

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pada Bab V ini akan dibahas mengenai hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasannya. Adapun hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang meliputi pengujian material campuran beton, kuat tarik baja, kuat tarik kawat strimin. Untuk pengujian sifat-sifat mekanis beton meliputi kuat desak, lentur, geser, tarik belah, sedangkan pengujian balok meliputi kuat lentur dan kuat gesernya.

#### **5.1 Uji Material**

##### **5.1.1 Agregat Halus dan Kasar**

Besar butiran agregat selalu dibatasi agar tidak terlalu besar sampai besar butir maksimum ( $T_{(100)} = B$ ). 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. Uji agregat dimaksudkan untuk mengetahui data awal mengenai agregat yang dipakai seperti pada lampiran B. Pengujian dilakukan untuk mencari besar kandungan lumpur dalam pasir, persentase modulus halus butir, berat jenis, serta persentase banyaknya penyerapan air. Hasil yang didapat dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton. Untuk Pemeriksaan modulus halus butir bertujuan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pemeriksaan berat jenis agregat dan penyerapan air dimaksudkan untuk menentukan berat kering permukaan jenuh (SSD) dan penyerapan dari agregat, berat jenis permukaan jenuh (SSD), yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu, sedangkan penyerapan adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap agregat kering. Hasil pemeriksaan agregat dilihat pada tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Hasil pengujian agregat

Penelitian	Pasir	Kerikil
Modulus halus butir (%)	2,60	6,50
Berat jenis SSD	2,6	2,66
Penyerapan air (%)	3,80	2,80
Kandungan lumpur dalam pasir (%)	1	-
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	20

Pada hasil uji bahan maka diketahui bahwa untuk kandungan lumpur pada pasir masih memenuhi syarat yang ditetapkan pada PUBI 1973. Kandungan lumpur pada agregat halus sebesar 1 % dan memiliki berat jenis SSD sebesar 2,6.

### 5.1.2 Baja

Adapun dalam uji kuat tarik baja ini akan dijelaskan mengenai hasil dan pembahasan dari pengujian.

Pengujian kuat tarik baja untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang, dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia merupakan pengujian terhadap kuat tarik baja tulangan polos diameter 16 mm dan 6 mm, untuk pengujian ini digunakan baja tulangan dengan panjang 50 cm. Hasil dari pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada tabel 5.2.

**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 tulangan diameter 16

1. P16 dengan  $\text{Ø}16\text{mm}$ , kuat tarik  $F_u=484,715$  MPa dan tegangan  $F_y = 359,556$  MPa,
  2. nilai  $F_y$  sebesar 359,556 MPa dari hasil penelitian adalah 74,17% dari nilai  $F_u$ ,
  3. tegangan leleh  $F_y$  yang digunakan pada penelitian ini adalah 359 MPa,
  4. sesuai dengan SII 0136-80 dapat digolongkan baja mutu BJTP 35 dengan batas ulur minimum 343 N/mm<sup>2</sup>, dan kuat tarik minimum 490 N/mm<sup>2</sup>.
- b) Untuk tulangan diameter 6
1. P6 kurus dengan  $\text{Ø}5$  mm, kuat tarik  $F_u=393,431$  MPa dan tegangan  $F_y = 277,566$  MPa,
  2. nilai  $F_y$  sebesar 277,566 MPa dari hasil penelitian adalah 70,55% dari nilai  $F_u$ ,
  3. tegangan leleh  $F_y$  yang digunakan pada penelitian ini adalah 277 MPa, dan
  4. sesuai dengan SII 0136-80 dapat digolongkan baja mutu BJTP 24 dengan batas ulur minimum 235 N/mm<sup>2</sup>, dan kuat tarik minimum 382 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.1.3 Kawat Strimin

Pada penelitian ini digunakan kawat dengan diameter 1,57 mm dan jarak bukaan antara kawat 40 mm. Sebelumnya kawat strimin diuji terlebih dahulu untuk mengetahui seberapa besar kuat tariknya. Pengujian tarik kawat strimin dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada merupakan pengujian terhadap kuat kawat strimin. Sampel di uji dengan 2 parameter, yaitu tarik tunggal dan tarik ganda. Hasil dari pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin

Benda Uji	Beban Tarik Rata-rata (N)	Tegangan tarik Rata-rata (MPa)	Rata-rata
Kawat tunggal	695.324	359,168	398,739
Kawat ganda	1697.008	438.,309	

Hasil pengujian kawat, tegangan tarik tunggal yang terjadi di atas baja dengan spesifikasi SII untuk BJTP 35 dengan batas ulur minimum 343 N/mm<sup>2</sup>.

## 5.2 Slump

Slump ini berpengaruh pada kuat desak beton dan kemudahan dalam pengerjaan. Slump yang digunakan pengujian ini adalah 12 cm, ini sesuai dengan PBI 1971 untuk pengerjaan balok nilai slump berkisar antara 7,7 cm-15 cm, dengan nilai slump sebesar 12 cm, pada waktu pengecoran beton mudah dituangkan ke dalam bekisting, campuran beton mengalir merata ke setiap bagian bekisting. Untuk sela-sela antara kawat strimin dengan bekisting pada waktu penuangan digunakan alat bantu berupa besi tulangan dengan cara ditusuk-tusuk agar agregat kasar bisa masuk.

## 5.3 Uji Sifat-sifat Mekanis Beton

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 beton diuji pada umur 28 hari. Untuk menyamakan kekuatan antara benda uji beton dengan balok, pengujian dilakukan pada umur yang sama. Pengujian kuat beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.

**Tabel 5.4** Hasil pengujian beton

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

Pengujian kuat desak beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat desak benda uji yang selanjutnya digunakan dalam analisis balok. Pengujian kuat desak beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia dengan mengambil 30 sampel silinder beton, jumlah tersebut sesuai dengan SKSNI T-15-1991-03, yaitu minimal 15 sampel.

Pada konsep pedoman beton, mutu beton sendiri dibedakan menjadi tiga yaitu (PBI 1971) :

- a. Beton mutu rendah  $f_c' < 125 \text{ kg/cm}^2$  (12259 MPa)
- b. Beton mutu sedang  $125 \text{ kg/cm}^2 \leq f_c' < 225 \text{ kg/cm}^2$
- c. Beton mutu tinggi  $f_c' \geq 22 \text{ kg/cm}^2$  (22, 065 MPa)

Pada hasil pengujian kuat desak didapat kuat desak rata-rata 30.473 MPa dari pengujian 30 sampel, lihat lampiran D. Dilihat dari PBI 1971 beton hasil pengujian merupakan beton mutu tinggi. Nilai kuat desak hasil pengujian kemudian digunakan untuk perencanaan hitungan balok.

Pada uji lentur, jumlah benda uji sebanyak 10 buah. Dari 10 benda uji didapatkan nilai rata-ratanya sebesar 5.44 MPa atau sekitar 17.6% dari kuat desaknya, lihat lampiran D.

Pengujian tarik belah dilakukan untuk mengetahui nilai tarik belah beton yang dipakai dalam pembuatan balok beton. Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, berikut diberikan penjelasan mengenai hasil dan pembahasan dari pengujian yang telah dilakukan. Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 15, tetapi 8 benda uji mengalami keropos sehingga tidak layak uji dan hanya 7 benda uji yang dapat diuji. Nilai kuat tarik belah beton dilihat pada lampiran D. Dari hasil pengujian 7 silinder didapatkan kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,185 MPa. Kuat tarik yang dimiliki oleh beton sangat kecil, diperkirakan berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1991). Namun demikian beton jarang direncanakan berdasarkan kekuatan tariknya atau didesain untuk menerima beban tarik Pada uji tarik beton didapatkan persentase kuat tarik terhadap kuat desak adalah 10% sehingga hasil sudah sesuai dengan ketentuan.

Pengujian kuat geser dilakukan untuk mengetahui nilai kuat geser beton yang dipakai dalam pembuatan balok beton, benda uji berbentuk persgi panjang

dengan dimensi panjang 20 cm, lebar 10 cm, tinggi 10 cm. Jumlah benda uji sebanyak 17 buah, Dari 17 benda uji didapatkan nilai kuat geser rata-ratanya sebesar 4.726 MPa atau sekitar 15% dari kuat desaknya, lihat lampiran D.

#### 5.4. Uji Balok

*Serviceability* (kemampuan layan) suatu struktur ditentukan oleh lendutan, retak, korosi tulangan, dan rusaknya permukaan beton (Nawy, 1985). Pegujian ini untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada balok akibat pembebanan. Pengujian balok dilaksanakan di Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada. Untuk pembacaan beban dilakukan tiap kenaikan sebesar 5 kN dan lendutan yang terjadi dibaca menggunakan *data logger*.

Rusaknya permukaan beton adalah tanda bahwa balok mulai mengalami keretakan, keretakan yang terjadi kemudian dianalisa pola retaknya, dari pola retak tersebut didapatkan retak tarik awal, retak pada saat luluh, retak ultimit. Lebih lanjut dari pengamatan pola retak diamati gaya geser yang terjadi pada saat retak miring pertama.

Adapun dalam pembahasan kali ini akan dijelaskan beberapa permasalahan antara lain, perilaku lentur berdasarkan beban-defleksi, berdasarkan momen-kelengkungan meliputi hubungan momen-kelengkungan teoritis dan penelitian, analisa kekakuan, analisis daktilitas balok, momen kapasitas balok, kuat geser balok serta perilakunya pada saat retak geser.

##### 5.4.1. Hubungan Beban-Lendutan

Data hubungan beban-lendutan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban-lendutan, lihat lampiran F. Dari data yang didapat kemudian disajikan dalam grafik untuk tiap-tiap balok agar lebih mudah mengetahui perbandingan beban dan lendutan yang terjadi antara balok kontrol dengan balok yang menggunakan sengkang ataupun strimin. Secara keseluruhan setiap benda uji memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama, mulai dari pangkal sampai ke tengah bentang. Pada pembebanan awal kurva masih tampak

linier, tapi setelah pembebanan maksimum ( $P_u$ ) kurva mulai tampak datar dengan beban yang tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan.

**Tabel 5.5** Analisa data pembebanan balok

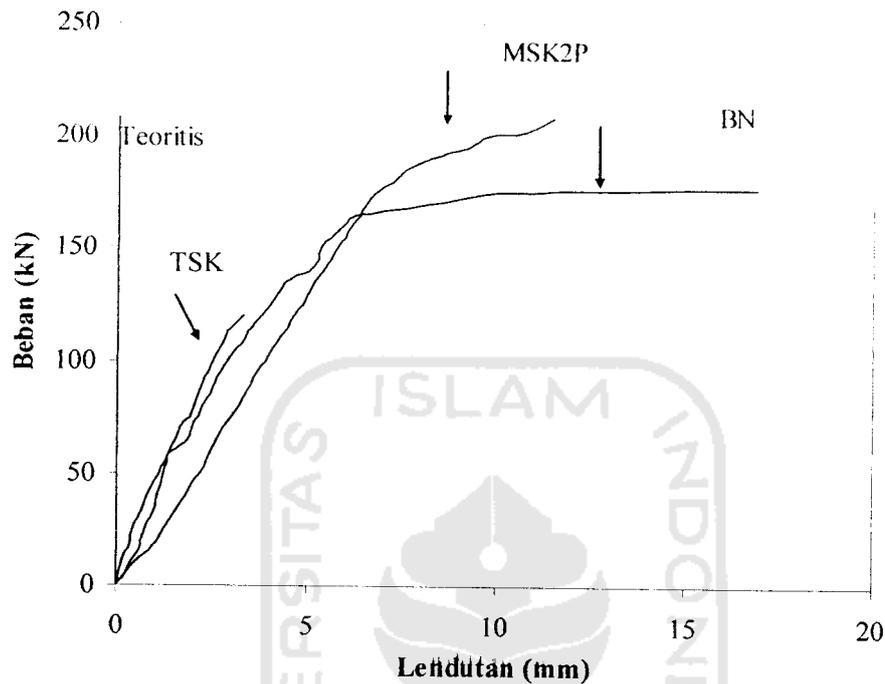
Model	Beban retak awal (Prt) (kN)	Prt BN / Prt variasi	Beban leleh pertama (Py) (kNm)	Py BN / Py variasi	Beban ultimit (Pu) (kNm)	Pu BN / Pu variasi
BN	35	1	165	1	177	1
TSK	60	1,714	70	0,424	120	0,678
MSK2P	40	1,143	175	1,061	208	1,175
MSK2G	50	1,429	175	1,061	185	1,045
MS50K2G	25	0,714	165	1	169	0,955
MK2TS	30	0,857	160	0,970	177	1
MK2GTS	30	0,857	145	0,879	165	0,932

**Tabel 5.6** Analisa data lendutan balok

Model	Lendutan saat retak awal ( $\Delta r_t$ ) (mm)	$\Delta r_t$ BN / $\Delta r_t$ variasi	Lendutan saat leleh ( $\Delta y$ ) (mm)	$\Delta y$ BN / $\Delta y$ variasi	Lendutan saat ultimit ( $\Delta u$ ) (mm)	$\Delta u$ BN / $\Delta u$ variasi
BN	0.770	1	6,207	1	16.9	1
TSK	1.530	1.987	1,637	0.264	3,323	0.197
MSK2P	2.160	2.805	6,787	1.093	11,480	0.679
MSK2G	0.640	0.831	6,097	0.982	14,213	0.841
MS50K2G	0.690	0.896	5,567	0.897	8,889	0.526
MK2TS	0.460	0.597	4,940	0.796	10,583	0.626
MK2GTS	0.860	1.117	4,400	0.709	14,760	0.873

Dari Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 didapat peningkatan ataupun penurunan kekuatan dan lendutan yang variatif. Selanjutnya akan dibahas hasil pengujian tiap balok dengan pengamatann grafik, lihat gambar 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6.

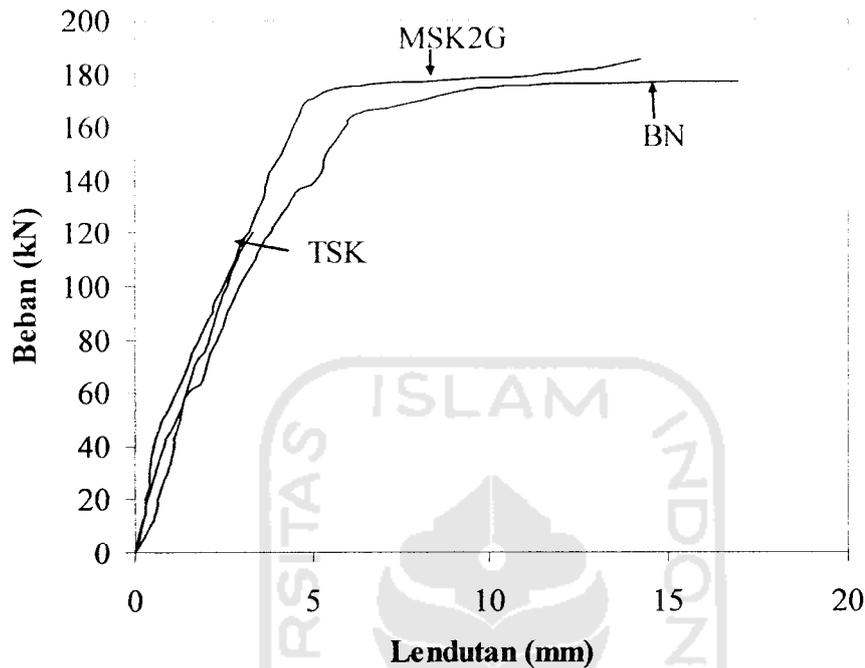
### 1. Beban dan Lendutan pada Balok MSK2P



**Gambar 5.1** Grafik defleksi balok MSK2P

Pada balok yang menggunakan sengkang dan kawat strimin 2 lapis penuh (MSK2P) beban yang bisa ditahan meningkat 17% dari balok kontrol BN. Jika diamati dari perbandingan nilai persentase terhadap balok kontrol (BN dan TSK), pemakaian strimin 2 lapis dan tulangan sepanjang badan balok kekuatannya mampu memberikan peningkatan kekuatan sebesar 14% dari balok BN atau 50% dari balok TSK, sehingga jika dilihat dari lendutannya (Gambar 5.1) pemakaian dengan perpaduan keduanya menjadikan balok lebih elastis dari balok normal, elastisitas ini disebabkan pada saat runtuh geser kawat strimin memberikan peningkatan kuat geser balok ketika tulangan geser bekerja, untuk lebih jelasnya bisa dilihat dari data analisa kekakuan dari beban dan lendutan yang ada. Besarnya lendutan maksimum saat balok runtuh pada balok MSK2P lebih kecil dari balok kontrol BN, saat runtuh kawat strimin yang terpasang sebanyak 2 lapis belum mencapai tegangan maksimumnya.

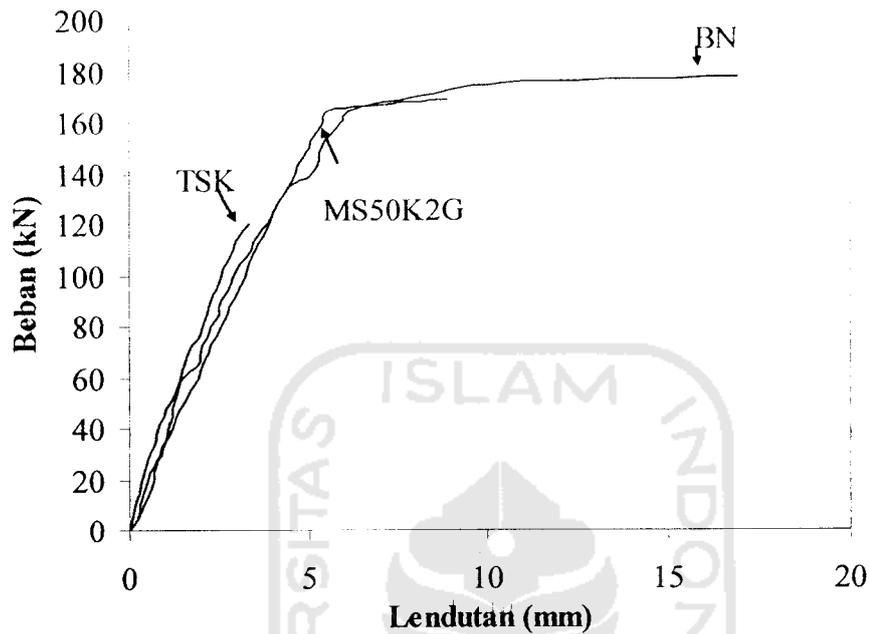
## 2. Beban dan Lendutan pada Balok MSK2G



**Gambar 5.2** Grafik defleksi balok MSK2G

Pada gambar 5.2 balok MSK2G terlihat hampir menyamai balok kontrol (BN). Saat beban retak pertama, saat leleh, dan ultimit nilainya mendekati balok normal, hal ini dikarenakan balok MSK2G merupakan variasi balok normal yang diperkuat kawat strimin 2 lapis hanya pada daerah geser. Beban pada saat leleh retak pertama lebih besar 50%, tetapi setelah leleh pertama sampai pada beban ultimit beban yang mampu ditahan hanya meningkat 4% dari balok BN dan lendutannya lebih kecil 16% dari balok BN, hal ini disebabkan pada pembebanan 185 kN terjadi keruntuhan lentur, sehingga pembebanan tidak bisa dilanjutkan.

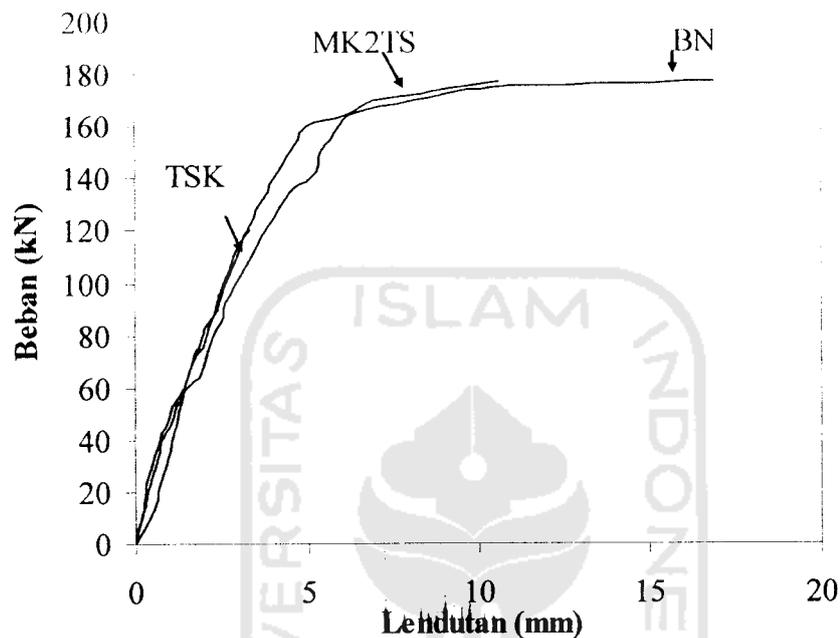
### 3. Beban dan Lendutan pada Balok MS50K2G



**Gambar 5.3** Grafik defleksi balok MS50K2G

Pada Gambar 5.3 akibat dari pengurangan sengkang pada balok normal di bentang geser sebanyak 50% dan diganti kawat strimin 2 lapis, ternyata beban ultimit yang mampu ditahan berkurang sebesar 5% dan lendutan yang terjadi lebih kecil dari BN, tetapi pada saat leleh pertama bebannya sama dengan balok kontrol, antara balok MS50K2G dan balok kontrol BN leleh pertama terjadi pada saat pembebanan 100 kN tetapi balok BN mampu meneruskan pembebanan 5% lebih besar dari balok MS50K2G, hal ini berarti kawat strimin efektif menggantikan 50% sengkang.

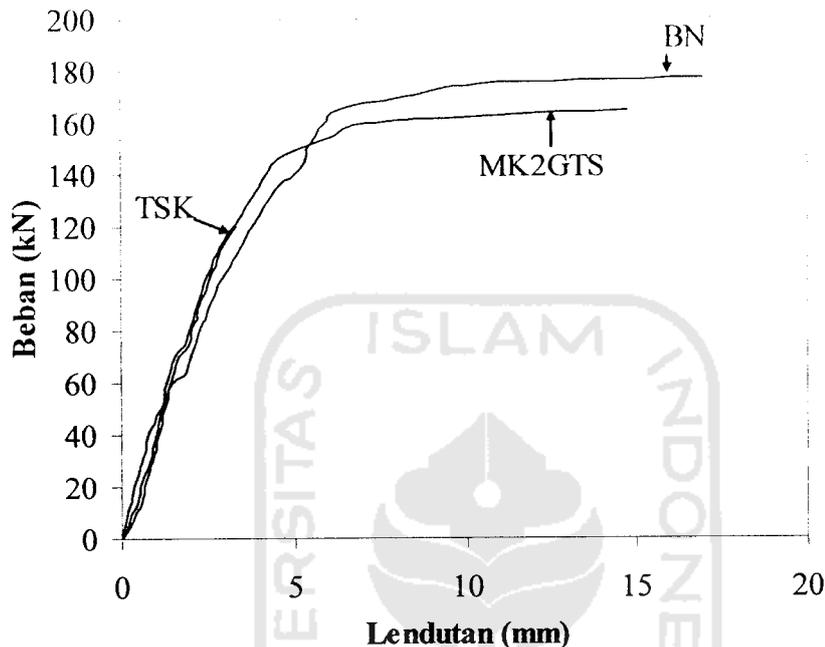
#### 4. Beban dan Lendutan pada Balok MK2TS



**Gambar 5.4** Grafik defleksi balok MK2TS

Dari gambar 5.4 terlihat jelas pengaruh kawat strimin sebagai pengganti tulangan geser, pada awal pembebanan membentuk garis linier berhimpitan dengan grafik kedua balok kontrol. Pembebanan terhenti pada beban 120 kN, kemudian ketika diperkuat strimin 2 lapis sepanjang badan balok pembebanan terus berlangsung hingga mencapai pembebanan yang sama dengan balok BN yaitu sebesar 177 kN atau meningkat 43% dari balok TSK, hal ini berarti kawat strimin tersebut mampu menggantikan sengkang sebagai tulangan geser, akan tetapi perilaku balok cenderung getas dibanding BN.

## 5. Beban dan Lendutan pada Balok MK2GTS



**Gambar 5.5** Grafik defleksi balok MK2GTS

Hampir sama seperti pada balok MK2TS, kawat strimin pada balok MK2GTS digunakan sebagai pengganti sengkang bedanya pada balok MK2GTS kawat strimin hanya dipasang di daerah bentang geser yaitu dari dukungan sampai titik beban. Kekuatan balok MK2GTS ternyata di bawah balok kontrol BN seperti terlihat pada Gambar 5.5, terlihat pada pengamatan beban yang mampu ditahan pada saat kondisi retak, leleh pertama, dan beban ultimitnya. Berkurangnya beban yang mampu ditahan disebabkan waktu keruntuhan pada daerah bentang lentur pola retaknya tegak lurus tanpa adanya retak baru, karena pada daerah tersebut hanya diperkuat tulangan memanjang. Dalam kondisi beban ultimit pemakaian kawat strimin di daerah geser menjadi lebih efektif karena penurunan kekuatan hanya 7% dari balok BN.

Pemakaian kawat strimin ataupun perpaduan kawat strimin dengan tulangan geser mampu memberikan kontribusi kuat tarik pada balok, ini bisa dilihat dari setiap grafik perbandingan balok tanpa sengkang dengan balok variasi sengkang ataupun strimin. Jika balok pada balok tanpa sengkang hanya mampu

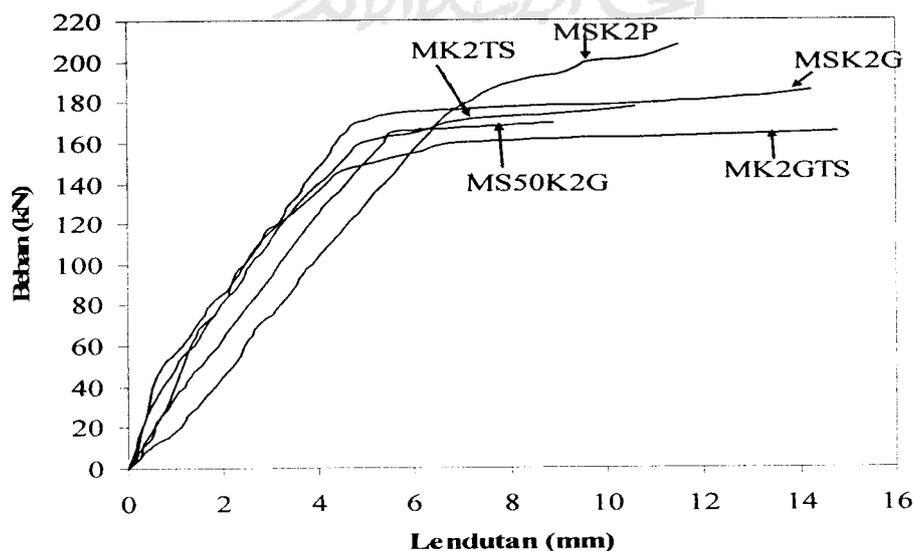
menahan beban 120 kN (Gambar 5.5), balok yang diperkuat kawat strimin ataupun sengkang, beban yang mampu ditahan lebih besar.

Kawat strimin yang dipakai pada penelitian setiap rangkaian hanya dijalin menyilang tanpa diperkuat dengan las, sehingga pada waktu keruntuhan kawat strimin belum bekerja pada tegangan tarik maksimalnya. Kurang efektifnya kawat strimin bekerja bisa dilihat grafik setiap balok yang nilai lendutannya lebih kecil dari balok normal.

Kecilnya lendutan pada semua balok variasi dari balok kontrol BN diakibatkan karena 2 hal, yaitu:

1. Pada balok yang daerah bentang lenturnya tidak ada perkuatan, balok cenderung retak lentur karena tegangan tarik hanya ditahan tulangan memanjang dan kekuatan beton saja.
2. Pada balok yang menggunakan sengkang ataupun kawat strimin disepanjang badan balok, saat terjadi keruntuhan kawat strimin belum efektif menahan beban, karena pada saat kekuatan beton sudah maksimum, kemungkinan kawat strimin baru bekerja menahan gaya tarik.

## 6. Beban dan Lendutan Balok Variasi Sengkang dan Kawat Strimin



**Gambar 5.6** Grafik defleksi semua balok variasi dan teoritis

Dari gambar 5.6 terlihat grafik linier dari bawah tetapi pada beban luluh pertama balok MSK2P grafiknya bergeser di atas balok MSK2G dan MS50K2G, hal ini dikarenakan pada balok MSK2P pada daerah bentang lentur diperkuat sengkang dan kawat strimin 2 lapis, sedangkan balok MSK2G dan MS50K2G hanya diperkuat sengkang. Pengurangan sengkang dari balok MSK2G menjadi MS50K2G ternyata terjadi penurunan beban yang mampu ditahan sebesar 10%.

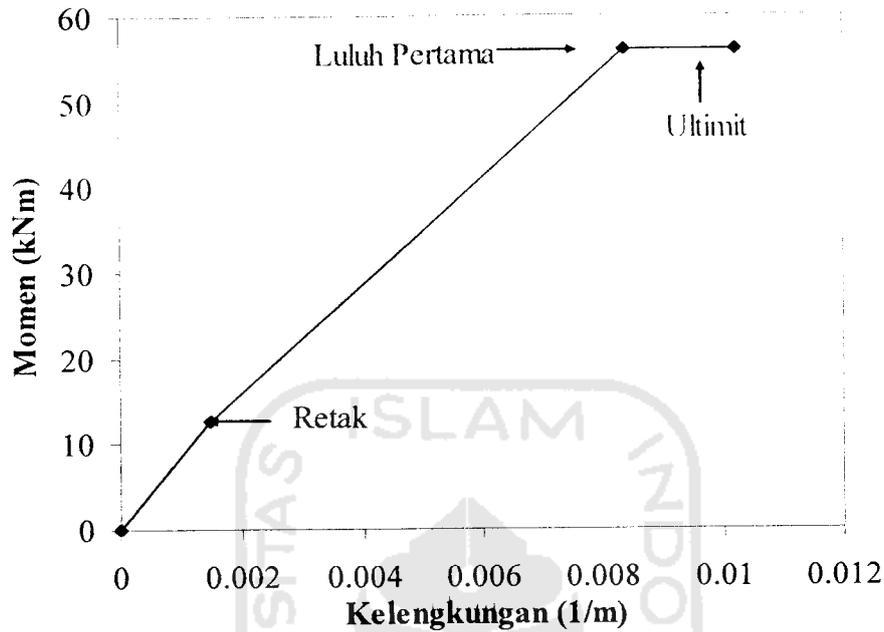
Sama halnya dengan balok variasi sengkang dan strimin, tidak adanya kawat strimin pada bentang lentur grafik bergeser pada waktu beban luluh pertama. Pada balok MK2GTS beban ultimit lebih kecil 7% dari balok MK2TS, tapi lendutannya lebih dari balok MKTS.

#### 5.4.2. Hubungan Momen-Kelengkungan

Seperti pada Lendutan balok hubungan momen-kelengkungan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban-lendutan. Secara teoritis balok dengan penampang sama dan momen inersia sama akan menghasilkan faktor kekakuan ( $EI$ ) yang sama, hasil hitungan dapat dilihat pada lampiran G1. Untuk perhitungan momen dan kelengkungan teoritis lihat lampiran G2. Nilai hasil perhitungan momen-kelengkungan secara teoritis ditampilkan dalam tabel 5.7, berikut :

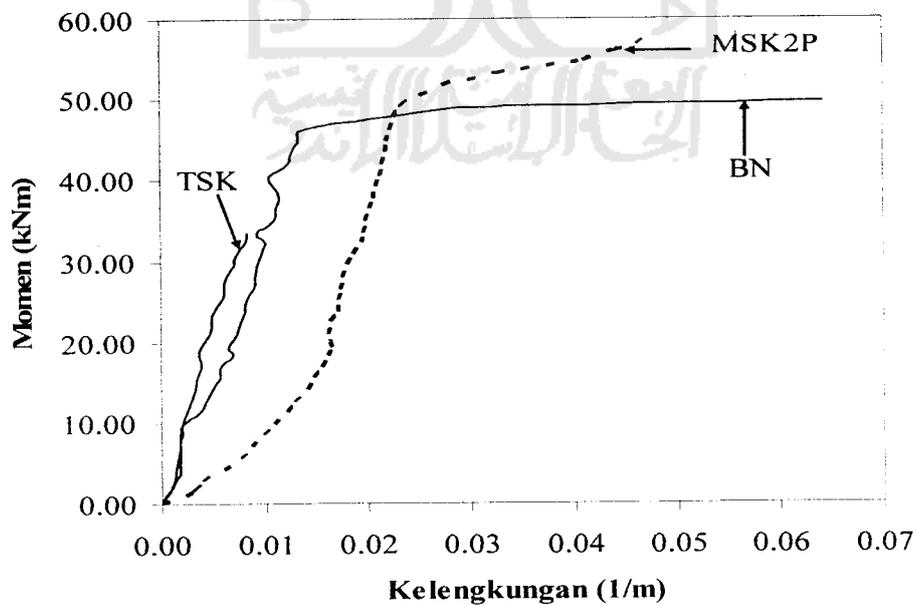
**Tabel 5.7** Hasil Perhitungan kelengkungan teoritis

Model	M <sub>rt</sub> (kNm)	Φ <sub>rt</sub> (1/m)	M <sub>y</sub> (kNm)	Φ <sub>y</sub> (1/m)	M <sub>u</sub> (kNm)	Φ <sub>u</sub> (1/m)
BN	12,71503	0,001452	55,98616	0,008384	55,91876	0,010233



Gambar 5.7 Grafik hubungan momen Teoritis

### 1. Momen-Kelengkungan Balok MSK2P

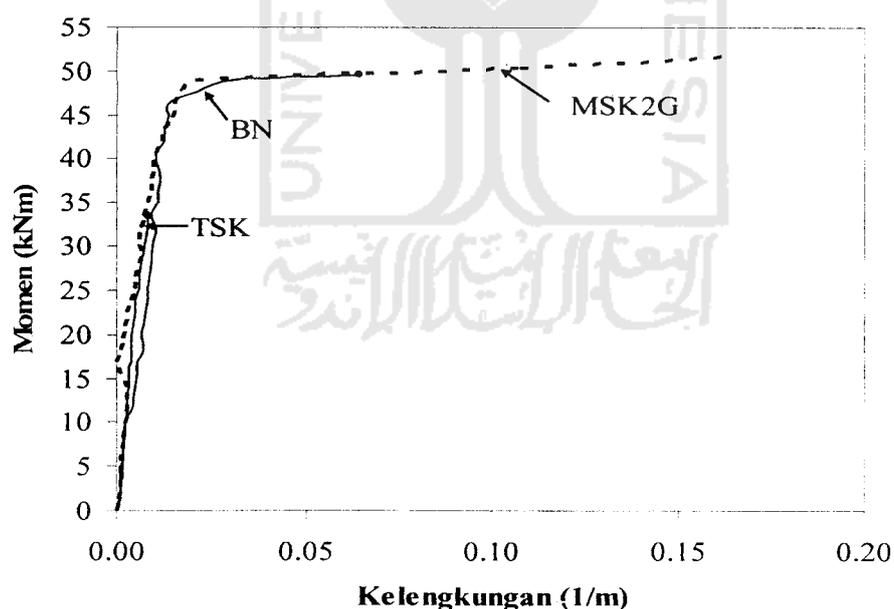


Gambar 5.8 Grafik momen balok MSK2P

Momen ultimit untuk balok MSK2P lebih besar dari balok normal (BN) seperti pada Gambar 5.8, hal tersebut membuktikan bahwa penambahan kawat stirrimin sebanyak dua lapis pada seluruh bentang balok mempunyai pengaruh yang

cukup besar, dilihat dari kelengkungan yang terjadi, pada balok MSK2P mempunyai nilai kelengkungan ultimit lebih kecil, dikarenakan penambahan kawat dua lapis lebih memberikan kontribusi pada kekuatan dalam menahan keretakan. retak tunggal daerah geser pada TSK menyebabkan keruntuhan tiba-tiba, disebabkan tidak adanya tulangan geser yang menahan gaya geser. Untuk BN gaya geser yang terjadi masih dapat tereliminir oleh adanya sengkang, akan tetapi hal tersebut belum banyak membantu dalam menahan retak, berbeda dengan MSK2P, balok ini mempunyai kekuatan untuk menahan runtuh akibat gaya geser, dengan menahan retak tunggal dan menciptakan retak-retak kecil pada bentang lentur balok sehingga balok lebih kuat dalam menahan beban serta tidak menyebabkan runtuh geser.

## 2. Momen-Kelengkungan Balok MSK2G

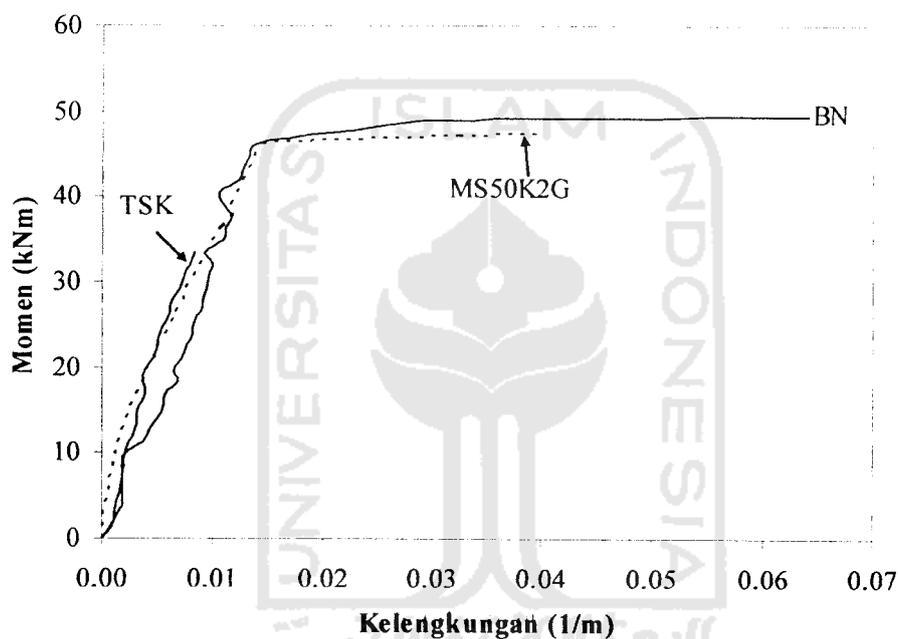


**Gambar 5.9** Grafik momen balok MSK2G

Pada balok MSK2G nilai momen ultimitnya hampir sama dengan BN maupun TSK, dan memiliki kelengkungan yang lebih besar nilainya (Gambar 5.9). MSK2G merupakan balok yang diberi perkuatan sengkang dan kawat strimin sebanyak dua lapis pada daerah geser. Penambahan kawat strimin dua lapis di daerah geser memberikan kontribusi tidak banyak seperti MSK2P di atas, pada

balok MSK2G tetap memberikan kekuatan. Untuk momen maksimum tidak terpaut jauh antara BN dan MSK2G dengan nilai 46.2 kNm dan 49 kNm. Hal ini disebabkan balok diperkuat strimin hanya pada daerah geser saja sehingga balok mampu menahan beban dengan lendutan yang paling besar.

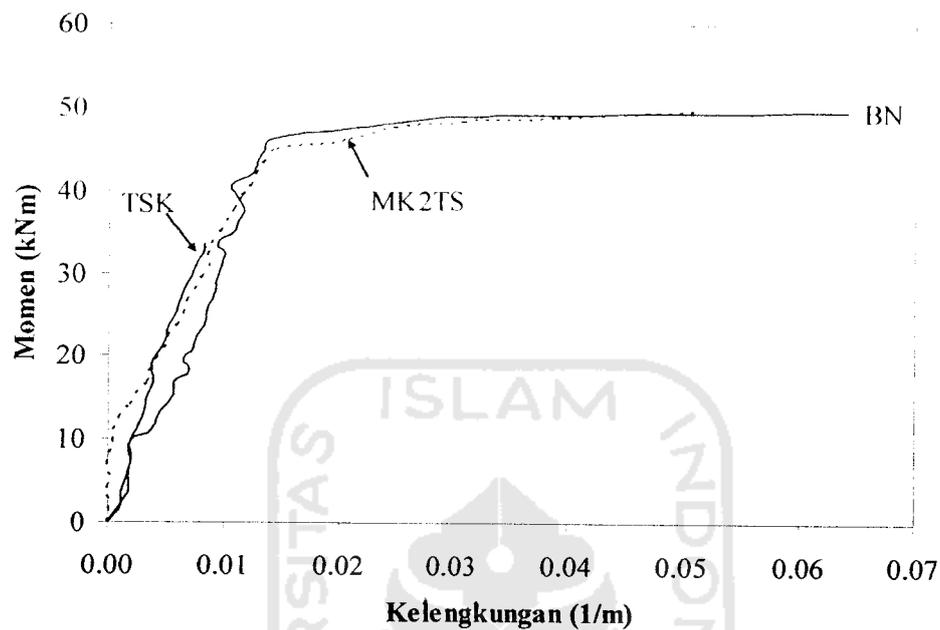
### 3. Momen-Kelengkungan Balok MS50K2G



**Gambar 5.10** Grafik momen balok MS50K2G

Pada Gambar 5.10 terlihat bahwa momen ultimit untuk balok MS50K2G lebih kecil yaitu 46.48 kNm dibandingkan dengan BN yaitu 49.56 kNm, hal ini memberikan pengertian bahwa kawat strimin dua lapis pada daerah geser saja tidak memiliki kekuatan ultimit balok lebih baik, dengan melihat balok MSK2G di atas, kekuatan strimin dua lapis di daerah geser pada MS50K2G tidak lebih baik dikarenakan adanya pengurangan jumlah tulangan geser (sengkang) sebanyak 50%. Kelengkungan untuk balok tersebut lebih kecil dibanding balok normal, tetapi lebih besar dari balok tanpa sengkang.

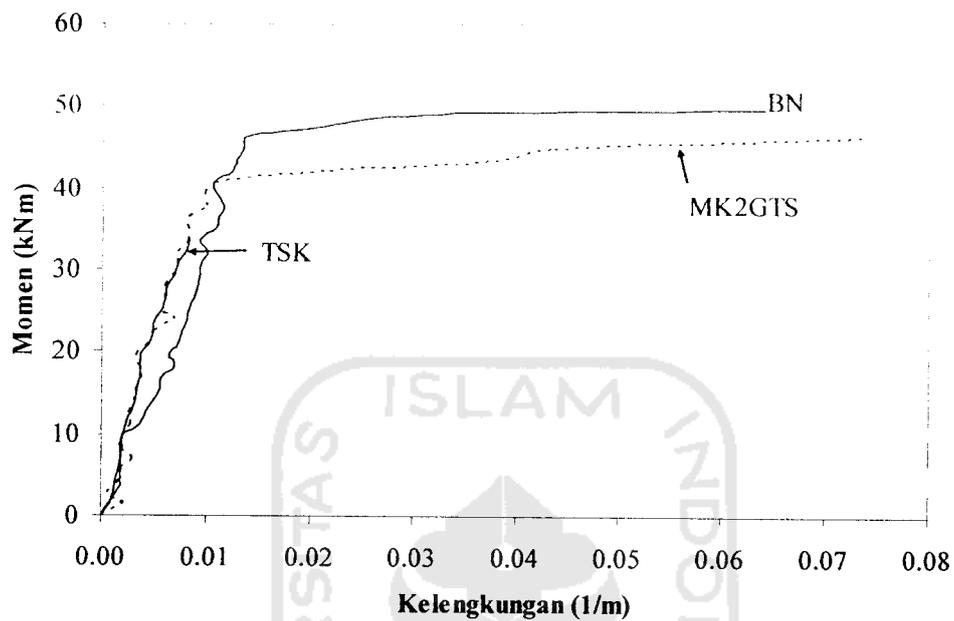
#### 4. Momen-Kelengkungan Balok MK2TS



**Gambar 5.11** Grafik momen balok MK2TS

Balok MK2TS nilai momen ultimitnya sama dengan BN, dan memiliki kelengkungan yang lebih kecil nilainya, yaitu untuk MK2TS 0.000405 1/m dan BN 0.064111 1/m, lihat Gambar 5.11. MK2TS merupakan balok yang diberi perkuatan kawat strimin sebanyak dua lapis pada seluruh bentang balok dan tanpa menggunakan perkuatan sengkang. Penambahan kawat strimin dua lapis pada keseluruhan tanpa sengkang memiliki momen ultimit yang sama dengan sengkang tidak memberikan kontribusi banyak. Untuk momen maksimum nilai sama besar antara BN dan MK2TS yaitu 49.56 kNm dan 49.56 kNm

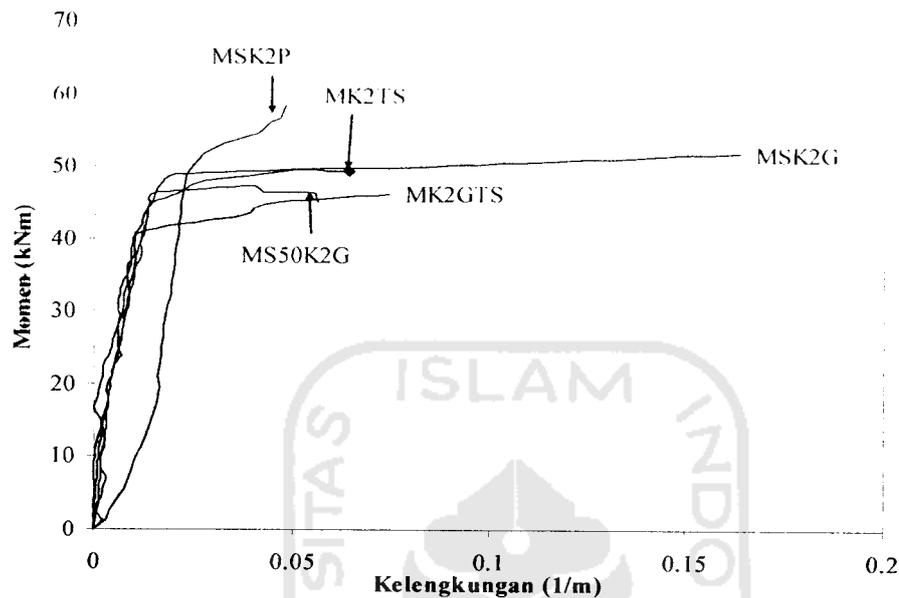
### 5. Momen-Kelengkungan Balok MK2GTS



**Gambar 5.12** Grafik momen balok MK2GTS

Pada balok MK2GTS nilai momen ultimitnya lebih kecil dibandingkan dengan BN yaitu 46.2 kNm dan 49.56 kNm dan memiliki kelengkungan yang lebih besar nilainya yaitu MK2GTS 0.074 1/m dan BN 0.064111 1/m (Gambar 5.12). MK2GTS merupakan balok yang diberi perkuatan kawat strimin sebanyak dua lapis pada daerah geser balok dan tanpa menggunakan perkuatan sengkang.

## 6. Momen-Kelengkungan Balok Variasi



**Gambar 5.13** Grafik momen semua balok variasi

Penambahan kawat strimin menyebabkan balok memiliki momen dan kelengkungan yang berbeda, grafik pada Gambar 5.13 menunjukkan perbedaan momen dan kelengkungan akibat dari penambahan kawat strimin dengan pemasangan yang bervariasi. Balok normal (BN) merupakan balok yang memakai tulangan pokok dan sengkang, sedangkan balok normal tanpa sengkang (TSK) yaitu balok yang menggunakan tulangan pokok tanpa memakai sengkang. Kedua balok, BN dan TSK berfungsi sebagai balok kontrol atau sebagai pembanding terhadap balok yang menggunakan variasi penambahan kawat strimin. Balok variasi MSK2P merupakan balok normal dengan menambahkan kawat strimin sebanyak dua lapis pada daerah geser dan lentur balok, momen ultimit yang dihasilkan jauh lebih besar dari pada BN maupun TSK, akan tetapi menghasilkan nilai kelengkungan yang lebih kecil terhadap BN, perilaku ini menunjukkan balok MSK2P lebih kaku (*rigid*) dan lebih baik dalam menerima beban. Pada balok MK2TS atau balok dengan perkuatan strimin pada daerah geser dan lentur tanpa menggunakan sengkang, kelengkungan lebih besar dari BN dan momen yang mampu diterima sampai balok runtuh lebih kecil dibandingkan dengan BN, hal ini menunjukkan bahwa perbandingan antara penggunaan kawat strimin dua lapis dan

penggunaan tulangan sengkang sebagai perkuatan dalam menerima gaya geser, masih lebih baik dengan penambahan tulangan sengkang. Balok MK2TS sebagai perbaikan dari perilaku TSK, sebab balok MK2TS menghasilkan perbedaan perilaku dan kekuatan yang lebih baik terhadap TSK. Balok MSK2G adalah balok normal yang diberi perkuatan kawat strimin dua lapis pada daerah gesernya, momen yang dihasilkan jauh lebih besar dari BN dan lebih dakti, bahkan menyamai besar momen balok MSK2P, akan tetapi daktilitas balok MSK2P masih lebih baik dari MSK2G. Momen ultimit besar merupakan pengaruh dari penambahan kawat strimin pada seluruh daerah lentur dan atau daerah geser. Pada variasi balok MS50K2G (balok dengan penggunaan sengkang pada daerah lentur dan sengkang pada daerah geser sebanyak 50% serta strimin dua lapis pada daerah geser), momen yang didapat sama besar dengan BN dan kelengkungan yang dihasilkan lebih besar dari BN, ini menunjukkan bahwa penambahan kawat strimin dua lapis pada daerah geser dapat menggantikan setengah jumlah sengkang di daerah geser pada balok normal, dalam menghasilkan momen. Pada perbandingan kelengkungan MS50K2G lebih dakti dari BN. Untuk penambahan kawat strimin dua lapis di daerah geser pada TSK atau MK2GTS, momen yang dihasilkan jauh lebih besar dari TSK, hal tersebut menunjukkan kawat strimin dua lapis memperbaiki kualitas TSK dalam menahan gaya geser menjadi jauh lebih baik, tetapi momen yang dihasilkan masih lebih kecil dibanding BN. Dari hasil tersebut penambahan kawat strimin dua lapis pada balok meningkatkan kedaktilitasan balok dan momen.

#### **5.4.3 Analisa Balok Terhadap Kuat Lenturnya**

Dari Hasil pengamatan kuat lentur balok kemudian dianalisa lebih lanjut faktor kekakuan, daktilitas balok, dan momen kapasitas balok. Analisa meliputi rasio kekakuan balok dari lendutan balok, rasio momen dari pengamatan kelengkungan.

### 1. Analisa Faktor Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit deformasi, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar sudut kemiringannya (Dipohusodo, 1991). Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-defleksi maupun momen-kelengkungn dapat disimpulkan tentang kekakuan balok pada beban ultimit disajikan pada Tabel 5.8.

**Tabel 5.8**Analisa kekakuan

Model	Kekakuan Balok ( $P_y/\Delta y$ ) (kN/mm)	Rasio terhadap Kekakuan BN	Kekakuan EI ( $M_y/\Phi_y$ ) (kN)	Rasio terhadap Kekakuan EI balok BN
BN	26,583	1	3353,226	1
TSK	42,770	1,609	4025	1.200
MSK2P	25,786	0,970	2120,192	0.632
MSK2G	27,884	1,049	2396,739	0.715
MS50K2G	29,641	1,115	3198,462	0.954
MK2TS	32,389	1,218	3125,581	0.932
MK2GTS	32,955	1,240	3806,250	1.135

Tidak adanya tulangan geser pada badan balok TSK membuat balok ini menjadi getas, sehingga nilai kekakuannya lebih besar 1,6 kali dari balok yang menggunakan sengkang (BN). Sama halnya pada balok MK2TS dan MK2GTS dengan variasi strimin tanpa sengkang, nilai kekakuannya lebih besar 22 % dan 24 % nilai ini lebih kecil daripada perbandingan BN dengan TSK karena pada balok MK2TS dan MK2GTS diperkuat kawat strimin 2 lapis pada badan balok.

Dari nilai kekakuan EI setiap balok variasi strimin dan sengkang (MSK2P, MSK2G, MS50K2G) nilainya lebih kecil dari balok kontrol (BN), hal ini disebabkan kawat strimin yang terpasang pada badan balok baik dibentang lentur maupun geser mampu memberikan kontribusi kuat tarik ketika gaya geser mulai bekerja.

## 2. Daktilitas Balok

Daktilitas pada hakekatnya adalah perbandingan antara simpangan maksimum dengan simpangan pada saat luluh awal pada komponen struktur yang ditinjau (Dipohusodo, 1991). Nilai beban dan momen saat luluh awal dan ultimit diperoleh dengan mengamati grafik defleksi, momen, tabel perhitungan beban dan momen.

**Tabel 5.9** Analisa Daktilitas

Model	Daktilitas Simpangan $\Delta u/\Delta y$	Rasio Daktilitas Simpangan terhadap BN	Daktilitas Kelengkungan $\Phi u/\Phi y$	Rasio Daktilitas Kelengkungan terhadap BN
BN	2,723	1	4,653	1
TSK	2,030	0,7456	1,028	0,468
MSK2P	1,692	0,6212	2,072	0,445
MSK2G	2,331	0,8561	8,000	1,719
MS50K2G	1,597	0,5864	3,800	0,592
MK2TS	2,142	0,7867	0,028	0,768
MK2GTS	3,355	1,2319	6,938	1,491

Kecilnya nilai daktilitas balok variasi sengkang dan kawat strimin dari balok kontrol BN dipengaruhi oleh kurang efektifnya kawat strimin saat beban bekerja. ketika terjadi keruntuhan pada balok, kawat strimin belum mencapai kuat tarik maksimalnya. Lain halnya jika dilihat besarnya lendutan antara beban leleh pertama dan ultimit pada balok model MK2GTS yang mempunyai nilai daktilitas simpangan terbesar, yaitu 23 % kali lebih besar dari balok kontrol BN. Pada balok MK2GTS kawat strimin efektif menahan gaya tarik yang terjadi sampai terjadinya keruntuhan, karena kawat strimin pada balok MK2GTS berfungsi sebagai pengganti sengkang di daerah bentang geser. Ini berarti balok MK2GTS merupakan balok yang paling daktil.

Sama halnya dengan daktilitas simpangan, nilai daktilitas kelengkungan balok variasi lebih kecil dari balok kontrol BN terkecuali balok MK2GTS dan MSK2G. Untuk balok MK2GTS disebabkan sama seperti yang sudah dibahas di atas, sedangkan pada balok MSK2G bentang geser diberi kawat strimin sedangkan

daerah lentur hany diperkuat sengkang.. Keruntuhan lentur ini disebabkan kuat tarik daerah bentang lentur lebih kecil dari kuat tarik bentang geser.

### 3. Momen Kapasitas Balok

Momen kapasitas pada balok pengujian adalah kondisi batas saat balok mengalami momen, momen yang diambil dari data adalah momen ultimit. Untuk momen teoritisnya diambil dari perhitungan perencanaan balok dengan persamaan 3.14.

**Tabel 5.10** Kapasitas Momen

Model	Kapasitas momen teoritis $M_n$ (kNm)	Kapasitas momen hasil uji, $M_n$ (kNm)	Persentase terhadap $M_n$ teoritis	Rasio terhadap $M_n$ BN	Rasio terhadap $M_n$ TSK
BN	54.955	49,56	90,183	1	1.475
TSK	54.955	33,6	61,141	0.678	1
MSK2P	54.955	58,24	105,978	1.175	1.733
MSK2G	54.955	51,8	94,259	1.045	1.542
MS50K2G	54.955	46,48	84,578	0.938	1.383
MK2TS	54.955	49,56	90,183	1	1.475
MK2GTS	54.955	46,2	84,069	0.932	1.375

Untuk analisa teoritis setiap balok berdasarkan balok normal maka nilai kapasitas momennya sama. Untuk momen yang terjadi pada hampir semua benda uji balok nilainya lebih kecil dari hitungan perencanaan, kecuali balok MSK2P. Pada perencanaan balok dihitung hanya berdasarkan kuat lentur dan kuat gesernya, dari gaya geser dihitung tulangan geser yang akan dipakai, sedangkan pada balok MSK2P sepanjang badan balok diperkuat tulangan geser sesuai perhitungan teoritis dan kawat strimin 2 lapis.

Kombinasi sengkang dan kawat strimin pada balok MSK2P, MSK2G momen nominalnya lebih besar dari balok kontrol BN, peningkatannya sebesar 17 % dan 4 % dari balok BN Penggunaan strimin disepanjang badan balok sebagai pengganti sengkang sangat efektif menahan momen yang terjadi seperti pada balok MK2TS, karena besarnya momen nominal sama dengan balok kontrol (BN)

Secara keseluruhan baik sengkang maupun kawat strimin 2 lapis mampu memberikan kontribusi pada balok dalam menahan momen yang terjadi, hal ini bisa diamati jika dibandingkan dengan balok kontrol tanpa sengkang (TSK).

#### **5.4.4. Analisa Geser Balok**

Kerusakan pada struktur beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada beton ditahan oleh tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser pada beton umumnya ditahan oleh tulangan geser yang biasanya berupa sengkang. 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 (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986). Untuk penelitian kali ini sebagai perkuatan geser balok diberikan selubung berupa kawat strimin sebanyak 2 lapis, diharapkan penambahan kawat strimin mampu menahan gaya geser yang terjadi. Kemampuan menahan gaya geser yang terjadi kemudian dibandingkan dengan balok kontrol yang terdiri 2 sampel, yaitu balok dengan sengkang penuh (BN) dan balok tanpa sengkang (TSK), dari perbandingan tersebut bisa diamati apakah terjadi peningkatan ataupun penurunan kuat gesernya.

Pada analisa geser balok pengamatan lebih ditekankan pada daerah yang mengalami retak geser, analisa meliputi kuat geser balok dan perilaku geser balok.

##### **1. Kapasitas Geser Balok**

Untuk mengetahui retak miring pertama dapat dilakukan dengan dua cara pengamatan, yaitu pengamatan secara langsung dengan mengamati pola retak yang terjadi dan berdasarkan pertambahan tinggi balok (Ade Ilham, 1998). Dari pengamatan pola retak pada balok sebagian besar terjadi retak lentur, sedangkan retak miring terjadi pada daerah dekat dukungan yang menjalar miring menuju daerah bentang tengah, retak miring pertama adalah yang mendekati sudut  $45^\circ$ . Berikut adalah tabel kuat geser nominal balok pada saat retak miring pertama penelitian.

**Tabel 5.11** Kapasitas geser retak miring pertama

Model	Vn Pengujian (kN)	Rasio terhadap Vn BN (%)	Vn Teoritis (kN)	Rasio terhadap Vn teoritis
BN	90	1	98,135	0,917
TSK	110	1,222	98,135	1,121
MSK2P	105	1,167	98,135	1,070
MSK2G	135	1,500	98,135	1,376
MS50K2G	105	1,167	98,135	1,070
MK2TS	105	1,167	98,135	1,070
MK2GTS	105	1,167	98,135	1,070

Dari tabel 5.11 seluruh kapasitas geser retak miring pertama untuk balok dengan kekuatan didaerah geser lebih besar dari perhitungan teoritis yaitu 98,135 kN dari persamaan 3.14, hal ini terlihat dari perbandingan hasil pengamatan dengan hasil perhitungan.

Nawy (1985) menyatakan sebuah balok beton bertulang yang ditumpu sederhana diberi beban eksternal akan mengalami momen lentur sekaligus geser, semakin dekat 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 besar sedang retak digonal terjadi pada daerah dimana bekerja gaya geser yang besar. Balok kontrol model TSK yang tidak menggunakan sengkang tidak mampu memikul gaya geser yang terjadi, pada saat pengujian retakan pada daerah bentang geser terjadi secara simultan kemudian mengalami keruntuhan mendadak tanpa adanya peringatan peningkatan bertahap pola retak terhadap beban yang bekerja.

Secara keseluruhan untuk tiap-tiap hasil dari benda uji dengan variasi kawat strimin gaya geser yang terjadi lebih besar dari balok kontrol. Untuk model MSK2P, MSK2G, MS50K2G yaitu balok dengan perkuatan sengkang dan strimin pada badan balok kemudian dibandingkan balok BN didapat peningkatan antara 16% - 50%. Untuk model MK2TS dan MK2GTS yaitu balok yang hanya

diperkuat kawat strimin kemudian dibandingkan dengan balok kontrol model TSK didapatkan peningkatan antara 15 % .

## 2. Momen Retak Miring Balok

Analisa berikutnya adalah mencari momen retak miring pertama. Untuk momen yang terjadi pada saat retak miring pertama diambil dari hasil pengamatan kuat geser nominal balok, beban retak miring pertama merupakan beban yang diberikan pada saat pengujian dikalikan jarak antara letak titik beban pada badan balok dengan tumpuan, data pengamatan kemudian dicari persentasenya terhadap momen retak ultimit yang bekerja pada balok. Data hasil beban retak miring pertama dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12** Momen retak miring pertama

Model	Momen retak miring (kNm)	Momen Ultimit (kNm)	Rasio terhadap Mu	Rasio terhadap Mu BN
BN	25,2	49,560	0.508	1
TSK	30,8	33,6	0.917	0.678
MSK2P	29,4	58,24	0.505	1.175
MSK2G	37,8	51,8	0.730	1.045
MS50K2G	29,4	46,48	0.633	0.938
MK2TS	29,4	49,56	0.593	1
MK2GTS	29,4	46,2	0.636	0.932

Tabel 5.12 memperlihatkan cara menentukan momen retak miring pertama berdasarkan gambar pola retak secara visual dan penandaan beban secara manual, dari pengamatan menunjukkan terdapat perbedaan hasil persentase yang relatif kecil kecuali balok TSK, pada balok TSK sampai terjadinya keruntuhan retak miringnya hanya tiga tahap pembebanan. Pada balok MSK2P nilai persentasenya paling kecil, karena retakan pada balok ini terjadi secara bertahap seiring pembebanannya.

### 5.4.5. Pola Runtuh dan Retak pada Balok

Perilaku awal pada balok bisa diamati selain lendutan yang terjadi yang terbaca dari *data logger* juga pada saat balok mulai mengalami retak, awal retak

terjadi pada tengah bentang yang menjalar tegak lurus panjang bentang balok. Dengan meningkatnya pembebanan pada kondisi pembebanan tertentu balok mulai mengalami retak diagonal yang letaknya dekat tumpuan. Menurut Winter dan Nilson (1991), retak diagonal, sekali terbentuk akan menyebar dengan cara serentak pada saat itu juga atau pada saat adanya pembebanan yang sedikit lebih besar, memotong keseluruhan penampang balok dari tulangan tarik sampai ke permukaan tekan, membelah balok menjadi dua bagian yang menyebabkan keruntuhan. Perilaku geser balok secara keseluruhan pada hasil pengujian memiliki perilaku geser yang hampir sama. Hal ini dapat dilihat dari pola retak yang terjadi pada balok uji. Pola retak yang terjadi menunjukkan pola retak yang disebabkan oleh gaya geser, yaitu retak diagonal yang berawal dari daerah dekat tumpuan merambat secara simultan terhadap pembebanan yang terjadi menuju daerah tekan balok.

Pada balok normal (BN) retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 35 kN seperti terlihat pada gambar 5.14. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat pembebanan 90 kN terjadi retak diagonal. Arah retak diagonal selanjutnya mengarah menuju titik pembebanan balok. Retakan pada balok BN kebanyakan retak lentur, sedangkan retak gesernya hanya ada dua yang terletak di daerah bentang geser.

Pada balok kontrol tanpa sengkang awal retak terjadi pada pembebanan 60 kN seperti terlihat pada gambar 5.15. Keruntuhan pada balok TSK terjadi secara simultan pada pembebanan 120 kN, keruntuhan tidak ditandai pembebanan secara bertahap seperti pada balok lainnya. Tipe keruntuhan yang terjadi adalah runtuh geser karena pada balok ini tidak diperkuat sengkang pada badan balok. Untuk menahan gaya geser yang terjadi, balok hanya mengandalkan kekuatan beton. Pola retak hampir keseluruhan adalah retak lentur kecuali pada daerah bentang geser kanan dari pengamatan, retak inilah yang menyebabkan runtuh.

Dari gambar 5.16 awal retak pada balok MSK2P terjadi pada pembebanan sebesar 40 kN, kemudian pada pembebanan 100 kN pada daerah bentang geser

mulai terjadi retakan. Pada pembebanan selanjutnya, yaitu pada beban 105 kN terjadi retak diagonal. Retak diagonal pada balok MSK2P hanya terjadi pada bentang sebelah kanan peninjauan, untuk daerah yang sebelah kiri hanya retakan lentur yang disertai retakan-retakan baru yang berupa serabut.

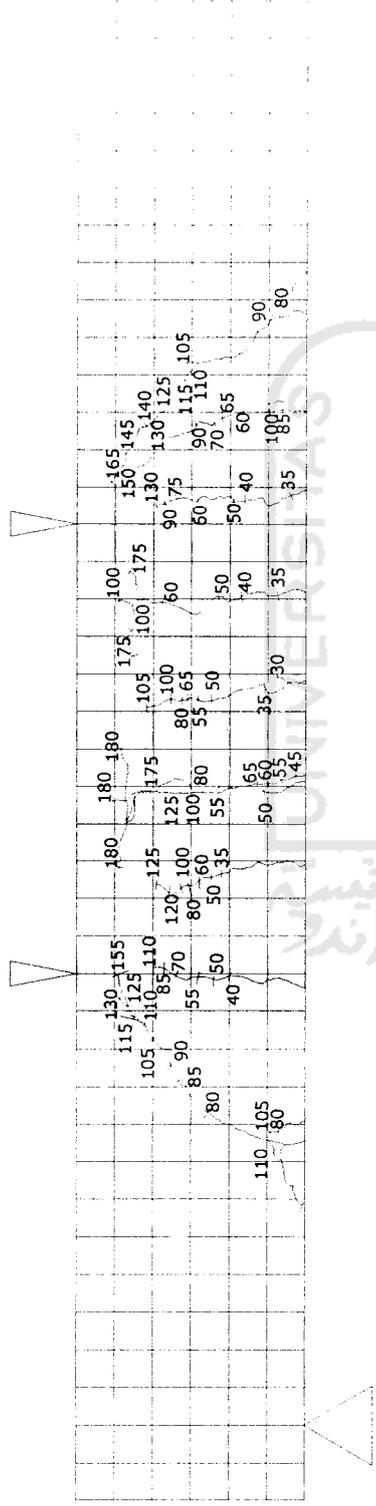
Pada balok MSK2G retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 50 kN seperti terlihat pada gambar 5.17. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat pembebanan 135 kN terjadi retak diagonal. Arah retak diagonal selanjutnya mengarah menuju titik pembebanan balok. Retak lentur di tengah-tengah bentang bercabang membentuk retakan baru yang menuju daerah tekan balok. Hampir semua retakan pada balok ini membentuk retakan baru yang retakan serabut, yang pola retaknya cenderung mengarah ke bawah pada saat pembebanan menuju batas maksimumnya. Keruntuhan pada balok MSK2G disebabkan tarik lentur, sehingga pada daerah bentang lentur lebar retak didaerah lentur lebih lebar daripada lebar retak daerah gesernya.

Pada balok MS50K2G retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 25 kN seperti terlihat pada gambar 5.18. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat pembebanan 105 kN terjadi retak diagonal. Arah retak diagonal selanjutnya mengarah menuju titik pembebanan balok. Hampir semua pola retaknya membuat retakan baru seiring pembebanannya, arah retakan baru tersebut cenderung membentuk retak diagonal yang letaknya mengikuti retakan lama seiring gaya tarik yang terjadi.

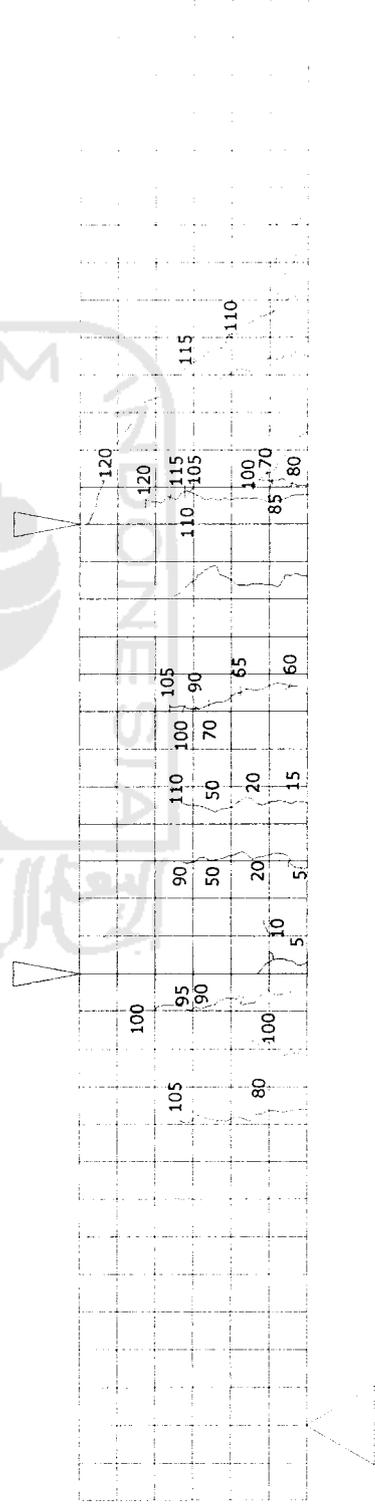
Pada balok MK2TS retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 30 kN seperti terlihat pada gambar 5.19. Kemudian pada saat pembebanan 105 kN terjadi retak diagonal, arah retak diagonal selanjutnya mengarah menuju titik pembebanan balok. Pola retak geser hanya terdapat pada bagian bentang geser yang menuju titik beban

Pada balok MK2GTS retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 30 kN seperti terlihat pada gambar 5.20. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat pembebanan 105 kN terjadi retak diagonal. Arah retak diagonal selanjutnya mengarah menuju titik pembebanan balok. Retak yang terjadi kebanyakan retak lentur, retak geser hanya terjadi pada sisi kanan pengamatan balok

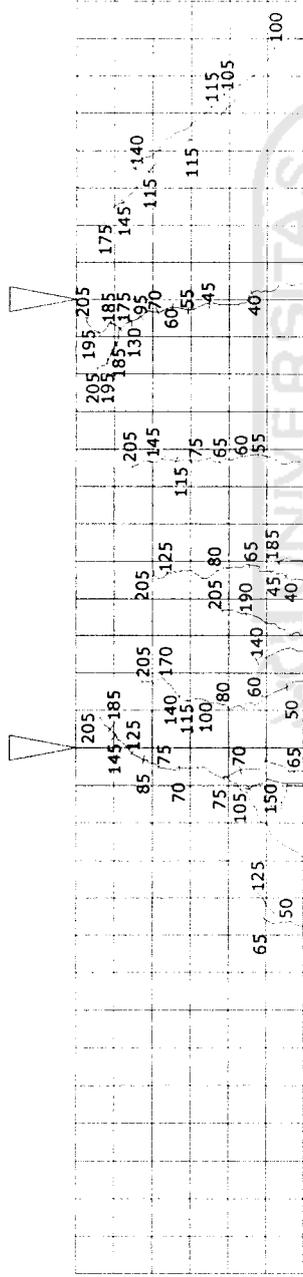




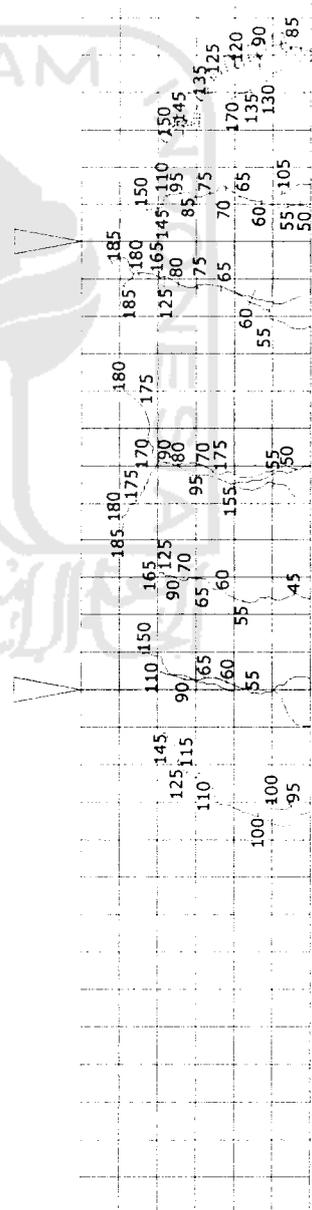
Gambar 5.14 Pola kerusakan balok kontrol (BN)



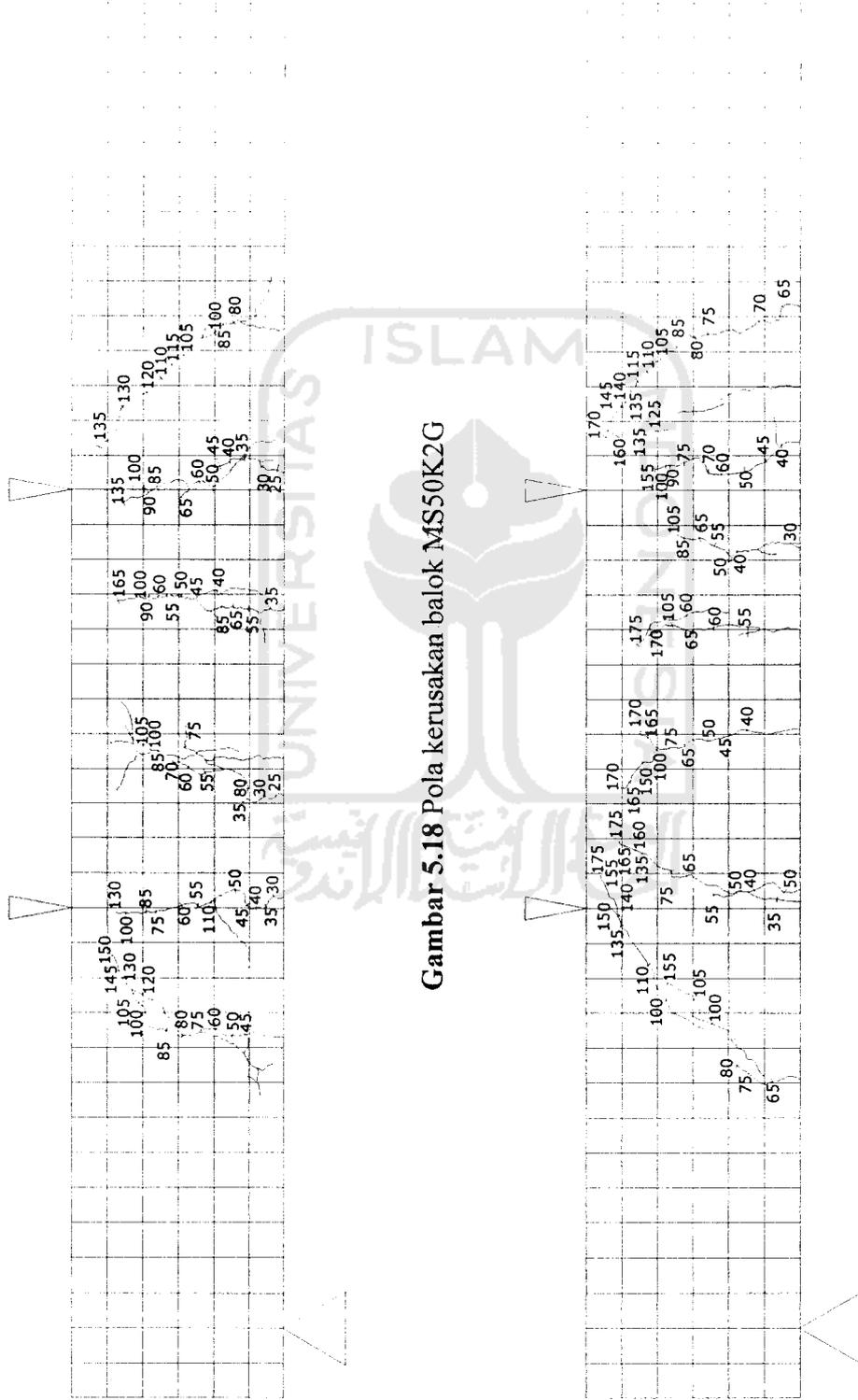
Gambar 5.15 Pola kerusakan balok kontrol tanpa sengkang (TSK)



Gambar 5.16 Pola kerusakan balok MSK2P

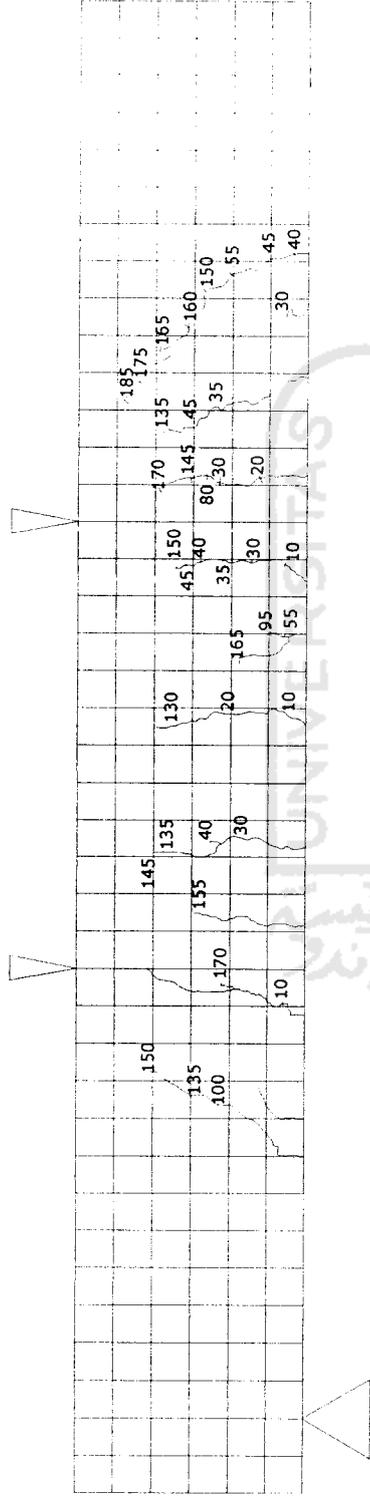


Gambar 5.17 Pola kerusakan balok MSK2G



Gambar 5.18 Pola kerusakan balok MS50K2G

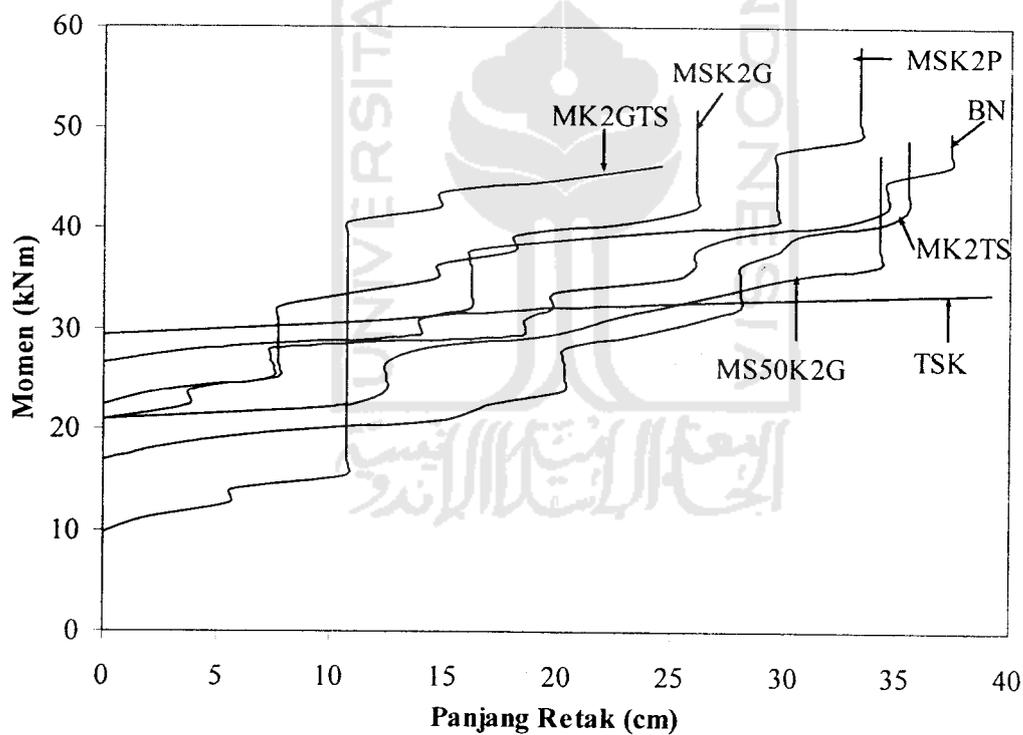
Gambar 5.19 Pola kerusakan balok MK2TS



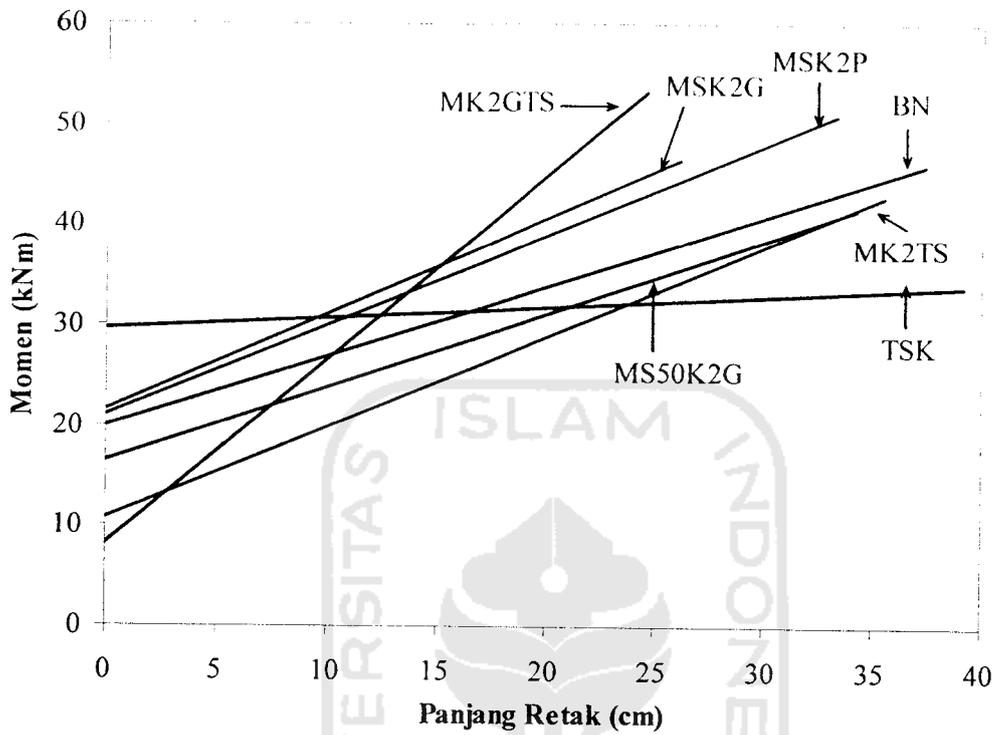
Gambar 5.20 Pola kerusakan balok MK2GTS

#### 5.4.6. Hubungan Panjang Retak dengan Momen

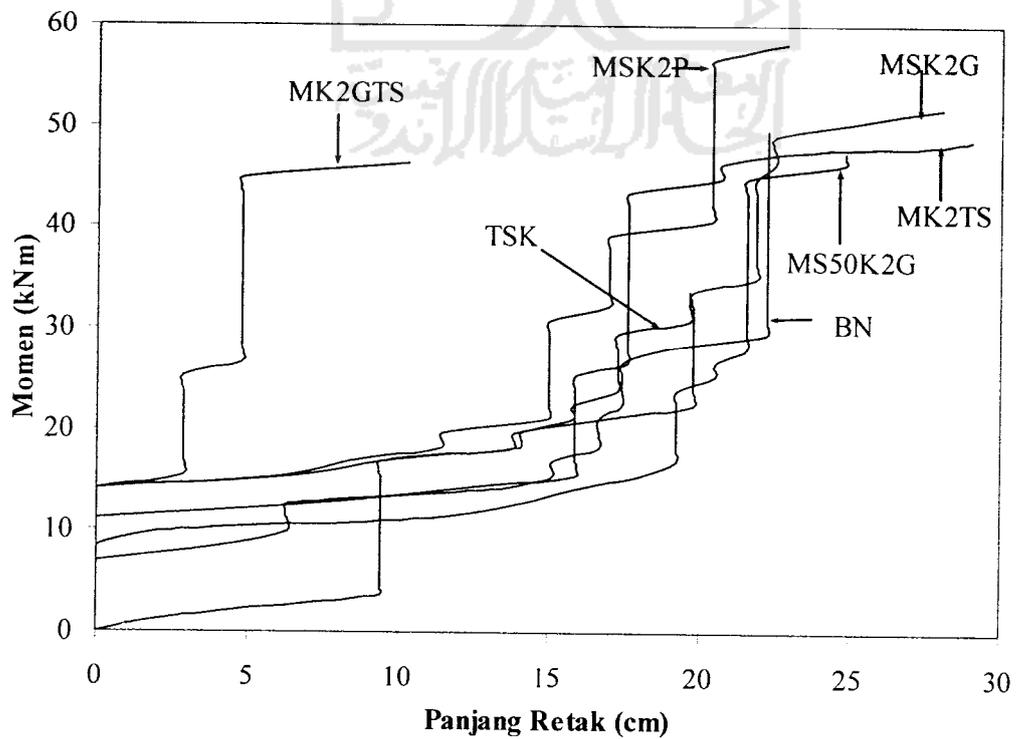
Pertambahan panjang retak pada balok seiring dengan peningkatan pembebanan yang terjadi, Pada balok yang mengalami retak lentur pertambahan panjang tegak lurus terhadap bentang balok, sedangkan retak gesernya membentuk sudut  $< 45^\circ$  terhadap sumbu arah panjang bentang balok. Untuk memudahkan pengamatan pengaruh kawat strimin pada balok terhadap panjang retak disajikan dalam bentuk grafik hubungan panjang retak terhadap momen yang bekerja, seperti pada gambar 5.21.



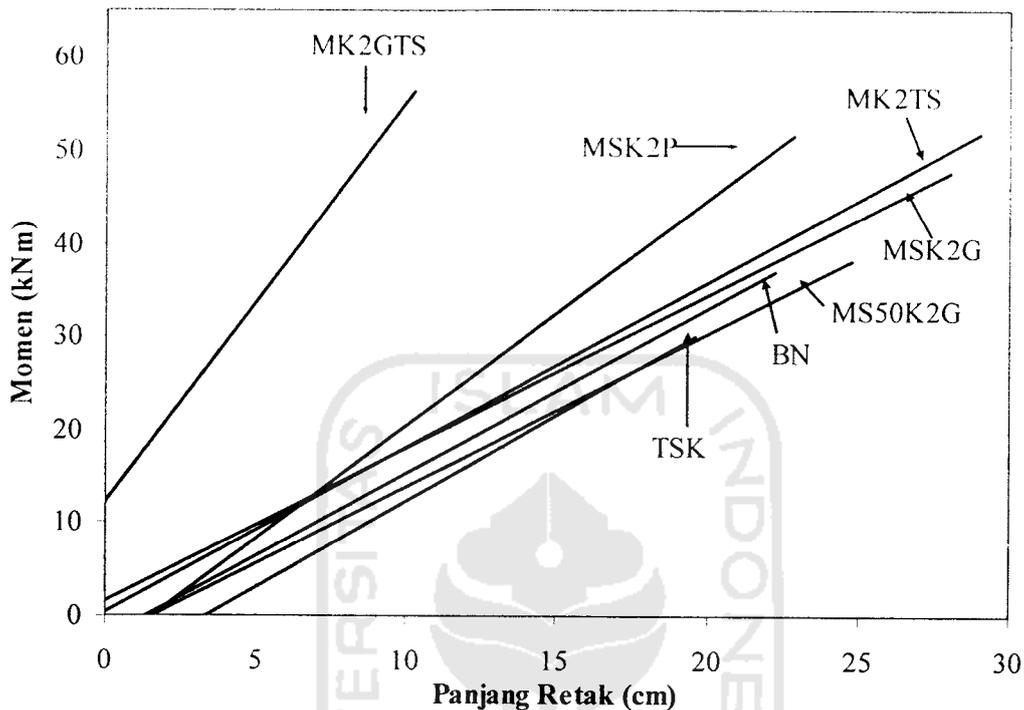
Gambar 5.21 Grafik panjang retak lentur



**Gambar 5.22** Grafik regresi panjang retak lentur



**Gambar 5.23** Grafik panjang retak geser



**Gambar 5.24** Grafik regresi panjang retak geser

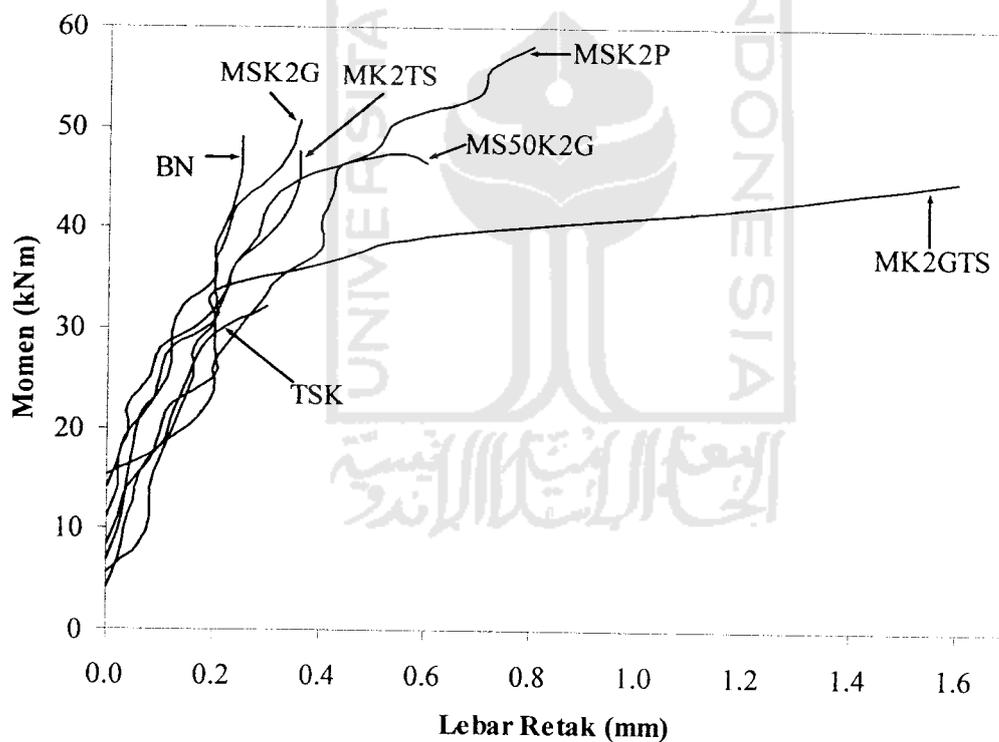
Dari gambar 5.21 dan 5.23 dapat dilihat perambatan retak seiring momen yang diterima oleh balok, untuk memudahkan pengamatan grafik dibuat grafik regresi liniernya, seperti pada gambar 5.22 dan 5.24.

Pada retak lentur tulangan geser yang berupa sengkang sangat berpengaruh memperlambat retak balok, seperti pada balok MKTS dan MS50K2G, tanpa adanya sengkang ataupun pengurangan sengkang sebanyak 50% di daerah bentang geser, perambatan retak lebih cepat pada momen yang sama jika dibandingkan dengan balok kontrol BN. Sebaliknya jika sengkang tersebut ditambah perkuatan kawat strimin 2 lapis rambatan retak lebih lambat dari balok kontrol.

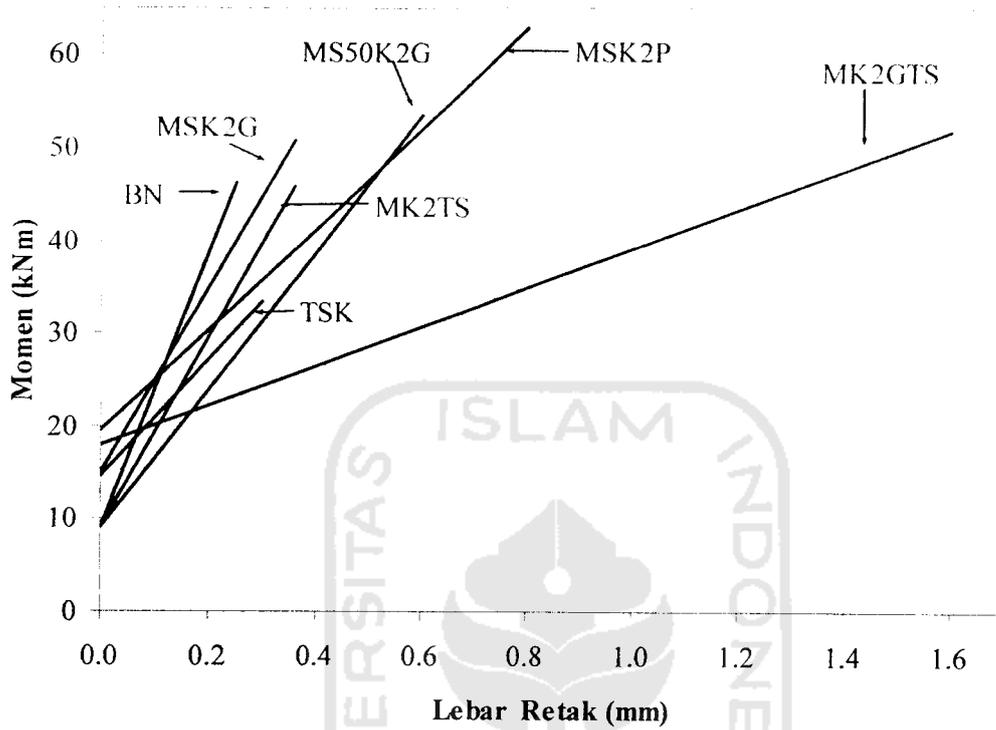
Pada retak geser seperti terlihat pada gambar 5.23, pemasangan kawat strimin sebanyak 2 lapis lebih efektif memperlambat rambatan retak daripada hanya dipasang sengkang, seperti yang terlihat pada grafik linier antara balok MKTS dengan balok kontrol BN.

#### 5.4.7. Hubungan lebar retak dengan momen

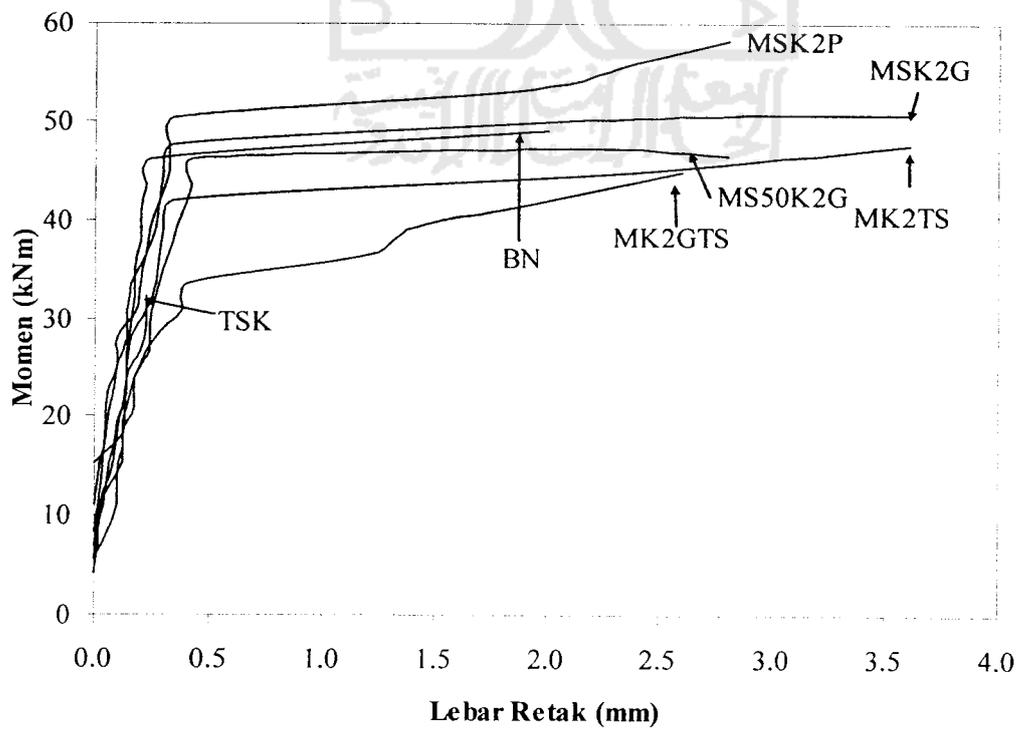
Lebar retak pada balok yang mengalami pembebanan berbanding lurus dengan momen yang bekerja, semakin besar momen yang bekerja pada balok maka retak yang terjadi semakin lebar. Beton dapat retak pada tahap awal riwayat pembebanannya karena material ini lemah terhadap tarik (Nawy, 1985), pada balok yang mengalami tarik maka retakan pada daerah tarik lebih lebar daripada daerah yang mengalami gaya desak, seperti yang terlihat pada pengamatan selama pengujian, retak dimulai dari bawah dan kelebarannya semakin menyempit ketika menuju daerah desak balok.



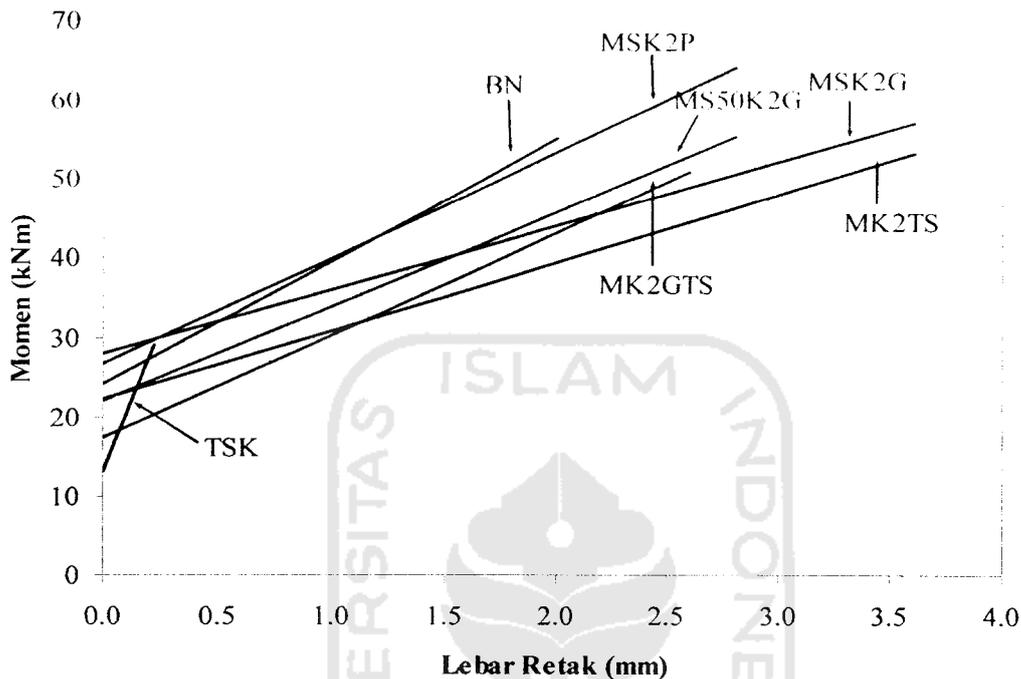
**Gambar 5.25** Grafik lebar retak lentur



Gambar 5.26 Grafik regresi lebar retak lentur



Gambar 5.27 lebar retak geser



**Gambar 5.28** Grafik regresi lebar retak geser

Dari gambar 5.26 yang merupakan grafik linier dari gambar 5.25 hampir semua balok variasi lebar retak lenturnya lebih besar dari balok kontrol BN, tetapi momen yang bekerja lebih besar. Pada balok MS50K2G, MK2GTS, dan MSK2G kawat strimin yang dipasang pada daerah bentang geser turut mempengaruhi perambatan retak lentur, hal ini bisa dilihat jika ketiga balok tersebut dibandingkan balok kontrol BN.

Pada lebar retak geser hampir semua yang balok yang memakai sengkang ataupun kawat strimin 2 lapis, lebar retak yang terjadi terhadap momen yang bekerja membentuk grafik yang cenderung sejajar, hal ini sebabkan karena semua balok tersebut mengalami runtuh lentur. Pada balok TSK arah grafik menyimpang dari grafik balok lainnya, karena balok ini mengalami runtuh geser sebagai akibat tidak adanya sengkang yang menahan gaya geser.