan balok TSK tidak pakai sengkang dan strimin, sehingga balok tersebut lebih getas dibanding balok yang menggunakan sengkang dan kawat strimin.

5.7.2 Hubungan Momen Dan Kelengkungan

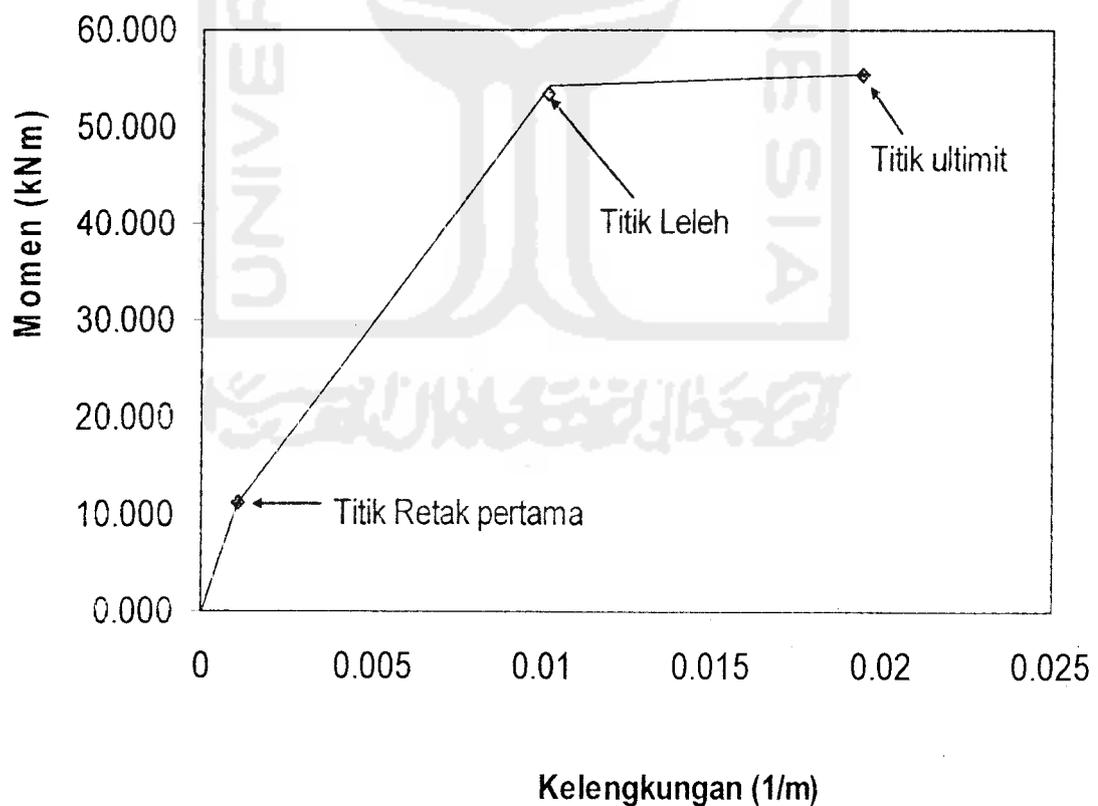
1. Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

Perilaku struktur yang mengalami lentur dapat diketahui dari hubungan momen-kelengkungan yang menggambarkan perilaku balok pada berbagai kondisi yaitu: saat kondisi sebelum retak, setelah retak pada saat leleh pertama dan setelah retak pada saat beban maksimum (ultimit).

Dari hasil perhitungan momen-kelengkungan pada balok tipe BN (Lampiran G.8), diperoleh data sebagaimana diperlihatkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.8 berikut.

Tabel 5.5 Hubungan momen-kelengkungan teoritis

Mrt (kNm)	Φ_{rt} (1/m)	M_y (kNm)	Φ_y (1/m)	M_u (kNm)	Φ_u (1/m)
11.284	0,00106	53.331	0,01011	55.418	0,0194



Gambar 5.8 Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.8 didapatkan bahwa saat kondisi sebelum retak pertama momen yang terjadi sebesar 11,284 kNm dengan kelengkungan 0,00106 1/m. Saat kondisi leleh pertama momen yang terjadi sebesar 53,331 kNm dengan kelengkungan 0,01011 1/m, sedangkan saat kondisi balok telah mencapai beban maksimum momen yang terjadi sebesar 55,418 kNm dengan kelengkungan 0,0194 1/m. Maka dari grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis, sebelum terjadi retak pertama garis bersifat elastis penuh. Setelah terjadi retak pertama sampai titik leleh garis tetap elastis meskipun tidak elastis penuh. Dan sebelum terjadi titik ultimit garis menjadi landai.

2. Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian

Hubungan momen-kelengkungan ($M-\Phi$) penelitian dapat dicari setelah hubungan beban-defleksi ($P-\Delta$) didapatkan dari hasil pengujian kuat lentur balok beton. Peningkatan kelengkungan terjadi bila momen bertambah besar atau faktor kekakuan mengecil, kejadian ini digunakan untuk menentukan kuat lentur balok beton. Kelengkungan balok beton diturunkan dari data perpindahan dengan pendekatan *finite difference method*. Dari data pembacaan *LVDT* dapat dicari momen dan kelengkungan.

Momen lentur (M) pada pengujian balok dihitung dengan persamaan 3.28. Sedangkan Kelengkungan (Φ) dapat dihitung dengan persamaan 3.45. Sehingga diperoleh hubungan momen-kelengkungan sebagaimana diperlihatkan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Hubungan momen-kelengkungan pengujian dan teoritis

Tipe balok	Momen (kNm)	Φ pengujian (1/m)	$\Phi_{\text{peng.}}/\Phi_{\text{teori}}$	Rasio Φ peng. Terhadap BN (%)
BN	49,56	0,06411	3,305	100
TSK	33,6	0,00822	0,424	13
TKTS	42	0,02611	1,346	41
TKGTS	51,8	0,06944	3,579	108
TSKP	50,4	0,16422	8,465	256
TSKG	51,8	0,02367	1,220	37
TS50KG	50,4	0,04922	2,537	77

Dari Tabel 5.6 dapat diketahui bahwa pada balok tipe TSK nilai momennya hanya sebesar 33.6 kNm dan kelengkungan 0,00822 1/m. Nilai ini lebih kecil daripada balok tipe BN, sehingga perbandingan kelengkungan antara balok TSK dan balok BN sebesar 13 %. Hal ini disebabkan balok TSK tidak menggunakan sengkang sehingga kekuatan lentur dan gesernya relatif kecil.

Untuk balok tipe TKGTS dan TSKP momen dan kelengkungan yang terjadi lebih besar dari balok BN, sehingga nilai kelengkungan meningkat 8 % dan 156 % dari balok BN. Hal ini disebabkan pemberian kawat strimin persegi 1 lapis pada daerah geser mampu menahan kekuatan geser pada balok TKGTS, sedangkan pada balok TSKP disebabkan karena penggunaan sengkang dan kawat strimin sehingga kekuatan lentur dan gesernya besar.

Untuk balok tipe TSKG dan TS50KG momen yang terjadi lebih besar dari balok BN tetapi nilai kelengkungan lebih kecil dari balok BN, sehingga perbandingan kelengkungan terhadap balok BN sebesar 37 % dan 77 %. Ini artinya penggunaan kawat strimin dengan sengkang pada daerah geser saja dan pemberian kawat strimin dengan 50 % sengkang pada daerah geser sangat efektif untuk memperkuat lentur dan geser balok.

Untuk balok tipe TKTS nilai momen yang terjadi lebih kecil dari balok tipe BN, begitu pula dengan kelengkungan yang terjadi lebih kecil. Sehingga rasio kelengkungannya terhadap balok BN sebesar 41 %. Hal ini disebabkan balok TKTS tidak menggunakan sengkang tetapi hanya diberi kawat strimin sehingga kekuatan lentur dan gesernya kecil.

5.7.3 Analisa Kekakuan Dan Faktor Kekakuan

Kekakuan balok (k) diketahui dari nilai banding beban leleh (P_y) dan lendutan leleh (Δy). Kekakuan pada balok juga dapat diamati dari sudut kemiringan balok setelah diberi beban, semakin besar sudut kemiringan yang dibentuk maka semakin kaku balok tersebut. Nilai-nilai kekakuan untuk semua balok disajikan pada Tabel 5.7.

Faktor kekakuan (EI) merupakan besaran yang menggambarkan besarnya nilai kekakuan elemen lentur. Besarnya EI dipengaruhi oleh kondisi dukungan

yang akan menentukan derajat pengeangan, mutu bahan (E) dan geometri penampang (I). Jika mutu pengerjaan buruk maka kualitas atau mutu akan turun dan mempengaruhi modulus elastis dan kekuatan tariknya, yang akhirnya retak awal dan faktor kekakuan akan menurun. Nilai-nilai faktor kekakuan semua balok dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Analisa kekakuan balok

Model Balok	Beban (P_y)	Lendutan (Δy)	Kekakuan ($P_y/\Delta y$)	Rasio Kekakuan Terhadap BN	Faktor Kekakuan (EI), M_y/Φ_y	Rasio EI Terhadap BN
	(kN)	(mm)	(kN/mm)	(%)	(KNm ²)	(%)
BN	165	6,62	24,924	100	3353,172	100
TSK	70	1,75	40,000	160	2450,000	73
TSKP	170	5,67	29,982	120	4044,444	121
TKTS	130	3,78	34,392	138	1744,548	52
TSKG	160	6,34	25,237	101	610,256	18
TKGTS	180	7,6	23,684	95	2371,625	71
TS50KG	165	5,32	31,015	124	2223,292	66

Dari Tabel 5.7 dapat diamati bahwa kekakuan yang terbesar terjadi pada balok tipe TSK dengan nilai kekakuan sebesar 40,000 kN/mm, sedangkan rasio kekakuan terhadap balok BN sebesar 160 %. Nilai ini mengalami kenaikan sebesar 60 % dari kekakuan balok BN, hal ini disebabkan oleh lendutan (sebagai pembagi) pada balok ini sangat kecil dan balok telah mengalami runtuh geser secara tiba-tiba/getas sebelum mencapai lendutan maksimum.

Pada balok tipe TKGTS kekakuan yang terjadi lebih rendah 5 % dari balok BN, sementara beban leleh (P_y) mengalami kenaikan 15 kN terhadap balok BN. Hal ini disebabkan oleh pemberian kawat strimin sebagai pengganti sengkang, dengan demikian balok dengan kawat strimin persegi 1 lapis tanpa sengkang di daerah geser memiliki kemampuan yang setara dengan balok menggunakan sengkang (BN).

Pada balok tipe TSKG kekakuan yang terjadi lebih tinggi 1 % dari balok BN, sementara beban leleh (P_y) mengalami penurunan 5 kN terhadap balok BN.

Hal ini disebabkan karena kawat strimin belum bekerja secara maksimal untuk menahan gaya geser dan memperbaiki kekuatan pada balok, dengan demikian balok dengan menggunakan sengkang dan kawat strimin persegi 1 lapis dipasang di daerah geser memiliki kemampuan yang setara dengan balok menggunakan sengkang (BN).

Pada balok tipe TKTS, TSKP dan TS50KG nilai kekakuan yang diperoleh mengalami peningkatan sebesar 38 %, 20 % dan 24 %, sementara nilai P_y bervariasi dan nilai lendutan yang lebih kecil dari balok BN. Dengan demikian pemberian kawat strimin pada balok dapat meningkatkan kekakuan balok itu sendiri.

Faktor kekakuan (EI) balok suatu besaran yang selalu dipakai pada analisis struktur statis-tak-tentu atau dalam menghitung lendutan balok/kolom. Nilai faktor kekakuan adalah berbanding terbalik dengan nilai kekakuan yang didapat, dari Tabel 5.7 memperlihatkan nilai EI masing-masing tipe balok. Balok tipe TSKP memiliki nilai faktor kekakuan yang lebih tinggi daripada balok BN sebesar 21 %, sedangkan balok tipe TSK, TKTS, TSKG, TKGTS dan TS50KG mengalami penurunan faktor kekakuan sebesar 27 %, 48 %, 82 %, 29 % dan 34%.

5.7.4 Analisa Daktilitas Simpangan Dan Daktilitas Kelengkungan

Daktilitas simpangan merupakan nilai banding antara lendutan pada saat lendutan ultimit dengan lendutan pada beban leleh pertama, dikenal sebagai simpangan daktilitas. Daktilitas juga dapat ditentukan dari data kelengkungan dengan kondisi sama dengan lendutan dan dikenal sebagai daktilitas kelengkungan. Hasil analisis kedua daktilitas dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Analisa daktilitas balok

Model Balok	Daktilitas simpangan	Persentase terhadap BN	Daktilitas Kelengkungan	Persentase terhadap BN
	Δ_u/Δ_v	(%)	Φ_u/Φ_y	(%)
BN	2,844	100	4,653	100
TSK	2,040	72	1,028	22
TKTS	1,601	56	2,901	62
TKGTS	1,587	56	2,404	52
TSKP	2,959	104	2,105	45
TSKG	1,301	46	1,253	27
TS50KG	2,570	90	2,369	51

Dari Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa tingkat daktilitas simpangan yang lebih besar terhadap balok BN hanya terjadi pada balok TSKP, kenaikan daktilitas simpangannya sebesar 4 %. Hal ini disebabkan pada beban ultimit balok tersebut mengalami lendutan yang besar dibandingkan dengan balok BN, dengan demikian pemberian kawat strimin persegi 1 lapis meningkatkan kekakuan dan kekuatan pada balok tersebut. Sedangkan untuk TSK daktilitas lebih rendah dari balok BN, karena pada balok ini tidak menggunakan sengkang sehingga perkuatan pada daerah geser tidak ada. Lendutan akibat lenturan yang terjadi masih relatif kecil dan kegagalan balok terjadi pada daerah geser maka balok TSK termasuk daktilitas rendah.

Dari daktilitas kelengkungan, ternyata yang paling besar terjadi pada balok BN dibanding balok dengan kawat strimin. Sehingga diasumsikan kawat strimin pada balok belum bekerja secara maksimal.

5.7.5 Kapasitas Penampang

Kapasitas momen nominal balok pada pengujian ini sebesar 55,314 MPa, dimana rasio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok (ρ) diperoleh sebesar 0,01301. Nilai ini lebih kecil dari 75% rasio tulangan seimbang (ρ_b) yaitu: 0,03859, tidak terlalu kecil tetapi dekat dengan nilai 75%. Ini berarti daktilitas balok yang terjadi tidak terlalu rendah.

Tabel 5.9 Kapasitas penampang

Tipe balok	Kapasitas momen teoritis. M_n (MPa)	Momen Nominal hasil uji. M_n (MPa)	Persentase terhadap M_n teoritis (%)	Persentase terhadap BN (%)
TSK	55,314	33,6	60,74	67,80
BN	55,314	49,56	89,60	100,00
TKTS	55,314	42	75,93	84,74
TKGTS	55,314	51,8	93,65	104,52
TSKP	55,314	50,4	91,12	101,7
TSKG	55,314	51,8	93,65	104,52
TS50KG	55,314	50,4	91,12	101,7

Dari Tabel 5.9 dapat diamati bahwa penggunaan kawat strimin persegi 1 lapis tidak memberikan kapasitas momen hasil uji (M_n) lebih besar dibanding M_n teoritisnya, namun penggunaan kawat strimin memberikan peningkatan 1-4 % terhadap balok BN. Balok yang mengalami peningkatan yaitu balok TKGTS, TSKP, TSKG dan TS50KG. Sedangkan pada tipe balok TKTS persentase M_n mengalami penurunan sebesar 16 %. Hal ini disebabkan oleh kemampuan maksimum kawat strimin persegi 1 lapis belum tercapai tetapi kekuatan maksimum beton sudah terlampaui, kegagalan balok terjadi karena kelemahan betonnya sehingga momen yang dicapai balok relatif kecil dibanding balok BN.

5.7.6 Analisa Geser Balok

1 Kapasitas Geser Pada Retak Miring Pertama

Nawy (1985) menyatakan bahwa sebuah balok beton bertulang yang ditumpu sederhana diberi beban eksternal akan mengalami momen lentur sekaligus geser, semakin dekat ke perletakan, momen lentur semakin berkurang sedangkan geser semakin bertambah. Dengan bertambahnya beban pada balok, tegangan-tegangan pada penampang juga akan meningkat, sehingga timbul retak lentur vertikal pada daerah yang memikul momen yang besar sedang retak diagonal / miring terjadi pada daerah dimana bekerja gaya geser yang besar.

Untuk mengetahui beban retak miring pertama digunakan dengan cara pengamatan yaitu pengamatan secara langsung dengan mengamati pola retak yang terjadi. Berdasarkan pola retak yang dilukiskan pada gambar 5.8-5.18 dapat diamati retak miring pertama yang terjadi dari kelanjutan retak lentur. Sebagai pedoman untuk menentukan retak miring pertama yaitu retak miring pertama yang membentuk sudut 45° atau lebih kecil terhadap sumbu horisontal dan terjadi masih di bawah garis netral, sehingga pengamatan retak miring pertama dipusatkan pada retak lentur yang telah merambat mendekati garis netral. Dari gambar pola retak secara umum seluruh balok memiliki pola retak yang hampir sama yaitu permulaan retak berupa retak lentur kemudian dilanjutkan retak miring dan lokasi daerah retak dekat kedua tumpuan, sehingga terdapat dua lokasi retak yang diamati yaitu daerah lentur dan daerah geser. Daerah lentur adalah daerah diantara dua titik pusat beban, sedangkan daerah geser diantara titik tumpuan dan titik pusat beban. Kapasitas geser pada retak miring pertama menggambarkan kekuatan beton dalam menahan geser, sedangkan momen nominal menggambarkan balok pada saat sudah runtuh. Hasil pengamatan dari kapasitas geser pada retak miring pertama dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Momen retak miring pertama dan nominal

Tipe balok	Momen retak miring pertama (kNm)	Momen Nominal, M_n (kNm)	Persentase terhadap momen nominal (%)
BN	29,4	49,56	59,322
TSK	23,8	33,6	70,833
TKTS	16,8	42	40
TKGTS	19,6	51,8	37,838
TSKP	14	50,4	27,778
TSKG	16,8	51,8	32,432
TS50KG	16,8	52,6	33,333

Dari Tabel 5.10 dapat diamati bahwa retak miring pertama tiap balok bervariasi akibat dari penggunaan kawat strimin persegi 1 lapis. Pada tipe balok BN retak miring pertama baru terjadi pada momen 29,4 kNm, sementara momen nominal terjadi pada 49,56 kNm. Untuk tipe balok TKTS, TSKG dan TS50KG retak miring pertama sama-sama terjadi pada momen 16,8 kNm, sedangkan momen nominalnya bervariasi yaitu sebesar: 42 kNm, 51,8 kNm dan 52,6 kNm. Pada balok TSKG dan TS50KG momen nominalnya lebih besar dibandingkan balok BN, sedangkan balok tipe TKTS momen nominalnya lebih kecil yaitu sebesar 42 kNm. Tetapi nilai ini lebih besar dibanding dengan balok TSK, hal ini disebabkan Balok TKTS menggunakan kawat strimin tanpa sengkang sedang balok TSK tanpa kawat strimin dan sengkang. Balok TKGTS dan TSKP momen retak miring pertamanya lebih kecil dibandingkan balok BN dan TSK, tetapi momen ultimitnya lebih besar daripada balok kontrol (balok BN dan TSK). Hal ini disebabkan pengaruh kawat strimin persegi 1 lapis sehingga momen nominal yang dihasilkan lebih besar dari balok BN dan TSK, kecuali balok TKTS nilainya lebih kecil dibandingkan balok BN. Persentase momen retak miring pertama terhadap momen nominal yang terbesar terjadi pada balok tipe TSK, sedangkan persentase terhadap momen nominal yang terkecil terjadi pada balok TSKP.

2 Kapasitas Geser Pada Beban Ultimit

Menurut SK SNI T-15-1991-03 daya dukung geser nominal total (V_n) adalah jumlah dari daya dukung geser beton (V_c) dan daya dukung tulangan badan (V_s), yang dapat ditulis dengan persamaan 3.17 dan 3.20, sedangkan kapasitas geser hasil uji didapat dari beban yang terjadi pada titik ultimit. Rangkuman hasil analisis kuat geser nominal dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Kapasitas geser

Tipe balok	Kapasitas geser teoritis.	Kapasitas geser hasil uji, V_n (kN)	Persentase terhadap teoritis (%)	Persentase Kapasitas geser hasil uji terhadap BN (%)
	V_n (kN)			
BN	83.753	90	107.46	100
TSK	38.916	60	154.178	66.667
TKTS	38.916	75	192.722	83.333
TKGTS	38.916	92.5	237.70	102.778
TSKP	83,753	90	107.46	100
TSKG	83.753	92.5	110.444	102.778
TS50KG	60.834	90	147.94	100

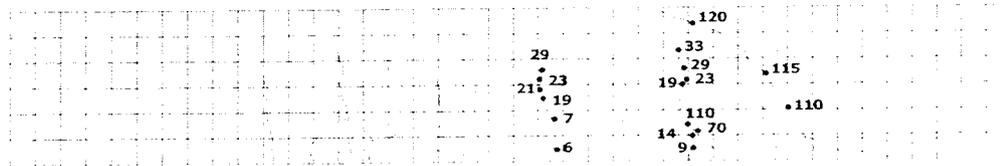
Dari tabel 5.11 terlihat perbandingan hasil pengamatan dengan hasil perhitungan teoritis. Untuk balok yang menggunakan jarak antar sengkang (S) = 100 mm, persentase kapasitas geser terhadap teoritisnya mengalami peningkatan antara 7 – 10 %. Balok TS50KG yang menggunakan jarak antar sengkang (S) = 200 mm, persentase kapasitas geser terhadap teoritisnya mengalami peningkatan antara 47 %. Hal ini diasumsikan kawat strimin 1 lapis memberikan kontribusi terhadap keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba. Pada balok TSK persentase kapasitas geser terhadap balok BN sebesar 66,667 %, nilai ini lebih kecil dikarenakan balok tidak menggunakan sengkang. Sedangkan Pada balok TKTS nilai persentase lebih kecil dikarenakan beton telah mengalami kegagalan dan menyebabkan keruntuhan pada balok.

5.8 Analisa Retak Balok

5.8.1 Perilaku Pola Retak Balok

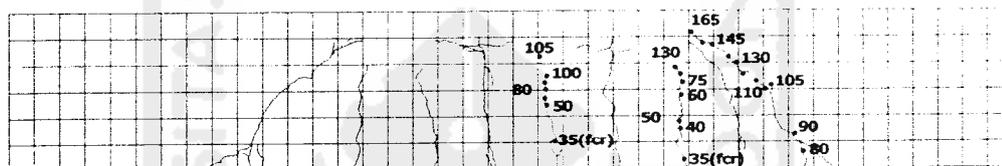
Retak tegak lurus sumbu longitudinal akan terjadi balok mendapat pembebanan. Hal ini disebabkan regangan tarik yang terjadi pada sisi bawah penampang sudah melebihi regangan tarik beton. Penelitian mendapatkan data-data pembebanan, panjang retak dan lebar retak. Retak yang terjadi pada masing-masing balok dapat dilihat pada gambar 5.9-5.15 berikut.

BALOK KONTROL TANPA SENKANG KAWAT STRIMIN



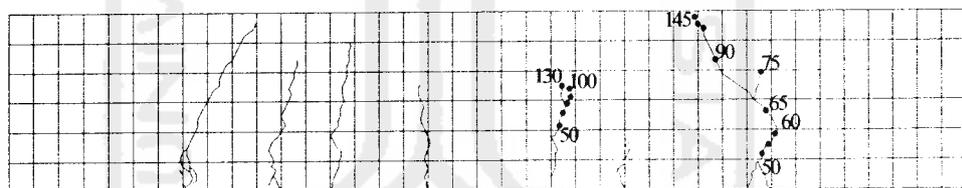
Gambar 5.9 Pola retak pada Balok kontrol tanpa sengkang (TSK)

BALOK NORMAL



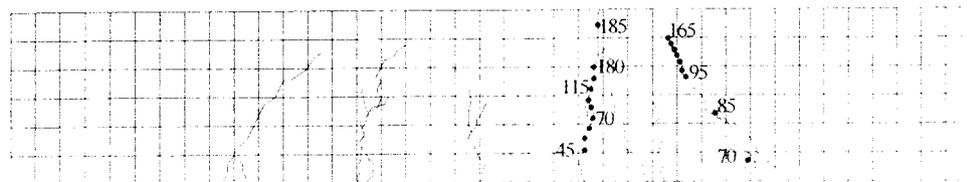
Gambar 5.10 Pola retak pada Balok Normal (BN)

BALOK TKTS



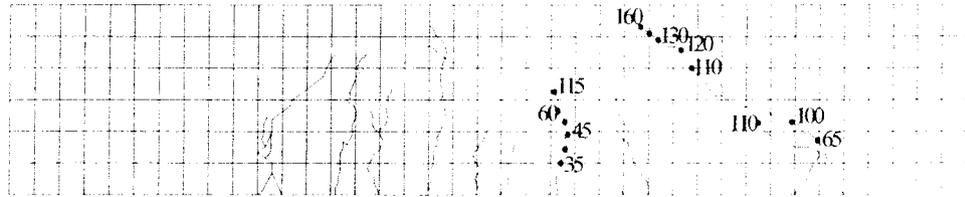
Gambar 5.11 Pola retak pada Balok yang menggunakan kawat stimin sebagai pengganti sengkang (TKTS)

BALOK TKGTS



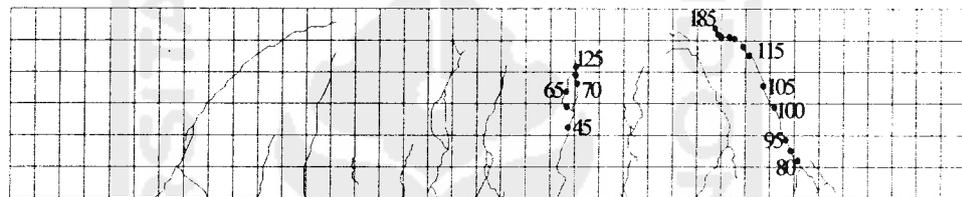
Gambar 5.12 Pola retak pada Balok yang menggunakan kawat stimin pada daerah geser (TKGTS)

BALOK TSKP



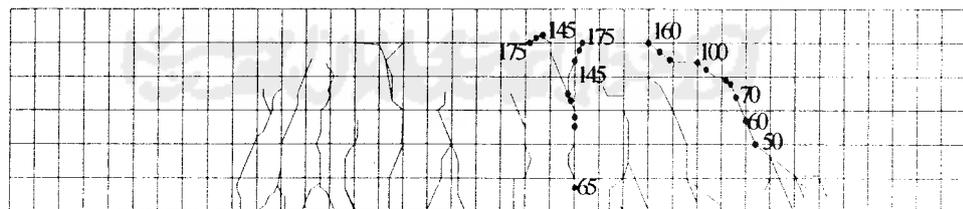
Gambar 5.13 Pola retak pada Balok yang menggunakan kawat stimin dan sengkang (TSKP)

BALOK TSKG



Gambar 5.14 Pola retak pada Balok yang menggunakan kawat stimin pada daerah geser dan sengkang (TSKG)

BALOK TS50KG



Gambar 5.15 Pola retak pada Balok yang menggunakan kawat stimin pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser. (TSKG)

Pola retak yang terjadi pada seluruh balok uji yaitu berupa retak lentur dan retak geser. Dan pola retak tersebut untuk masing-masing balok berbeda. Hal ini disebabkan oleh perlakuan pemberian sengkang dan kawat strimin pada balok.

Retak-retak awal berupa retak lentur yang terjadi pada sisi serat tarik daerah momen terbesar yaitu pada lokasi di tengah bentang balok di antara dua titik beban. Oleh karena itu pengamatan retak lentur dipusatkan pada daerah tersebut.

Retak lentur untuk semua balok terjadi di beberapa tempat (di antara dua titik beban) dengan jumlah dan jarak retak berbeda untuk masing-masing balok. Hal ini tampaknya dipengaruhi oleh pemberian sengkang dan strimin pada daerah tersebut, sedangkan peningkatan dan perambatan retak sejalan dengan peningkatan beban, namun tidak selalu menambah panjang retak tetapi bisa juga menimbulkan retak baru di sisi yang lain.

Retak geser pada balok ditandai dengan retak miring yang merupakan pertanda bahwa retak tarik diagonal mulai terjadi dan biasanya merupakan kelanjutan dari retak lentur. Menurut Wang dan Salmon (1986), kecepatan perubahan dari retak lentur awal menjadi retak lentur geser tergantung dari percepatan pertumbuhan dan tinggi dari retak lentur, disamping besarnya tegangan geser yang bekerja di dekat ujung atas retak lentur.

Balok kontrol yaitu balok normal tanpa sengkang (TSK) dan balok normal dengan sengkang (BN) akan menjadi acuan untuk menganalisis retak balok lainnya. Gambar 5.9 dan 5.10 memperlihatkan pola retak balok kontrol, retak lentur terjadi lebih dahulu dibandingkan retak gesernya. Retak lentur merambat sesuai dengan penambahan beban, sedangkan retak geser mulai timbul ketika retak lentur semakin mendekati daerah tekan penampang balok. Retak geser ditandai dengan retak miring yang membentuk sudut kurang lebih 45° . Perambatan retak geser berikutnya sangat cepat dengan retak yang terjadi cukup panjang ketika beban ditambahkan terutama pada balok TSK, hal ini dikarenakan balok tidak menggunakan tulangan geser. Pada balok BN, timbulnya retak geser hampir sama dengan balok TSK, tetapi retak geser yang terjadi merupakan kelanjutan dari retak lentur, terutama retak lentur di daerah geser.

Sedangkan untuk balok yang menggunakan kawat strimin seperti balok TKTS, TKGTS, TSKP, TSKG dan TS50KG. Pola perambatan retak yang terjadi hampir sama dengan balok kontrol (balok TSK dan BN). Dimulai retak awal pada daerah lentur yang terjadi secara vertikal, sedangkan retak pada daerah geser

dimulai dari retak lentur kemudian ketika mendekati garis netral penampang balok, perambatan retaknya diperlihatkan secara miring. Hal ini yang membedakan pola perambatan retak yang terjadi pada balok yang menggunakan kawat strimin dengan balok kontrol adalah naiknya perambatan retak terjadi secara pelan, ini dapat dilihat pada Gambar 5.11 – 5.15, naiknya perambatan retak tidak terjadi setiap beban 5 kN, sama halnya pada balok kontrol naiknya keretakan tidak tentu juga kadang terjadi setiap 10 kN atau lebih. Hal ini menandakan bahwa kawat strimin bentuk persegi 1 lapis memberikan kontribusi untuk memperlambat naiknya keretakan yang terjadi pada balok. Diasumsikan kawat strimin pada balok tersebut ada yang bekerja secara maksimal sehingga dapat meningkatkan kekuatan balok. Tetapi juga ada yang bekerja secara kurang maksimal sehingga tidak meningkatkan kekuatan balok tersebut.

5.8.2 Pola Runtuh Balok

Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh beton tarik dan tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser ditahan oleh beton dan tulangan geser yang biasa disebut sengkang. Menurut Wang dan Salmon (1986), tulangan geser yang terlalu sedikit jumlahnya akan meleleh segera setelah terbentuknya retak miring dan kemudian balok runtuh. Jika jumlah tulangan geser terlalu banyak, balok kuat terhadap geser dan berperilaku daktail serta akan terjadi keruntuhan lentur sebelum tulangan geser leleh. Dalam penelitian ini, untuk perkuatan geser balok digunakan kawat strimin yang diselamatkan pada inti balok. Kawat strimin akan berfungsi sebagaimana sengkang sebagai tulangan geser.

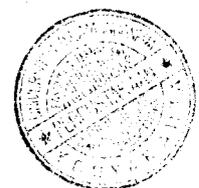
Perambatan retak yang digambarkan dengan angka mulai dari retak awal terjadi sampai dengan retak yang meruntuhkan balok, sehingga menunjukkan pola runtuh balok tersebut. Keruntuhan balok dapat diketahui dengan mengamati retak yang menyebabkan beban tidak bertambah tetapi lendutan terus meningkat. Balok direncanakan runtuh dalam geser dengan memberikan rasio panjang bentang-tinggi balok (a/d) sebesar 2. Balok kontrol TSK dan BN pada Gambar 5.9 dan 5.10 memperlihatkan pola keruntuhan yang terjadi adalah pola keruntuhan geser.

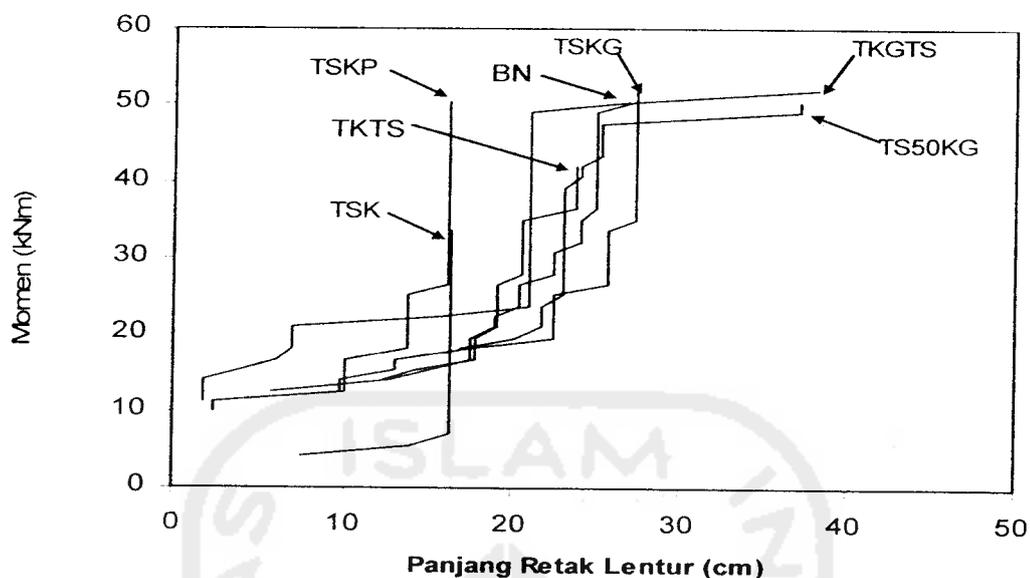
Keruntuhan terjadi setelah retak geser masuk lebih dalam ke daerah tekan yang menyebabkan balok kehilangan daya dukungnya, sehingga keruntuhan TSK menjadi sangat tiba-tiba. Sedangkan BN, karena terdapat sengkang keruntuhan geser tidak begitu tiba-tiba, tetapi keruntuhan juga dalam geser. Hal ini sesuai dengan yang diperoleh Bresler dan Scordelis (1963), pada balok sederhana, keruntuhan geser berupa retak tarik diagonal membentang dari titik beban ke tumpuan dengan pola retak tergantung panjang bentang gesernya.

Pada balok yang menggunakan kawat strimin seperti balok TKTS, TSKP, TSKG mengalami pola keruntuhan geser sedangkan tipe balok TKGTS dan TS50KG mengalami pola keruntuhan lentur, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.11 – 5.15, hal ini menandakan bahwa balok yang diperkuat dengan kawat strimin pada daerah geser ada yang dapat berperan dengan baik/ maksimal dan ada juga yang kurang maksimal. Dari Gambar 5.11 – 5.15 diketahui pula masing-masing beban maksimum pada daerah lentur dan daerah geser ketika terjadi keruntuhan lentur dan geser. Berikut data yang diketahui, pada balok TKTS (130 kN, 145 kN), TKGTS (185 kN, 165 kN), TSKP (115 kN, 160 kN), TSKG (125 kN, 185 kN) dan TS50KG (175 kN, 160 kN).

5.8.3 Hubungan Panjang Retak Dengan Momen

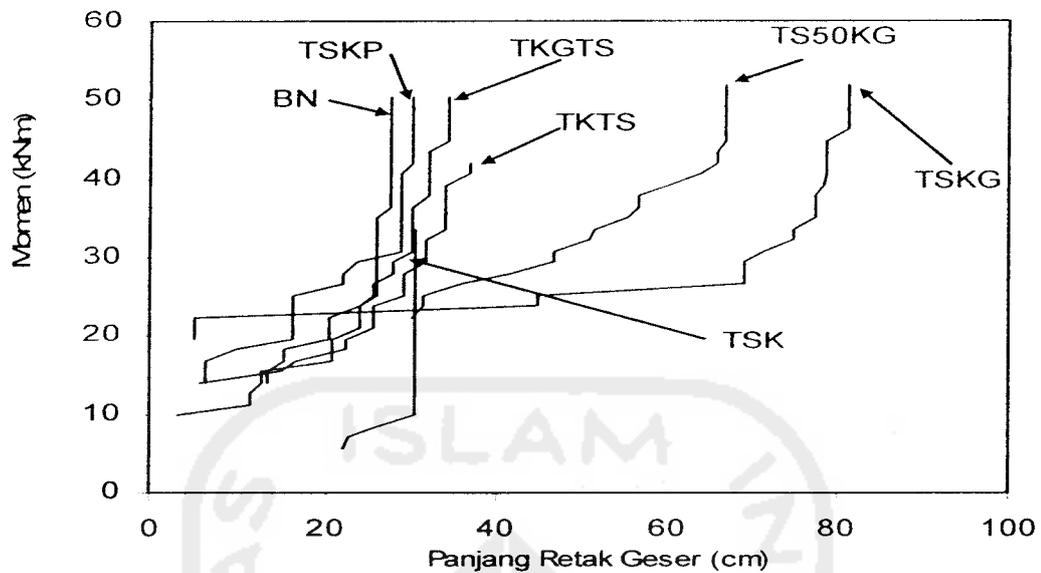
Retak pada daerah lentur ditandai dengan retak tegak lurus sumbu longitudinal, sedangkan retak pada daerah geser berpola retak lentur dahulu baru kemudian keretakan yang terjadi miring $\leq 45^\circ$ dan dari retak miring pertama ini dinamakan retak geser. Dari hasil pengujian didapatkan hubungan momen dengan panjang retak dari daerah lentur maupun daerah geser, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan 5.17.





Gambar 5.16 Grafik hubungan momen-panjang retak lentur

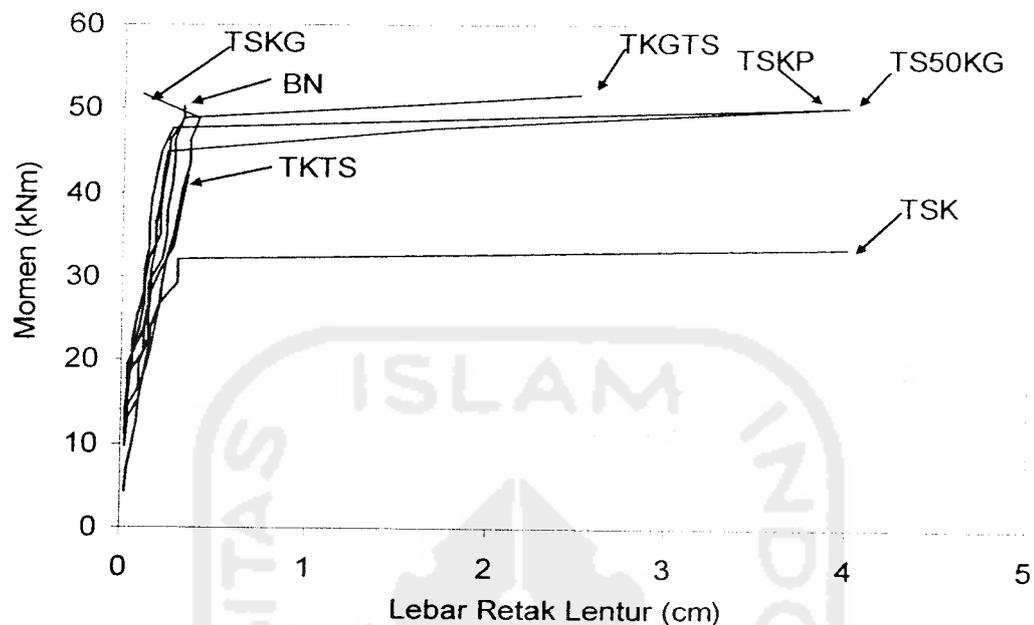
Dari Gambar 5.16 diperoleh bahwa pada daerah lentur balok TSK memiliki momen dan panjang retak yang kecil dan antara balok BN dengan balok yang diberi penambahan kawat strimin dan pengurangan jumlah sengkang pada daerah lentur memiliki kekuatan menahan momen yang hampir sama besarnya. Diantara balok tersebut bila dibandingkan dengan balok BN terdapat perbedaan panjang retak lentur yang lebih kecil yaitu balok TSKP dan TKTS, sedangkan balok yang memiliki panjang retak lentur yang lebih besar yaitu balok TSKG, TS50KG dan TKGTS. Panjang retak pada daerah lentur menunjukkan balok tersebut bersifat *ductile* (liat). Bila dibandingkan balok TSK, maka balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang juga mengalami peningkatan dalam kekuatan dan panjang retak lentur. Hal ini menandakan balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang mempunyai daktilitas yang besar bila dibandingkan balok TSK yang tidak memakai sengkang.



Gambar 5.17 Grafik hubungan momen-panjang retak geser

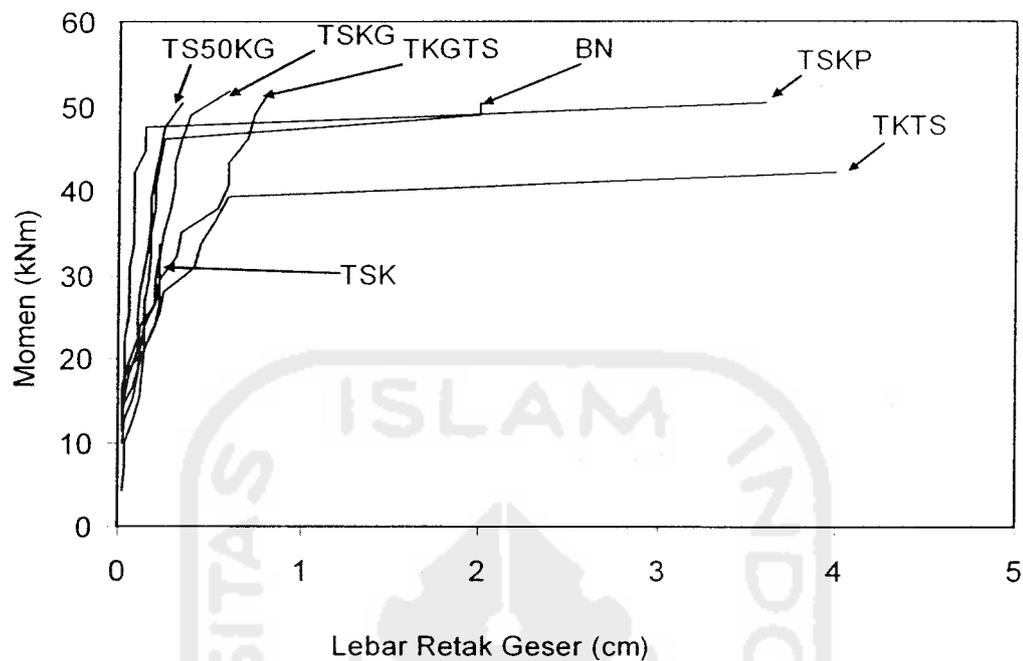
Dari Gambar 5.17 diperoleh hubungan antara momen dan panjang retak geser. Bila dibandingkan antara balok BN dan balok dengan variasi kawat strimin panjang retak geser yang terjadi memiliki perbedaan relatif kecil kecuali balok TSKG dan TS50KG memiliki perbedaan yang cukup besar. Balok dengan variasi kawat strimin dan sengkang pada daerah geser yaitu balok TSKG dan TS50KG lebih panjang retaknya. Hal ini disebabkan pemberian kawat strimin dan sengkang pada daerah geser dapat menahan geser, sehingga kegagalan getas pada balok dapat dihindari. Sedangkan dibandingkan balok TSK, balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang juga mengalami peningkatan dalam kekuatan maupun panjang retaknya. Hal ini disebabkan balok TSK tidak pakai sengkang juga strimin, sehingga balok TSK lemah dalam menahan geser.

5.8.4 Hubungan Lebar Retak Dengan Momen



Gambar 5.18 Grafik hubungan momen-lebar retak lentur

Dari Gambar 5.18 diperoleh hubungan momen dan lebar retak pada daerah lentur, diketahui bahwa pada balok TSK momen yang terjadi lebih kecil namun lebar retaknya besar dibandingkan balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang. Pada balok TS50KG lebar retak lenturnya relatif sama besar, namun kekuatannya lebih besar dibanding balok TSK. Karena balok TS50KG diperkuat dengan kawat strimin dan sengkang, sehingga kekuatannya meningkat dibanding balok TSK. Sedangkan dibandingkan balok BN, balok yang menggunakan variasi kawat strimin dan sengkang kekuatannya relatif sama besar. Balok TKGTS, TSKP dan TS50KG dilihat dari lebar retaknya jauh lebih besar dibanding balok BN. Hal ini disebabkan balok TKGTS, TSKP dan TS50KG dalam menahan lebar retak lentur lebih baik, sehingga variasi penggunaan kawat strimin dan sengkang memperbaiki sifat *ductile* (liat) pada balok.



Gambar 5.19 Grafik hubungan momen-lebar retak geser

Dari Gambar 5.19 diperoleh diperoleh hubungan momen dan lebar retak geser. Momen dan lebar retak geser balok TSK lebih kecil dibandingkan balok yang menggunakan variasi sengkang dan kawat strimin. Karena balok TSK tidak pakai sengkang dan strimin, juga balok tersebut dirancang runtuh geser. Sehingga balok TSK lemah dalam menahan geser dan keruntuhan balok terjadi sebelum kapasitas lenturnya tercapai. Bila dibanding balok BN, balok yang menggunakan sengkang dan kawat strimin mempunyai kekuatan yang relatif sama besar. Sedangkan dilihat dari lebar retak gesernya, balok TS50KG, TSKG dan TKGTS mempunyai lebar retak yang kecil. Hal ini dikarenakan balok tersebut direncanakan kuat menahan di daerah geser, sehingga balok lemah dalam menahan lentur.