

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi : pengujian material (agregat kasar dan halus), kuat tarik kawat strimin, kuat tarik tuangan, kuat desak beton, kuat lentur beton, kuat geser beton, kuat tarik belah beton dan pengujian kuat lentur dan kuat geser balok normal maupun balok kawat strimin. Data yang dihasilkan adalah : kuat tarik kawat strimin, kuat tarik tulangan, kuat (desak, tarik belah, lentur dan geser) beton dan data dari pengujian utama adalah beban, lendutan, lebar retak dan panjang retak, sehingga dari data-data yang diperoleh dianalisa untuk memperoleh grafik beban-lendutan ($P-\Delta$), grafik momen-kelengkungan ($M-\Phi$), angka kekakuan (k).

5.1 Pengujian Material

5.1.1 Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar

Uji material dimaksudkan untuk mengetahui data awal mengenai agregat yang dipakai. Pengujian dilakukan untuk mencari besar kandungan lumpur dalam pasir, persentase modulus halus butir, berat jenis, serta persentase banyaknya penyerapan air. Data yang didapat dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton.

Pada hasil uji bahan material dapat 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. Analisis data sifat-sifat fisik agregat dapat dilihat pada **Lampiran B.1** sampai **Lampiran B.4**, sedangkan hasil analisis ditunjukkan dalam **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Hasil pengujian material

| 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 |

5.1.2 Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin

Pengujian kuat tarik kawat strimin bentuk wajik/miring yang digunakan dalam balok ferosemen bergaris tengah/diameter 1/48 in sampai 1/24 in (0,5 mm sampai 1,5 mm), dan jarak bukaan antara kawat antara 0,4 in sampai 1 in (10 mm sampai 25 mm) (Abdullah, 1999). Pengujian kuat tarik kawat strimin wajik/miring dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta untuk pengujian ini digunakan kawat strimin wajik/miring dengan panjang 50 cm, tiap sampel diuji dengan 2 parameter, yaitu tarik tunggal dan tarik ganda.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas kawat strimin wajik/miring terpasang yang akan digunakan. Ukuran kawat strimin wajik/miring yang diuji adalah diameter 1,57 mm dan jarak bukaan antara kawat 40 mm, digunakan jarak bukaan 40 mm karena kawat dengan spesifikasi 10 mm sampai 25 mm untuk pengerjaan pengecoran susah dilakukan terutama masuknya agregat kasar pada sela-sela kawat strimin wajik/miring. Hasil dari pengujian kuat tarik kawat strimin wajik/miring dapat dilihat pada **Tabel 5.2**, sedangkan analisis data sifat-sifat fisik agregat dapat dilihat pada **Lampiran B.5**.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin

| No. | Kawat Strimin | Benda Uji | Kuat Tarik (MPa) | Kuat Tarik Rata-rata (MPa) |
|-----|---------------------|---------------|------------------|----------------------------|
| 1 | Bentuk wajik/miring | Kawat tunggal | 359,16 | 398,73 |
| 2 | | Kawat ganda | 438,29 | |



Hasil pengujian kawat strimin wajik/miring ternyata di luar dugaan, tegangan tarik yang terjadi di atas baja dengan spesifikasi SII untuk BJTP 24 dengan batas ulur minimum 235 N/mm^2 dan kuat tarik minimum 382 N/mm^2 .

5.1.3 Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja untuk mengetahui kualitas baja tulangan yang terpasang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta merupakan pengujian terhadap kuat tarik baja tulangan polos diameter 16 mm dan 6 mm, untuk pengujian ini digunakan baja tulangan dengan panjang 50 cm. Analisis data dari hasil pengujian tarik baja dapat dilihat pada **Lampiran B.6**, sedangkan hasil analisis kuat tarik baja **Tabel 5.3**.

Tabel 5.3 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 |

Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa kualitas baja yang dipakai sebagai tulangan pada benda uji balok beton, di mana kuat tarik (F_u) dari sampel uji tarik baja diameter 16 adalah sebesar 484,715 MPa dan tegangan leleh (F_y) adalah 359,556 MPa sedangkan untuk tulangan diameter 6 mm adalah 393,431 MPa untuk kuat tariknya dan 277,566 MPa untuk tegangan lelehnya.

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:

1. Untuk tulangan diameter 16
 - a. P16 dengan $\varnothing 16\text{mm}$, kuat tarik $F_u = 484,715\text{ MPa}$ dan tegangan $F_y = 359,556\text{ MPa}$,
 - b. nilai F_y sebesar $359,556\text{ MPa}$ dari hasil penelitian adalah $74,17\%$ dari nilai F_u ,
 - c. tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian ini adalah 359 MPa ,
 - d. sesuai dengan SII 0136-80 dipakai BJTP 30 dengan batas ulur minimum 294 N/mm^2 , dan kuat tarik minimum 480 N/mm^2 .

2. Untuk tulangan diameter 6
 - a. P6 kurus dengan $\varnothing 6\text{ mm}$, kuat tarik $F_u=393,431\text{ MPa}$ dan tegangan $F_y = 277,566\text{ MPa}$,
 - b. nilai F_y sebesar $277,566\text{ MPa}$ dari hasil penelitian adalah $70,55\%$ dari nilai F_u ,
 - c. tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian ini adalah 277 MPa ,
 - d. sesuai dengan SII 0136-80 dipakai BJTP 24 dengan batas ulur minimum 294 N/mm^2 , dan kuat tarik minimum 480 N/mm^2 .

5.2 Slump

Pengujian *slump* merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran adukan beton. Nilai *slump* menandakan kepadatan atau kecairan campuran beton dan nilai *slump* berpengaruh pada kuat desak beton dan kemudahan dalam pengerjaan. Adukan beton yang memiliki nilai *slump* kecil akan menghasilkan kuat desak beton yang tinggi namun dengan kecilnya nilai *slump* berarti pada saat pencampuran kurang mudah yang menyebabkan sulitnya pengerjaan beton. Hal ini terjadi karena adukan beton lebih kohesif dan penggumpalan agregat kasar dengan mortar sangat mungkin terjadi, sehingga kemungkinan kurang meratanya campuran juga mungkin terjadi.

Nilai *slump* yang digunakan pengujian ini adalah 12 cm , ini sesuai dengan PBBI 1971 (1979) untuk pengerjaan balok nilai *slump* berkisar antara $7,7\text{ cm}$ – 15 cm . Dengan nilai *slump* 12 cm pekerjaan untuk penuangan campuran beton ke

dalam bekesting mudah dikerjakan. Agar campuran beton ini merata digunakan palu dan besi tulangan, palu digunakan dengan cara memukul-mukul sisi samping bekesting agar campuran beton yang ada di atas dapat turun langsung ke dasar bekesting sehingga campuran beton dapat di masukkan kembali sedangkan besi tulangan digunakan dengan cara menusukkan campuran beton yang ada di sela-sela antara tulangan dan kawat strimin wajik/miring atau sisi bekisting bagian dalam dapat turun dengan cepat, sehingga hasil dari beton tidak keropos.

5.3 Kekuatan Beton

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 beton diuji pada umur 28 hari. Untuk menyamakan kekuatan antara sample beton dengan balok pengujian dilakukan pada umur yang sama. Pengujian kuat beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Data hasil pengujian selengkapnya disajikan dalam bentuk tabel pada **Lampiran D**, sedangkan analisis kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur, dan kuat geser dapat dilihat dalam **Tabel 5.4**.

Tabel 5.4 Hasil pengujian beton

| No. | Sifat-sifat Mekanik Bcton Kcras | 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 |

Dari **Tabel 5.4** terlihat bahwa kuat desak silinder beton yang diperoleh lebih besar dari yang direncanakan, yaitu sebesar 20 MPa. Hal ini akan berpengaruh terhadap perancangan kapasitas balok uji beton bertulang. Namun demikian, kapasitas balok dihitung ulang berdasarkan data aktual baik kuat tekan beton maupun tegangan leleh baja.

Parameter kekuatan lainnya, seperti kuat lentur, tarik belah dan geser relatif kecil dibanding kuat desaknya dengan prosentase masing-masing 17,85%, 10,47% dan 15,52%. Walaupun demikian tetap akan memberikan kontribusi pada kekuatan balok uji.

5.3.1 Uji Kuat Desak Beton

Pengujian desak beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat desak sampel benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm yang selanjutnya untuk digunakan dalam analisis balok ferosemen. Pengujian kuat desak beton mengambil 30 sampel silinder beton dan diharapkan sampel tersebut telah mewakili nilai kuat desak yang dibutuhkan.

Pada hasil pengujian kuat desak didapat kuat desak rata-rata 30,908 MPa dari pengujian 30 sampel, kalau melihat dari PBBI 1971 beton hasil pengujian merupakan beton mutu tinggi. Hasil pengujian lebih besar dari perencanaan awal yaitu 20 MPa hal ini disebabkan karena pengujian melebihi umur uji perencanaan.

5.3.2 Uji Kuat Lentur Beton

Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 10 buah menggunakan cetakan balok ukuran 100 mm x 100 mm x 400 mm. Dari hasil pengujian, nilai kuat lentur beton rata-rata sebesar 5,44 MPa dan nilai ini hanya 17,60 % dari kuat desaknya.

5.3.3 Uji Tarik Belah Beton

Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 7 buah menggunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Dari hasil pengujian 7 silinder diperoleh kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,19 MPa, nilai ini hanya 10,32 % dibandingkan dengan kuat desaknya.

5.3.4 Uji Kuat Geser Beton

Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 17 buah menggunakan cetakan balok ukuran 100 mm x 100 mm x 200 mm. Dari hasil pengujian, nilai kuat geser beton rata-rata sebesar 4,73 MPa, nilai ini hanya 15,30 % dari kuat desaknya.

5.4 Pengujian Balok

Pengujian balok beton bertulang untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada balok ferosemen akibat pembebanan. Pengujian balok beton bertulang terdiri dari 7 balok uji dengan penerapan perlakuan berbeda berupa variasi pemakaian sengkang dan kawat strimin wajik/miring dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Universitas Gajah Mada, Jogjakarta. Pengujian balok uji menggunakan *data logger* untuk pembacaan beban tiap kenaikan sebesar 5 kN yang menghasilkan data berupa pengukuran beban, lendutan serta pengamatan retak berupa panjang dan lebar.

5.4.1 Hubungan Beban-Lendutan

Data mengenai hubungan antara beban-lendutan diperoleh dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban-lendutan. Dari data yang telah diperoleh kemudian digambarkan dalam bentuk grafik untuk tiap-tiap balok agar lebih mudah mengetahui perbandingan beban-lendutan yang terjadi antara balok kontrol dengan balok yang menggunakan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring. Secara keseluruhan setiap balok uji pada dasarnya memiliki perilaku kuat lentur yang hampir sama dimulai dari tepi sampai tengah bentang dengan pembebanan awal kurva masih tampak linier tetapi setelah mencapai pembebanan maksimum (P_u) kurva mulai kelihatan datar dengan beban yang tetap sedangkan lendutannya mengalami peningkatan.

Tabel 5.5 Analisa data pembebanan balok

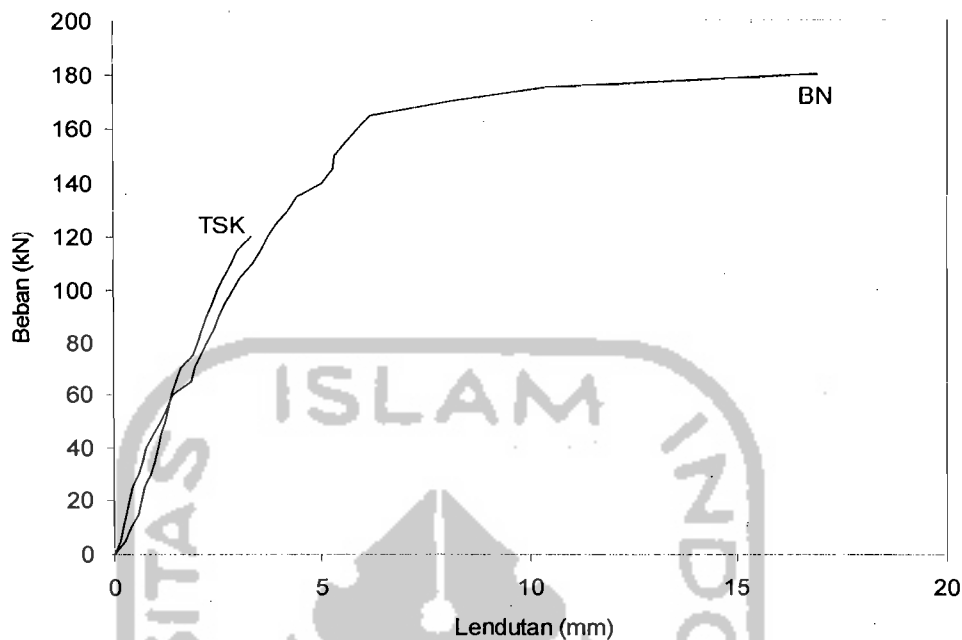
| Model | Beban Retak Awal (Prt) (kN) | Prt BN / Prt Variasi (%) | Beban Leleh Pertama (Py) (kNm) | Py BN / Py Variasi (%) | Beban Ultimit (Pu) (kNm) | Pu BN / Pu Variasi (%) |
|--------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| TSK | 15 | 42,857 | 70 | 42,424 | 120 | 66,667 |
| BN | 35 | 100 | 165 | 100 | 180 | 100 |
| MKTS | 45 | 128,571 | 175 | 106,061 | 190 | 105,556 |
| MKGTS | 45 | 128,571 | 175 | 106,061 | 184 | 102,222 |
| MSKP | 45 | 128,571 | 170 | 103,030 | 185 | 102,778 |
| MSKG | 45 | 128,571 | 145 | 87,879 | 162 | 90 |
| MS50KG | 40 | 114,286 | 145 | 87,879 | 188 | 104,444 |

Tabel 5.6 Analisa data lendutan balok

| Model | Lendutan Saat Retak Awal (Δr) (mm) | Δr BN / Δr Variasi (%) | Lendutan Saat Leleh (Δy) (mm) | Δy BN / Δy Variasi (%) | Lendutan Saat Ultimit (Δu) (mm) | Δu BN / Δu Variasi (%) |
|--------|--|--|---|--|---|--|
| TSK | 0,580 | 81,69 | 1,637 | 26,373 | 3,323 | 19,655 |
| BN | 0,710 | 100 | 6,207 | 100 | 16,907 | 100 |
| MKTS | 0,617 | 86,90 | 5,360 | 86,354 | 11,357 | 67,173 |
| MKGTS | 0,380 | 53,52 | 5,647 | 90,978 | 11,750 | 69,498 |
| MSKP | 0,643 | 90,56 | 6,620 | 106,654 | 12,033 | 71,172 |
| MSKG | 0,833 | 117,32 | 4,510 | 72,660 | 13,290 | 78,606 |
| MS50KG | 0,640 | 90,141 | 4,510 | 72,660 | 10,693 | 63,246 |

Data hasil pengujian selengkapnya disajikan dalam bentuk tabel pada **Lampiran F**. Dari perbandingan antara **Tabel 5.5** dan **Tabel 5.6** dapat dilihat terhadap peningkatan atau penurunan kekuatan dan lendutan yang bervariasi, hal tersebut disebabkan banyak faktor terutama pada variasi terhadap pemakaian sengkang dan kawat strimin bentuk wajik/miring.

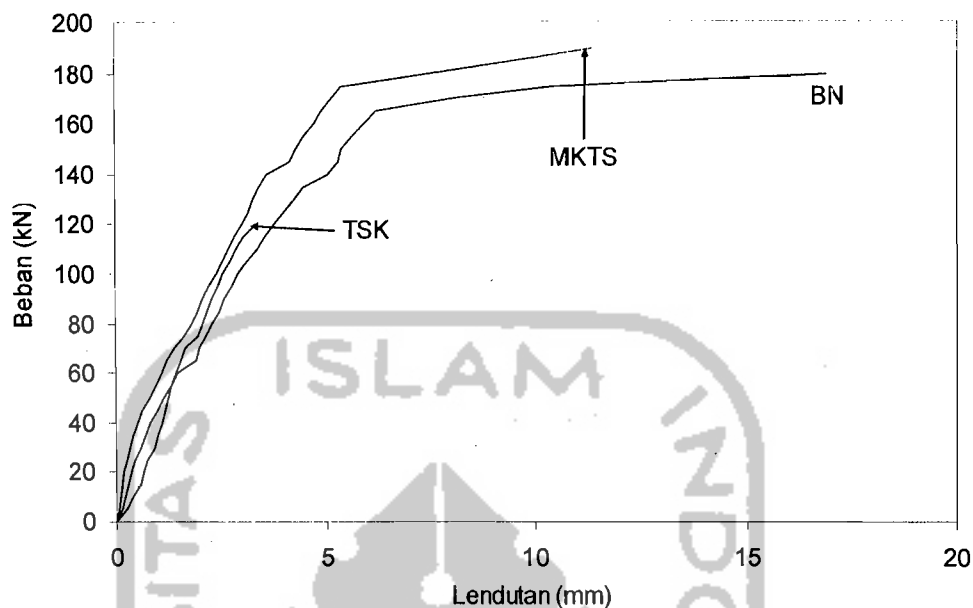
1. Hubungan antara balok kontrol TSK dan BN



Gambar 5.1 Grafik hubungan beban-lendutan pada balok TSK dan BN

Dari Gambar 5.1 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok normal (BN) dan balok TSK. Balok normal adalah balok kontrol yang merupakan balok penuh sengkang tanpa kawat strimin wajik/miring sehingga dapat menahan beban maksimum sebesar 180 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 16,907 mm. Dibandingkan dengan balok TSK yang merupakan balok tanpa sengkang, balok TSK ini hanya mampu menahan beban sebesar 120 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 3,323 mm. Dari grafik juga dapat diketahui pada BN retak pertama terjadi pada beban 35 kN, lendutan 0,71 mm dan titik leleh pada beban 165 kN, lendutan 6,21 mm sedangkan balok TSK retak pertama terjadi pada beban 15 kN, lendutan 0,58 mm dan titik leleh terjadi pada beban 70 kN, lendutan 1,64 mm sehingga dari kedua balok tersebut penggunaan sengkang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dalam menahan beban.

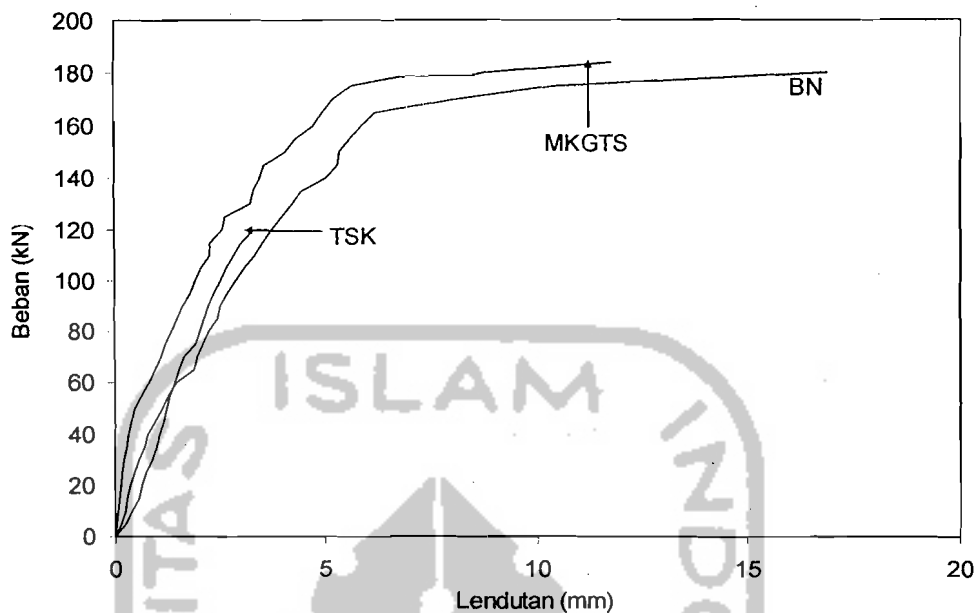
2. Hubungan antara balok kontrol dan balok MKTS



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

Dari **Gambar 5.2** dapat dilihat hubungan beban-lendutan TSK dan balok normal (BN) menghentak kurva linier yang lebih kecil/herada di bawah balok MKTS. Pada balok MKTS mampu menahan beban maksimum (190 kN) lebih besar dari balok TSK (120 kN) dan BN (180 kN) meskipun lendutan maksimum yang terjadi relatif lebih kecil dari balok normal (BN). Jika diperhatikan penggunaan kawat strimin wajik/miring penuh tanpa sengkang terhadap balok kontrol sepanjang bentang balok mampu memberikan peningkatan kekuatan 39 % dan lendutan 48 % dari balok TSK atau terhadap BN mengalami peningkatan kekuatan sebesar 5 % dengan lendutan sebesar 33 %.

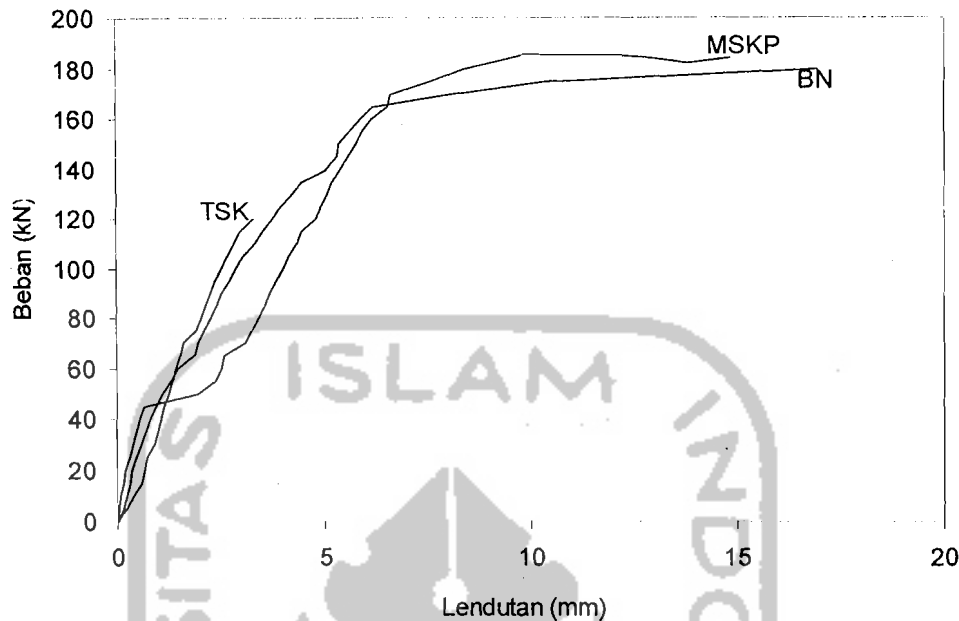
3. Hubungan antara balok kontrol dan balok MKGTS



Gambar 5.3 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MKGTS

Dari **Gambar 5.3** dapat dilihat hubungan beban-lendutan balok TSK dan BN membentuk kurva yang linier lebih kecil dengan balok MKGTS. Pada balok MKGTS beban maksimum yang mampu ditahan meningkat (184 kN) dari balok TSK (120 kN) dan BN (180 kN) meskipun lendutan maksimum yang terjadi relatif lebih rendah dari BN. Jika diperhatikan penggunaan kawat stirrimin wajik/miring daerah geser tanpa sengkang terhadap balok kontrol sepanjang bentang balok mampu memberikan peningkatan kekuatan 36 % dan lendutan 50 % dari balok TSK atau terhadap balok normal (BN) mengalami peningkatan kekuatan sebesar 2 % dengan lendutan 31 %.

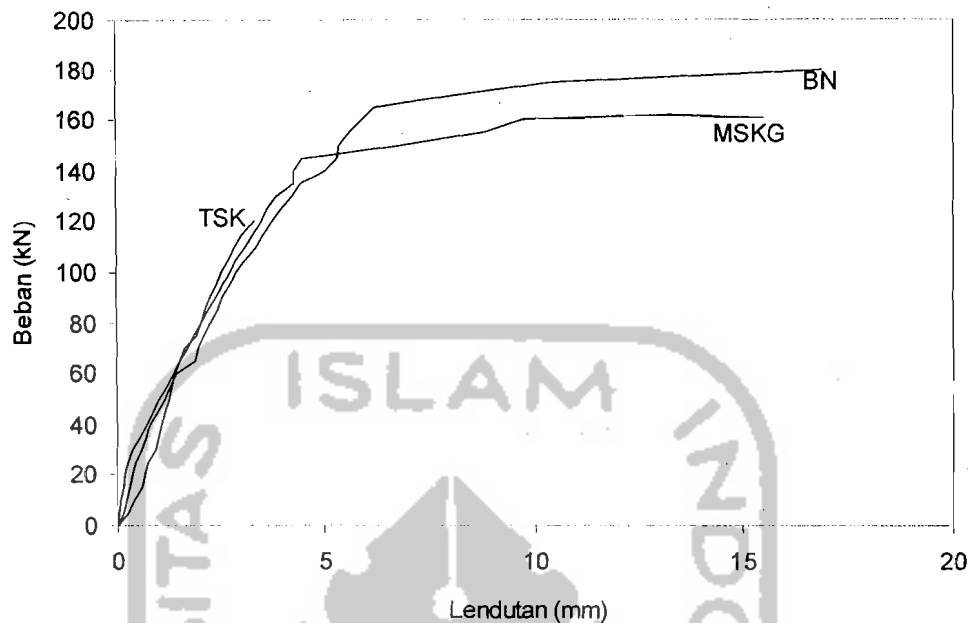
4. Hubungan antara balok kontrol dan balok MSKP



Gambar 5.4 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MSKP

Dari **Gambar 5.4** dapat dilihat hubungan beban-lendutan balok TSK dan balok normal (BN) membentuk kurva linier yang cukup kecil dengan balok MSKP. Pada balok MSKP beban maksimum yang mampu ditahan (185 kN) meningkat dari balok TSK (120 kN) dan BN (180 kN) meskipun lendutan maksimum yang terjadi relatif rendah dari balok normal (BN). Jika diperhatikan penggunaan sengkang dan kawat strimin wajik/miring penuh terhadap balok kontrol sepanjang bentang balok mampu memberikan peningkatan kekuatan sebesar 36 % dan lendutan 52 % dari balok TSK atau terhadap balok normal (BN) mengalami peningkatan kekuatan sebesar 2 % dengan lendutan 29 %.

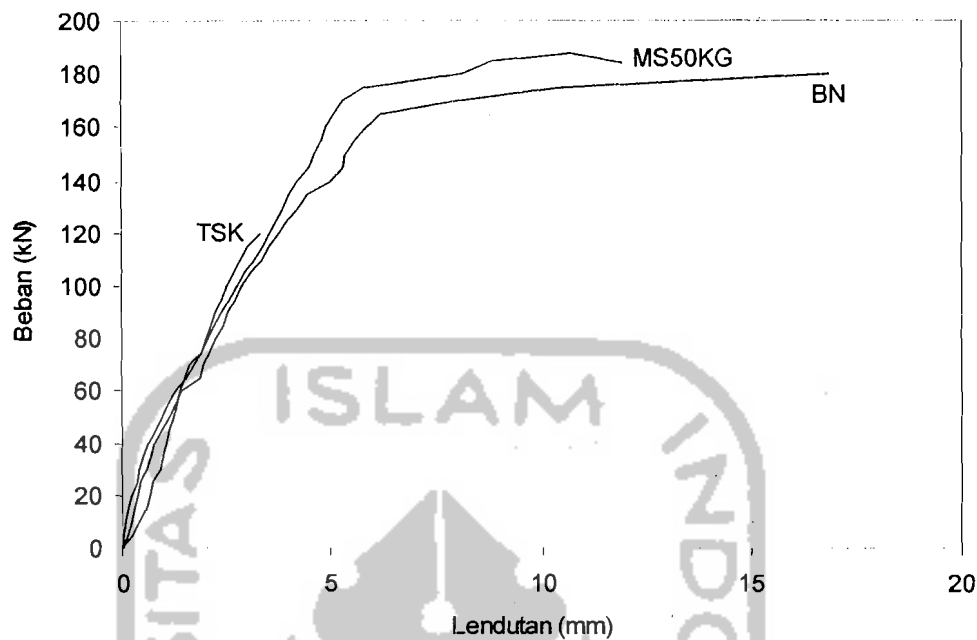
5. Hubungan antara balok kontrol dan balok MSKG



Gambar 5.5 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MSKG

Dari **Gambar 5.5** dapat dilihat hubungan beban-lendutan balok TSK dan balok normal (BN) membentuk kurva linier yang cenderung lebih besar dengan balok MSKG. Pada balok MSKG beban maksimum yang mampu ditahan (162 kN) meningkat dari balok TSK (120 kN) tetapi tidak mampu meningkat dari BN (180 kN) meskipun lendutan maksimum yang terjadi relatif rendah dari balok normal (BN). Jika diperhatikan penggunaan sengkang dan kawat strimin wajik/miring daerah geser terhadap balok kontrol sepanjang bentang balok mampu memberikan peningkatan kekuatan sebesar 24 % dan lendutan 59 % dari balok TSK tetapi terhadap balok normal (BN) tidak mengalami peningkatan kekuatan sebesar 10 % dengan lendutan 22 %.

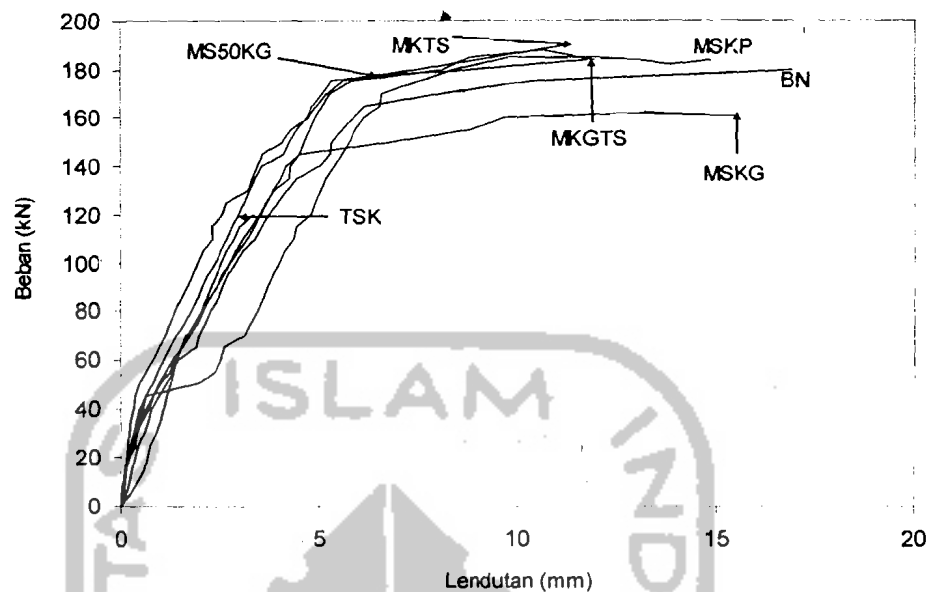
6. Hubungan antara balok kontrol dan balok MS50KG



Gambar 5.6 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MS50KG

Dari **Gambar 5.6** dapat dilihat hubungan beban-lendutan balok TSK dan balok normal (BN) membentuk kurva linier yang cukup kecil dengan balok MS50KG. Pada balok MS50KG beban yang mampu ditahan (188 kN) meningkat dari balok TSK (120 kN) dan BN (180 kN) meskipun lendutan yang terjadi relatif rendah dari balok normal (BN). Jika diperhatikan dari perbandingan nilai persentase (%) terhadap balok kontrol pengurangan 50 % sengkang dan kawat strimin wajik/miring daerah geser sepanjang bentang balok mampu memberikan peningkatan kekuatan sebesar 50 % dan lendutan 44 % dari balok TSK atau terhadap balok normal (BN) mengalami peningkatan kekuatan sebesar 4 % dengan lendutan 37 %.

7. Hubungan antara balok kontrol dan balok kawat strimin



Gambar 5.7 Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok kawat strimin

Dari **Gambar 5.7** dapat dilihat hubungan antara balok ferosemen secara keseluruhan dengan bentuk kurva yang bervariasi. Pada dasarnya setiap balok ferosemen memiliki besar lendutan yang lebih kecil dari balok normal (BN) disebabkan pemakaian kawat strimin wajik/miring yang hanya dijalin menyilang tanpa diperkuat dengan las sehingga kurang efektif bekerja saat beban terjadi ketika telah berlangsung keretakan pada beban maksimum (P_u) balok ferosemen mengalami keruntuhan sebelum kinerja kawat strimin wajik/miring dapat berjalan dengan baik meskipun penggunaan kawat strimin wajik/miring mampu menjadikan balok ferosemen menjadi lebih kuat dari BN.

Penambahan kawat strimin wajik/miring menyebabkan balok memiliki lendutan yang berbeda, grafik pada **Gambar 5.7** menunjukkan perbedaan lendutan akibat dari penambahan kawat strimin wajik/miring dengan pemasangan yang bervariasi. BN merupakan balok yang memakai tulangan pokok dan sengkang sedangkan balok tanpa sengkang (TSK)

yaitu balok yang menggunakan tulangan pokok tanpa memakai sengkang. Kedua balok, BN dan TSK berfungsi sebagai balok kontrol atau pembanding terhadap balok yang menggunakan variasi penambahan kawat strimin wajik/miring.

MKTS merupakan balok dengan menambahkan kawat strimin wajik/miring pada seluruh badan balok tanpa menggunakan sengkang yang mengalami beban ultimit lebih besar dari BN maupun TSK tetapi menghasilkan nilai lendutan yang lebih kecil terhadap BN sehingga perilaku ini menunjukkan balok MKTS lebih kaku (*rigid*) dan lebih baik dalam menerima beban. Pada balok MKGTS, yaitu balok dengan penambahan kawat strimin wajik/miring di daerah geser tanpa sengkang menghasilkan beban yang jauh lebih besar dari TSK, hal tersebut menunjukkan kawat strimin wajik/miring memperbaiki kualitas TSK dalam menahan gaya geser menjadi jauh lebih baik.

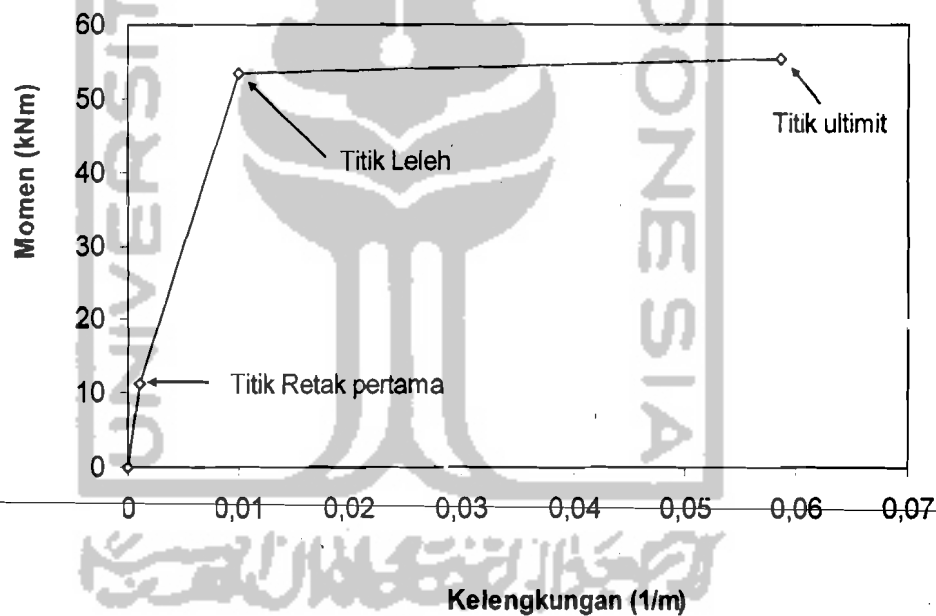
Pada balok MSKP, yaitu balok yang diberi penambahan kawat strimin wajik/miring di daerah lentur dan gesernya, beban yang dihasilkan lebih besar karena pengaruh dari penambahan kawat strimin wajik/miring. MSKG adalah balok yang diberi penambahan kawat strimin pada daerah gesernya, beban yang dihasilkan ternyata lebih kecil dari pada balok normal (BN), hal ini disebabkan kawat strimin wajik/miring belum bekerja maksimal karena balok sudah mengalami keruntuhan terlebih dahulu.

Pada variasi balok MS50KG (balok dengan pengurangan jumlah sengkang sebesar 50 % dan penambahan kawat strimin wajik/miring pada daerah gesernya) beban yang didapat lebih besar dari BN, ini menunjukkan bahwa penambahan kawat strimin wajik/miring daerah geser dapat menggantikan setengah jumlah sengkang di daerah geser pada balok normal dalam menghasilkan momen. Untuk penambahan kawat strimin wajik/miring pada balok TSK, yaitu MKTS (daerah lentur dan geser) dan MKGTS (daerah geser), ternyata menghasilkan beban yang jauh lebih besar dari TSK, hal tersebut menunjukkan bahwa kawat strimin

wajak/miring dapat memperbaiki kualitas TSK dalam menahan gaya lentur maupun gaya gesernya.

5.4.2 Kuat Lentur Balok Ditinjau dari Hubungan Momen-Kelengkungan

Seperti pada lendutan balok hubungan momen-kelengkungan didapat dari hasil perhitungan tiga titik diskrit pada data hubungan beban-lendutan pada **Gambar 5.8** dan data hasil pengujian selengkapannya disajikan dalam bentuk tabel pada **Lampiran G**. Secara teoritis balok dengan penampang sama dan momen inersia sama akan menghasilkan faktor kekakuan (EI) yang sama.



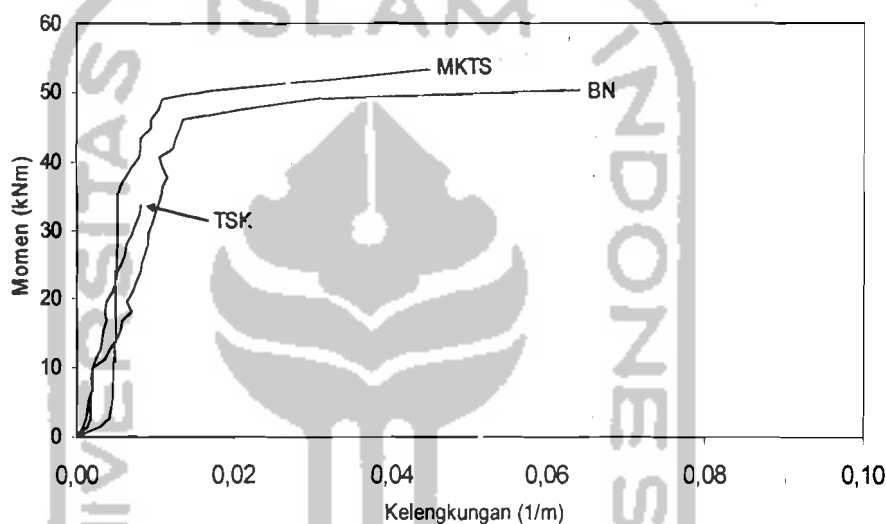
Gambar 5.8 Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis

Tabel 5.7 Hubungan momen-kelengkungan teoritis

| Tipe Balok | Mrt (kNm) | ϕ_{rt} (1/m) | M_y (kNm) | ϕ_y (1/m) | M_u (kNm) | ϕ_u (1/m) |
|------------|-----------|-------------------|-------------|----------------|-------------|----------------|
| BN | 11,284 | 0,00106 | 53,331 | 0,01011 | 55,418 | 0,05854 |

Dari Tabel 5.7 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 0,05854 1/m.

1. Momen-Kelengkungan Balok MKTS



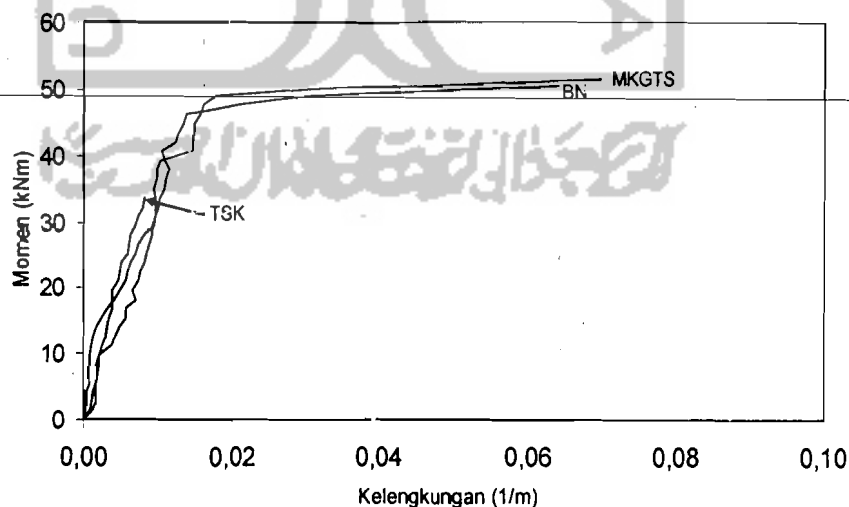
Gambar 5.9 Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MKTS

Dari Gambar 5.9 dapat dilihat momen ultimit untuk balok MKTS lebih besar dari balok kontrol (TSK dan BN), hal tersebut membuktikan bahwa penambahan kawat strimin pada seluruh bentang balok mempunyai pengaruh yang cukup besar. Dilihat dari kelengkungan yang terjadi, pada balok MKTS mempunyai nilai kelengkungan ultimit lebih kecil dikarenakan penambahan kawat strimin wajik/miring lebih memberikan kontribusi untuk menahan runtuh akibat gaya geser dengan menahan retak tunggal dan menciptakan retak-retak kecil sehingga balok lebih kuat dalam menahan beban serta tidak menyebabkan runtuh geser sepanjang bentang balok.

Keretakan secara keseluruhan pada balok TSK tidak terjadi karena tidak adanya penggunaan sengkang, ataupun kawat strimin wajik/miring sehingga menyebabkan keruntuhan tiba-tiba, disebabkan tidak adanya tulangan geser yang menahan gaya geser. Untuk BN gaya geser yang terjadi masih dapat dikurangi dengan adanya penambahan sengkang, akan tetapi hal tersebut belum banyak membantu dalam menahan retak.

2. Momen-Kelengkungan Balok MKGTS

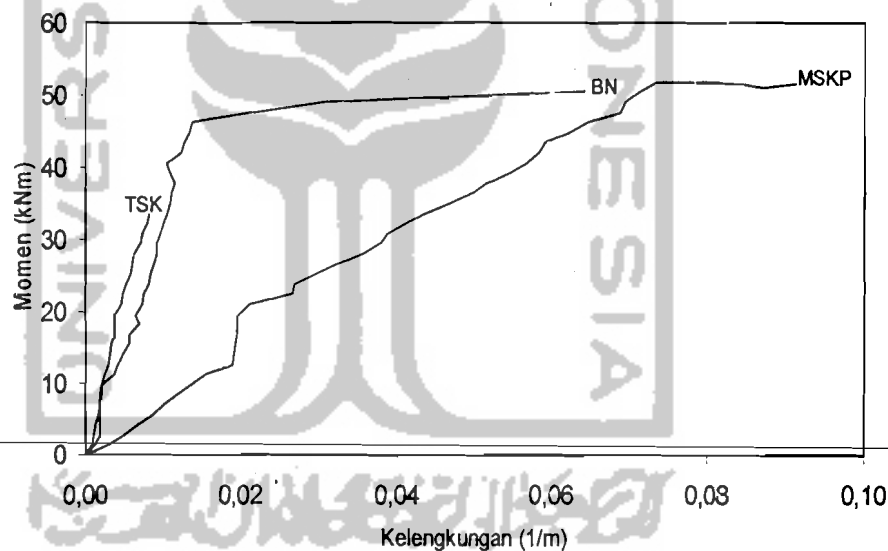
Grafik hubungan momen kelengkungan antara balok kontrol (TSK dan BN) dengan MKGTS dapat dilihat pada **Gambar 5.10**. Pada balok MKGTS nilai momen ultimitnya hampir sama dengan BN dan memiliki nilai kelengkungan yang lebih besar. MKGTS merupakan balok dengan kawat strimin wajik/miring pada daerah geser tanpa sengkang. Untuk momen ultimit tidak terpaut jauh antara balok BN dan MKGTS, hal ini disebabkan balok MKGTS diperkuat kawat strimin wajik/miring hanya pada daerah geser saja sehingga balok mampu menahan gaya geser dan dapat mengurangi retak tunggal yang menyebabkan runtuh geser meskipun dengan nilai kelengkungan cukup besar.



Gambar 5.10 Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MKGTS

3. Momen-Kelengkungan Balok MSKP

Momen ultimit balok MSKP lebih besar dari balok kontrol (TSK dan BN) dapat dilihat pada **Gambar 5.11**, hal tersebut membuktikan bahwa dengan sengkang dan penambahan kawat strimin wajik/miring pada seluruh bentang balok mempunyai pengaruh yang cukup besar, dilihat dari kelengkungan yang terjadi pada balok MSKP mempunyai nilai kelengkungan ultimit lebih besar, dikarenakan penambahan kawat strimin wajik/miring lebih memberikan kontribusi untuk menahan runtuh akibat gaya geser. Dengan menahan retak tunggal dan menciptakan retak-retak kecil sehingga balok lebih kuat dalam menahan beban serta tidak menyebabkan runtuh geser meskipun nilai kelengkungan semakin besar dalam menahan keretakan sepanjang bentang balok.



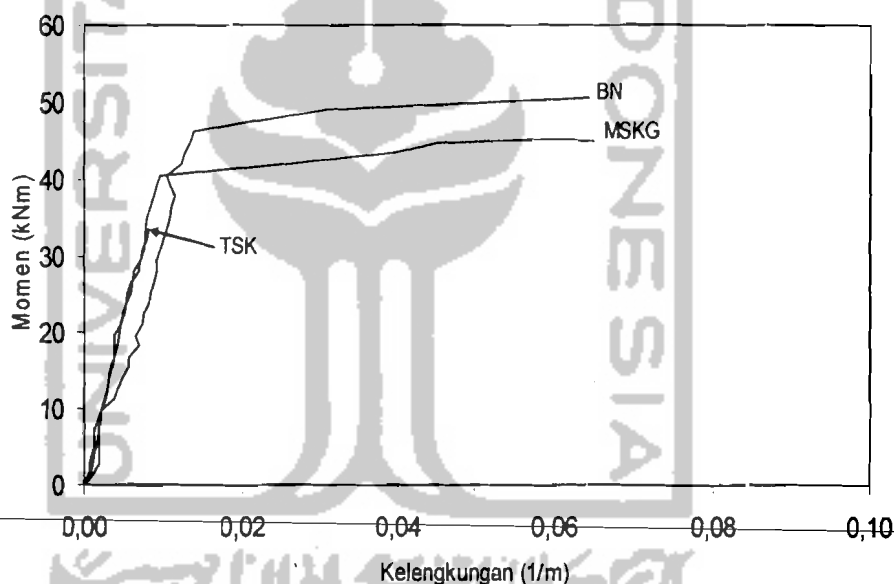
Gambar 5.11 Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MSKP

Pada bentuk grafik balok TSK dapat dilihat bahwa momen ultimit dan nilai kelengkungan lebih kecil dari balok MKTS, hal ini disebabkan tidak adanya tulangan geser yang menahan gaya geser sehingga mengalami keruntuhan tiba-tiba pada balok sebelum terjadi keretakan secara keseluruhan. Untuk balok BN gaya geser yang terjadi masih dapat

tereliminir oleh adanya pemakaian sengkang tetapi hal tersebut belum banyak membantu dalam menahan retak.

4. Momen-Kelengkungan Balok MSKG

Grafik Hubungan momen-kelengkungan pada **Gambar 5.12** memperlihatkan balok MSKG lebih kecil dari balok normal (BN) tetapi lebih besar dari balok TSK. Pada balok MSKG nilai momen ultimitnya lebih kecil dibandingkan dengan BN disebabkan pemakaian kawat strimin wajik/miring balok MSKG hanya pada daerah geser meskipun menggunakan sengkang sedangkan BN secara menyeluruh balok dan memiliki nilai kelengkungan yang lebih kecil dari balok MSKG.

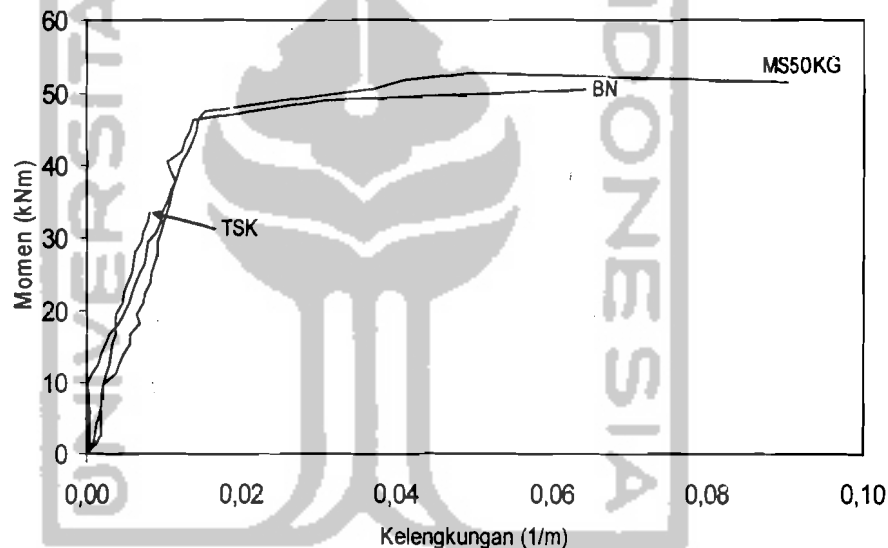


Gambar 5.12 Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MSKG

5. Momen-Kelengkungan Balok MS50KG

Grafik hubungan momen-kelengkungan antara balok kontrol (TSK dan BN) dengan MS50KG dapat dilihat pada **Gambar 5.13**. Pada balok MS50KG nilai momen ultimitnya hampir sama dengan BN dan memiliki nilai kelengkungan yang lebih besar dari TSK dan BN.

MS50KG merupakan balok dengan kawat strimin wajik/miring pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang dan mengalami momen ultimit yang tidak terput jauh terhadap balok normal (BN), hal ini disebabkan karena balok MS50KG diperkuat kawat strimin hanya pada daerah geser sehingga mampu menahan gaya geser seperti halnya sengkang meskipun dengan nilai kelengkungan yang semakin membesar. Berbeda dengan balok TSK yang tidak adanya pemakaian sengkang ataupun kawat strimin wajik/miring sehingga tidak mampu menahan beban sampai maksimal dan menyebabkan balok runtuh sebelum terjadi keretakan-keretakan yang direncanakan.

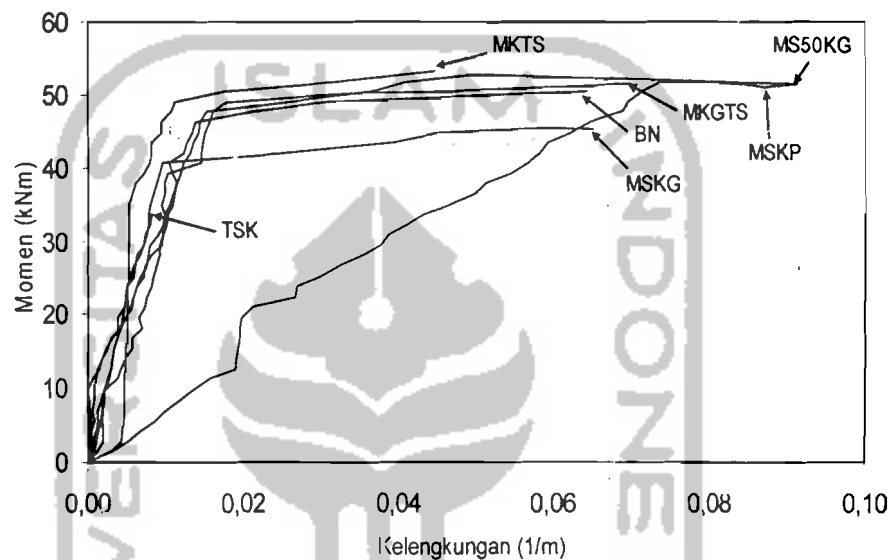


Gambar 5.13 Grafik hubungan momen kelengkungan balok kontrol dan balok MS50KG

6. Momen-Kelengkungan Balok Kontrol dan Balok Variasi Sengkang dengan Kawat Strimin

Penambahan kawat strimin wajik/miring menyebabkan balok memiliki momen dan kelengkungan yang berbeda, grafik pada **Gambar 5.14** menunjukkan perbedaan momen dan kelengkungan akibat dari penambahan kawat strimin wajik/miring dengan pemasangan yang

bervariasi. BN merupakan balok yang memakai tulangan pokok dan sengkang sedangkan balok tanpa sengkang (TSK) yaitu balok yang menggunakan tulangan pokok tanpa memakai sengkang. Kedua balok, BN dan TSK berfungsi sebagai balok kontrol atau pembanding terhadap balok yang menggunakan variasi penambahan kawat strimin wajik/miring.



Gambar 5.14 Grafik hubungan momen kelengkungan balok kontrol dan balok variasi sengkang dengan kawat strimin

MKTS merupakan balok dengan menambahkan kawat strimin wajik/miring pada seluruh badan balok tanpa menggunakan sengkang yang mengalami momen ultimit lebih besar dari BN maupun TSK tetapi menghasilkan nilai kelengkungan yang lebih kecil terhadap BN sehingga perilaku ini menunjukkan balok MKTS lebih kaku (*rigid*) dan lebih baik dalam menerima beban. Pada balok MKGTS, yaitu balok dengan penambahan kawat strimin wajik/miring di daerah geser tanpa sengkang menghasilkan momen yang jauh lebih besar dari TSK, hal tersebut menunjukkan kawat strimin wajik/miring memperbaiki kualitas TSK dalam menahan gaya geser menjadi jauh lebih baik.

Pada balok MSKP, yaitu balok yang diberi penambahan kawat strimin wajik/miring di daerah lentur dan gesernya, momen yang dihasilkan lebih besar karena pengaruh dari penambahan kawat strimin wajik/miring. MSKG adalah balok yang diberi penambahan kawat strimin pada daerah gesernya, momen yang dihasilkan ternyata lebih kecil dari pada balok normal (BN), hal ini disebabkan karena kawat strimin wajik/miring belum bekerja maksimal.

Pada variasi balok MS50KG (balok dengan pengurangan jumlah sengkang sebesar 50 % dan penambahan kawat strimin wajik/miring pada daerah gesernya) momen yang didapat dan kelengkungan yang dihasilkan lebih besar dari BN, ini menunjukkan bahwa penambahan kawat strimin wajik/miring daerah geser dapat menggantikan setengah jumlah sengkang di daerah geser pada balok normal dalam menghasilkan momen. Untuk penambahan kawat strimin wajik/miring pada balok TSK, yaitu MKTS (daerah lentur dan geser) dan MKGTS (daerah geser), ternyata menghasilkan momen yang jauh lebih besar dari TSK, hal tersebut menunjukkan bahwa kawat strimin wajik/miring dapat memperbaiki kualitas TSK dalam menahan gaya lentur maupun gaya gesernya.

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, 1994) Dari hasil pengamatan grafik hubungan beban-lendutan maupun momen-kelengkungan dapat disimpulkan tentang kekakuan balok pada beban ultimit, disajikan pada **Tabel 5.8** berikut:

Tabel 5.8 Analisa kekakuan

| Model | Kekakuan Balok ($P_y/\Delta y$) (kN/mm) | Kekakuan Balok Terhadap Kekakuan BN (%) | Faktor Kekakuan EI ($M_y/\Phi y$) (kNm ²) | Kekakuan EI Terhadap Kekakuan EI Balok BN (%) |
|--------|---|---|---|---|
| TSK | - | - | - | - |
| BN | 26,583 | 100 | 3352,685 | 100 |
| MKTS | 32,649 | 122,820 | 4454,545 | 132,865 |
| MKGTS | 30,990 | 116,578 | 2755,906 | 82,200 |
| MSKP | 25,680 | 96,602 | 692,464 | 20,654 |
| MSKG | 32,151 | 120,945 | 4198,552 | 125,230 |
| MS50KG | 32,151 | 120,945 | 3292,782 | 98,213 |

Balok MKTS dan MKGTS memiliki nilai kekakuan lebih besar 22,82 % dan 16,578 % dari balok normal (BN), pada balok MSKG dan MS50KG mengalami kenaikan nilai kekakuan sebesar 20,945 % sehingga pemberian kawat strimin (miring) pada balok dapat meningkatkan kekakuan balok itu sendiri. Pada balok MSKP nilai kekakuan yang terjadi relatif hampir sama dengan balok normal (BN), hal ini disebabkan pemberian kawat strimin wajik/miring pada daerah lentur dan geser tidak berpengaruh pada kekakuan. Data balok TSK tidak ditampilkan karena balok TSK mengalami keruntuhan secara tiba-tiba sebelum leleh.

Dari Tabel 5.8 diketahui nilai kekakuan (EI) setiap balok variasi kawat strimin wajik/miring dan sengkang (MKGTS, MSKP, MS50KG) nilainya lebih kecil dari balok normal (BN) hal ini disebabkan kawat strimin wajik/miring yang terpasang pada balok baik pada daerah lentur maupun geser mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kuat tarik ketika gaya geser mulai bekerja.

2. Daktilitas Balok

Daktilitas merupakan perbandingan antara simpangan maksimum dengan simpangan saat luluh awal pada komponen struktur yang ditinjau (Dipohusodo, 1994). Nilai beban dan momen saat luluh awal dan ultimit

diperoleh dengan mengamati grafik lendutan, momen , tabel perhitungan beban dan momen.

Tabel 5.9 Analisa daktilitas

| Model | Daktilitas Simpangan $\Delta u/\Delta y$ | Persentase Daktilitas Simpangan terhadap BN (%) | Daktilitas Kelengkungan $\Phi u/\Phi y$ | Persentase Daktilitas Kelengkungan terhadap BN (%) |
|--------|--|---|---|--|
| TSK | - | - | - | - |
| BN | 2,724 | 100 | 4,652 | 100 |
| MKTS | 2,119 | 77,784 | 4,071 | 87,509 |
| MKGTS | 2,081 | 76,386 | 3,918 | 84,231 |
| MSKP | 2,240 | 82,239 | 1,327 | 28,529 |
| MSKG | 3,437 | 126,192 | 6,710 | 144,249 |
| MS50KG | 2,645 | 97,108 | 7,326 | 157,481 |

Dari **Tabel 5.9** dapat diketahui bahwa kecilnya nilai daktilitas balok ferosemen dibanding balok normal (BN) yang disebabkan kurang efektifnya kawat strimin wajik/miring saat beban bekerja ketika terjadi keruntuhan pada balok kawat strimin wajik/miring belum mencapai kuat tarik maksimalnya. Dari daktilitas kelengkungan, ternyata yang lebih besar dari balok normal (BN) terjadi pada balok MSKG dan MS50KG dibanding balok dengan kawat strimin wajik/miring yang lain dengan persentase kenaikan sebesar 44,249 % dan 57,481 %. Pada balok MS50KG kawat strimin wajik/miring efektif menahan gaya tarik yang terjadi sampai runtuh karena kawat strimin wajik/miring pada balok MS50KG berfungsi sebagai pengganti sengkang di daerah bentang geser dan ini berarti balok MS50KG merupakan balok yang paling daktil. Data balok TSK tidak ditampilkan karena balok TSK mengalami keruntuhan secara tiba-tiba sebelum leleh.

Dari **Tabel 5.9** dapat diambil kesimpulan bahwa pengaruh kawat strimin wajik/miring pada balok untuk daktilitas simpangan dan daktilitas kelengkungan efektif terjadi pada balok MSKG. Dari daktilitas

kelengkungan ternyata yang paling besar terjadi pada balok MSKG dan MS50KG dibanding balok dengan kawat strimin wajik/miring yang lain sedangkan terhadap BN kenaikan sebesar 57,481 % sehingga pengaruh kawat strimin wajik/miring pada balok ferosemen untuk daktilitas relatif kecil.

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 seperti pada Tabel 5.10 di bawah ini :

Tabel 5.10 Momen kapasitas

| Tipe Balok | Kapasitas Momen Teoritis, M_n (MPa) | Kapasitas Momen Hasil Uji, M_n (MPa) | Persentase Terhadap M_n Teoritis (%) | Persentase Terhadap M_n BN (%) |
|------------|---------------------------------------|--|--|----------------------------------|
| TSK | 55.314 | 33.6 | 60.744 | 67.797 |
| BN | 55.314 | 49.56 | 89.598 | 100 |
| MKTS | 55.314 | 62.7 | 113.353 | 126.513 |
| MKGTS | 55.314 | 60.72 | 109.773 | 122.518 |
| MSKP | 55.314 | 61.05 | 110.370 | 123.184 |
| MSKG | 55.314 | 53.46 | 96.648 | 107.869 |
| MS50KG | 55.314 | 62.04 | 112.160 | 125.182 |

Dari Tabel 5.10 dapat dilihat bahwa penggunaan kawat strimin wajik/miring sebagian besar mampu memberikan peningkatan kapasitas momen hasil uji (M_n) dibandingkan dengan M_n teoritis namun pemakaian kawat strimin wajik/miring memberikan peningkatan 1-26,513 % terhadap balok normal (BN). Untuk momen yang terjadi pada semua benda uji nilainya lebih besar dari nilai teoritis kecuali balok MSKG, hal ini disebabkan kemampuan maksimal kawat strimin wajik/miring belum tercapai tetapi kekuatan maksimum beton sudah terlampaui sehingga

kegagalan balok terjadi karena kelemahan betornya dan momen yang dicapai relatif kecil dibanding balok normal (BN).

Kombinasi antara sengkang dan kawat strimin wajik/miring pada balok MSKP, MS50KG mengalami peningkatan momen nominal (M_n) lebih besar dari balok normal (BN) sebesar 23 % dan 25 %. Penggunaan kawat strimin wajik/miring sepanjang badan balok sebagai pengganti sengkang sangat efektif dalam menahan momen yang terjadi seperti balok MKTS dan MKGTS karena momen nominal lebih besar dari balok normal (BN). Secara keseluruhan baik sengkang maupun kawat strimin wajik/miring mampu memberikan kontribusi sesuai yang direncanakan pada balok dalam menahan momen.

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 (Wang dan Salmon, 1993).

Untuk penelitian kali ini sebagai perkuatan geser balok diberikan selubung berupa kawat strimin bentuk wajik/miring 1 lapis dan diharapkan dengan penambahan kawat strimin wajik/miring mampu menahan gaya geser yang terjadi. Kemampuan menahan gaya geser yang terjadi kemudian dibandingkan dengan balok kontrol yaitu TSK dan BN dari perbandingan tersebut bisa diamati terjadinya peningkatan atau penurunan kuat geser. 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 Pada Retak Miring Pertama

Untuk mengetahui retak miring pertama dapat dilakukan dengan dua cara pengamatan, yaitu pengamatan secara langsung dengan mengamati pola retak yang terjadi dan berdasarkan penambahan tinggi balok. 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° 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.

Gambar pola retak dari semua balok uji pada umumnya memiliki keretakan hampir sama yaitu awal keretakan berupa retak lentur kemudian dilanjutkan retak miring pada daerah dekat kedua tumpuan sehingga terdapat dua daerah retak yang diamati yaitu daerah lentur dan daerah geser. Kapasitas geser pada retak miring pertama menggambarkan kekuatan beton dalam menahan geser sedangkan momen retak ultimit menggambarkan kekuatan balok pada saat menjelang runtuh.

Dari Tabel 5.11 dapat diamati bahwa retak miring pertama tiap balok bervariasi akibat dari penggunaan kawat strimin wajik/miring 1 lapis. Untuk balok TSK dan MSKG retak miring pertama terjadi pada momen 23,8 kNm namun balok MSKG dapat mencapai momen ultimit sebesar 45,36 kNm, nilai ini lebih besar dibandingkan balok TSK sedangkan pada BN retak miring pertama baru terjadi pada momen 29,4 kNm, sementara momen retak ultimit terjadi pada 49,56 kNm. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan balok MKTS, MKGTS, MSKP, MS50KG yang masing-masing balok dapat mencapai momen retak ultimit sebesar 53,2 kNm, 51,52 kNm, 51,8 kNm dan 52,64 kNm. Hal ini disebabkan pengaruh kawat strimin miring wajik/miring sehingga momen retak ultimit yang dihasilkan lebih besar dari balok normal (BN).

Tabel 5.11 Momen retak miring pertama dan momen ultimit

| Tipe Balok | Momen Retak Miring Pertama (kNm) | Momen Retak Ultimit, M_u (kNm) | Persentase Terhadap Momen Ultimit (%) |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| TSK | 23,8 | 33,6 | 70,833 |
| BN | 29,4 | 49,56 | 59,322 |
| MKTS | 30,8 | 53,2 | 57,895 |
| MKGTS | 40,6 | 51,52 | 78,804 |
| MSKP | 21 | 51,8 | 40,541 |
| MSKG | 23,8 | 45,36 | 52,469 |
| MS50KG | 25,2 | 52,64 | 47,872 |

Dari **Tabel 5.11** dapat diamati bahwa retak miring pertama tiap balok bervariasi akibat dari penggunaan kawat strimin wajik/miring 1 lapis. Untuk balok TSK dan MSKG retak miring pertama terjadi pada momen 23,8 kNm namun balok MSKG dapat mencapai momen ultimit sebesar 45,36 kNm, nilai ini lebih besar dibandingkan balok TSK sedangkan pada BN retak miring pertama baru terjadi pada momen 29,4 kNm, sementara momen retak ultimit terjadi pada 49,56 kNm. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan balok MKTS, MKGTS, MSKP, MS50KG yang masing-masing balok dapat mencapai momen retak ultimit sebesar 53,2 kNm, 51,52 kNm, 51,8 kNm dan 52,64 kNm. Hal ini disebabkan pengaruh kawat strimin miring wajik/miring sehingga momen retak ultimit yang dihasilkan lebih besar dari balok normal (BN).

Persentase momen retak miring pertama terhadap momen retak ultimit yang terbesar terjadi pada balok TSK sedangkan persentase terhadap momen ultimit yang terkecil terjadi pada balok MSKP. Secara keseluruhan hasil dari benda uji balok dengan variasi kawat strimin wajik/miring mengalami persentase (%) momen ultimit lebih besar dari balok kontrol. Untuk balok variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring seperti MSKP, MSKG, MS50KG tidak ada peningkatan

dibandingkan BN hal ini disebabkan terhadap kinerja dari kawat strimin wajik/miring yang tidak maksimal saat beban mencapai maksimum.

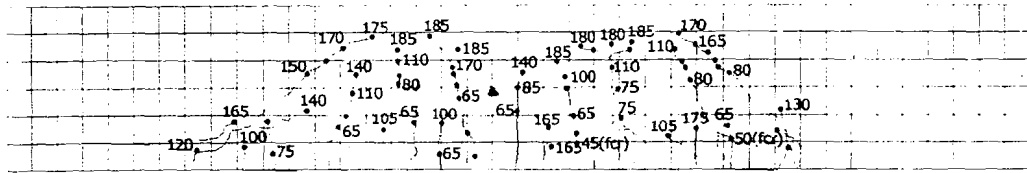
2. Kapasitas Geser Pada Beban Ultimit

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 diagonal terjadi pada daerah di mana bekerja gaya geser yang besar (Nawy, 1990) Balok kontrol model TSK tidak mampu memikul gaya geser yang terjadi, pada saat pengujian retakan pada daerah bentang geser terjadi secara simultan kemudian mengalami keruntuhan mendadak/getas tanpa adanya peringatan peningkatan bertahap pola retak terhadap beban yang bekerja.

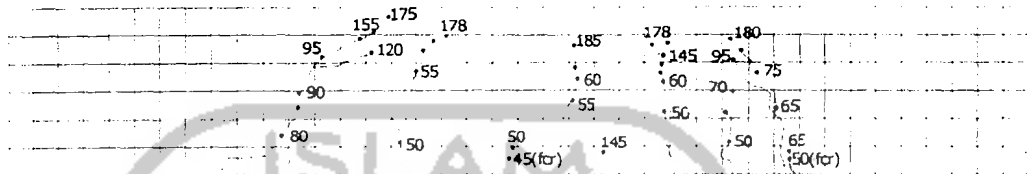
Tabel 5.12 Kapasitas geser

| Tipe Balok | Kapasitas Geser Teoritis, V_n (kN) | Kapasitas Geser Hasil Uji, V_n (kN) | Persentase Terhadap Teoritis (%) | Persentase Terhadap BN (%) |
|------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| TSK | 98,134 | 60 | 61,141 | 66,667 |
| BN | 98,134 | 90 | 91,711 | 100 |
| MKTS | 98,134 | 95 | 96,806 | 105,556 |
| MKGTS | 98,134 | 92 | 93,749 | 102,222 |
| MSKP | 98,134 | 92,5 | 94,259 | 102,778 |
| MSKG | 98,134 | 81 | 82,540 | 90 |
| MS50KG | 98,134 | 94 | 95,787 | 104,444 |

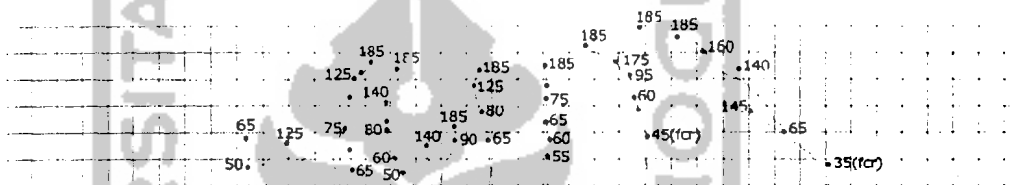
Dari Tabel 5.12 dapat diamati bahwa semua balok pada kapasitas geser hasil uji (V_n) nilainya lebih kecil daripada kapasitas geser teoritisnya. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan balok dalam geser



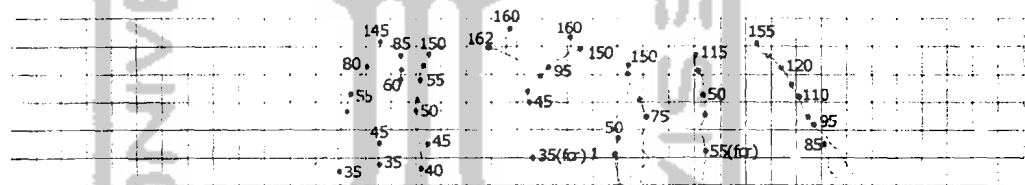
Gambar 5.17 Pola Kerusakan Balok MKTS



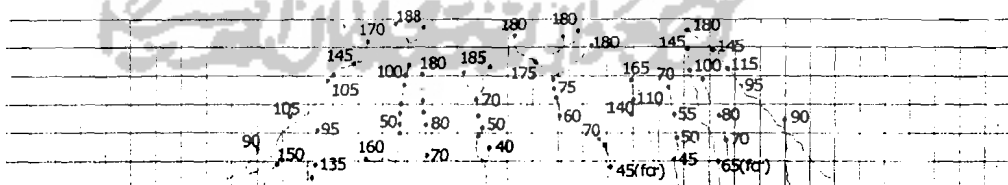
Gambar 5.18 Pola Kerusakan Balok MKGTS



Gambar 5.19 Pola Kerusakan Balok MSKP



Gambar 5.20 Pola Kerusakan Balok MSKG



Gambar 5.21 Pola Kerusakan Balok MS50KG

Keretakan yang terjadi pada seluruh balok uji memiliki pola retak yang hampir sama, yaitu berupa retak lentur dan retak geser. Namun demikian, kedua jenis retak tersebut untuk masing-masing balok berbeda. Hal ini disebabkan oleh perlakuan pemberian sengkang dan kawat strimin

wajik/miring pada balok sangat berpengaruh besar sehingga menyebabkan bervariasinya pola retak. 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. Untuk itu pengamatan retak lentur dipusatkan pada daerah tersebut.

Retak lentur untuk semua balok terjadi pada beberapa tempat (di antara dua titik beban) dengan jumlah dan jarak retak berbeda untuk masing-masing balok. Hal ini dipengaruhi oleh pemberian sengkang dan kawat strimin wajik/miring pada daerah tersebut sedangkan peningkatan dan perambatan retak sejalan dengan peningkatan beban. Tetapi peningkatan beban tidak selalu menambah panjang retak juga menimbulkan retak-retak baru.

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 (1993), kecepatan perubahan dari retak lentur awal menjadi retak lentur geser tergantung dari percepatan pertumbuhan dan tinggi dari retak lentur, di samping 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 5.15** dan **Gambar 5.16** yang memperlihatkan pola retak balok kontrol, retak lentur terjadi lebih dahulu dibanding retak geser. 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 disebabkan balok tidak menggunakan tulangan geser. Untuk balok BN, timbulnya retak geser hampir serupa 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 wajik/miring seperti balok MKTS, MKGTS, MSKP, MSKG dan MS50KG mengalami pola perambatan retak yang terjadi hampir serupa dengan balok kontrol. 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 digambarkan secara miring. Hal yang membedakan pola perambatan retak yang terjadi pada balok yang menggunakan kawat strimin wajik/miring dengan balok kontrol adalah naiknya perambatan retak terjadinya secara perlahan dan bertahap, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5.17** sampai **Gambar 5.21**, naiknya perambatan retak setiap beban 5 kN, sedangkan pada balok kontrol naiknya keretakan tidak menentu, kadang terjadi setiap 10 kN atau lebih. Hal ini menandakan bahwa kawat strimin wajik/miring berpengaruh untuk memperlambat naiknya keretakan yang terjadi.

5.5.2 Pola Runtuh Balok

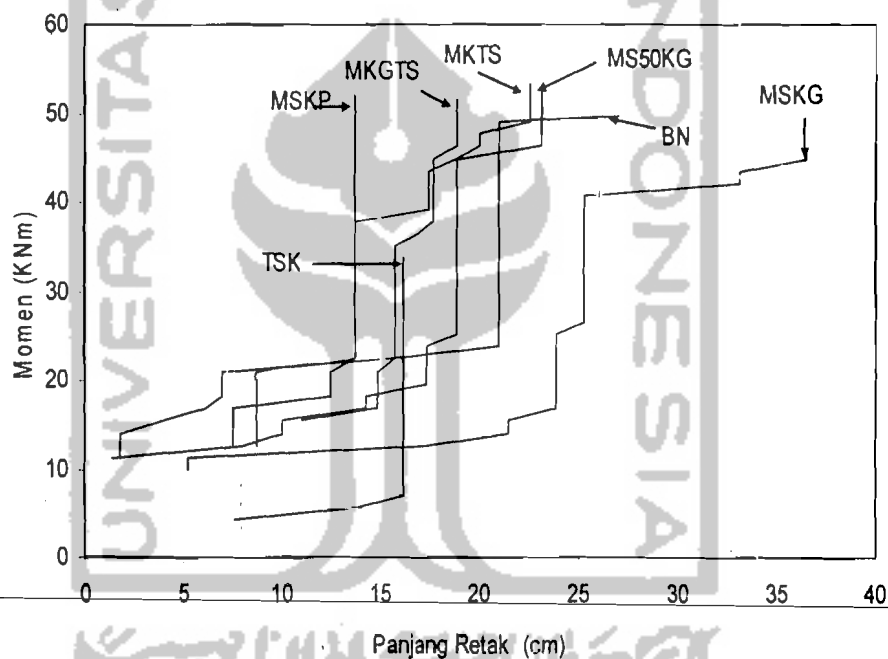
Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh beton tarik dan tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser ditahan oleh beton dan tulangan geser yang biasa disebut sengkang. Menurut Wang dan Salmon (1993), tulangan geser 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 diselipkan pada inti balok. Kawat strimin wajik/miring akan berfungsi seperti halnya 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 5.15** dan **Gambar 5.16** 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 balok normal (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.

Balok yang menggunakan kawat strimin wajik/miring seperti balok MKTS, MKGTS, MSKP, MSKG dan MS50KG mengalami pola keruntuhan lentur sesuai pendapat Wang dan Salmon (1993), hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5.17** sampai **Gambar 5.21** yang menandakan bahwa balok yang diperkuat dengan kawat strimin wajik/miring pada daerah geser dapat berperan dengan baik. Dari **Gambar 5.17** sampai **Gambar 5.21** diketahui pula masing-masing beban maksimum pada daerah lentur dan daerah geser ketika terjadi keruntuhan lentur. Berikut data yang diketahui, pada balok MKTS (185 kN, 175 kN), MKGTS (185 kN, 180 kN), MSKP (185 kN, 185 kN), MSKG (162 kN, 155 kN) dan MS50KG (188 kN, 180 kN).

5.5.3 Hubungan Panjang Retak Dengan Momen

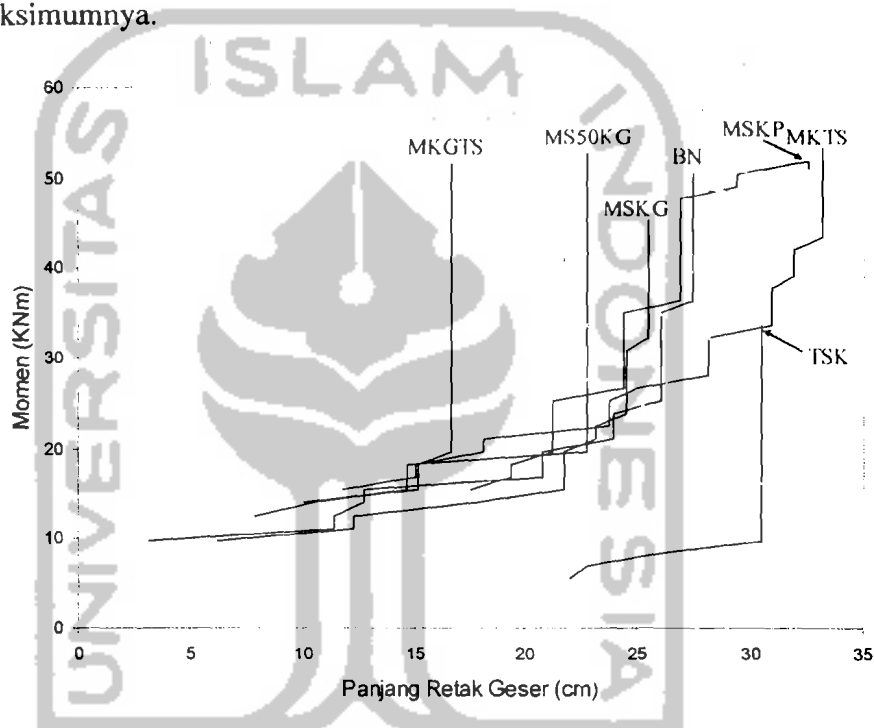
Bertambahnya panjang retak pada balok secara keseluruhan mengalami peningkatan seiring bertambah besar pembebanan yang terjadi. Retak pada daerah lentur ditandai dengan retak tegak lurus terhadap bentang balok sedangkan retak pada daerah geser berpola retak lentur dahulu baru kemudian keretakan yang terjadi miring $\leq 45^\circ$ dan dari retak miring pertama ini dikenal sebagai retak geser. Dari hasil pengujian hubungan antara momen dengan panjang retak dari daerah lentur maupun daerah geser disajikan selengkapnya pada Lampiran H.



Gambar 5.22 Grafik hubungan momen-panjang retak lentur

Dari Gambar 5.22 dapat dilihat penambahan perambatan retak seiring besarnya momen yang diterima oleh balok. Pada daerah lentur balok TSK memiliki momen dan panjang retak yang relatif paling kecil dan antara balok normal (BN) dengan balok yang diberi penambahan kawat strimin wajik/miring dan pengurangan jumlah sengkang (balok ferosemen) pada daerah lentur memiliki kekuatan menahan momen yang

hampir sama besarnya. Retak lentur yang terjadi dapat diperlambat dengan penggunaan kawat strimin wajik/miring sehingga proses keruntuhan dapat dieliminir seperti pada balok ferosemen bila dibandingkan dengan BN. Adanya perbedaan panjang retak lentur yang lebih pendek yaitu pada balok MKTS, MKGTS, MSKP, dan MS50KG dan yang lebih panjang yaitu balok MSKG disebabkan karena retak terjadi sebelum kawat strimin wajik/miring mencapai kekuatan maksimumnya.

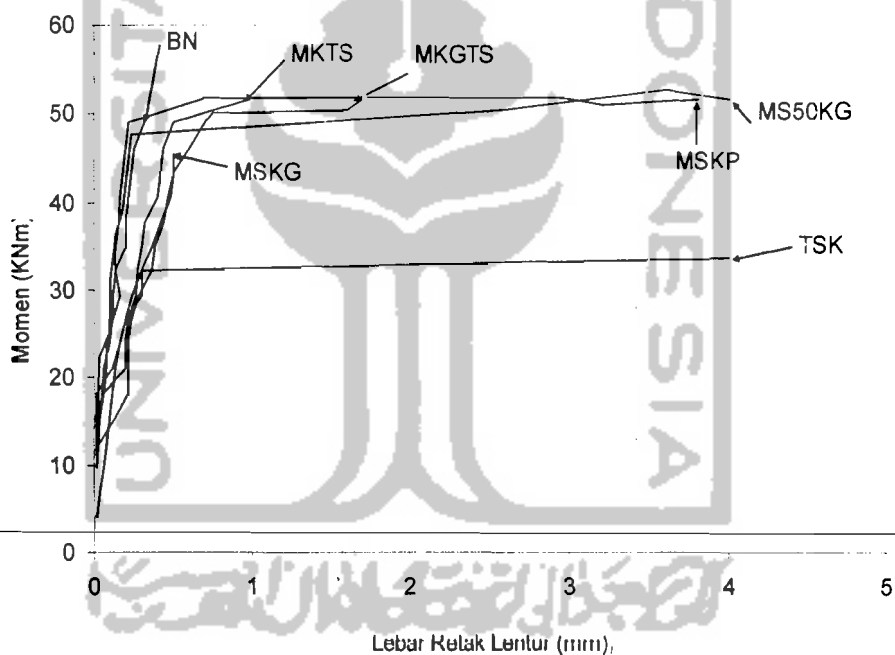


Gambar 5.23 Grafik hubungan momen-panjang retak geser

Dari **Gambar 5.23** diperoleh hubungan antara momen dan panjang retak geser dengan penambahan perambatan retak seiring besarnya momen yang diterima oleh balok. Bila dibandingkan antara balok normal (BN) dan balok dengan variasi kawat strimin wajik/miring dan sengkang seperti MKGTS, MSKG, MS50KG panjang retak geser yang terjadi memiliki perbedaan relatif kecil. Balok dengan variasi kawat strimin wajik/miring dan sengkang seperti MKTS, MSKP lebih panjang retaknya disebabkan pada balok dapat menerima beban lebih lama

sehingga panjang retaknya lebih besar dari BN sedangkan balok TSK yang memiliki panjang retak geser yang terkecil, hal ini disebabkan balok tidak menggunakan sengkang dan telah mencapai keruntuhan beton saat beban sedang bekerja. Balok yang memiliki panjang retak geser yang paling besar terjadi pada balok MKTS disebabkan kinerja kawat strimin wajik/miring bekerja maksimal, hal ini dapat dilihat dengan besarnya beban yang diterima balok MKTS dibandingkan dengan balok ferosemen lainnya.

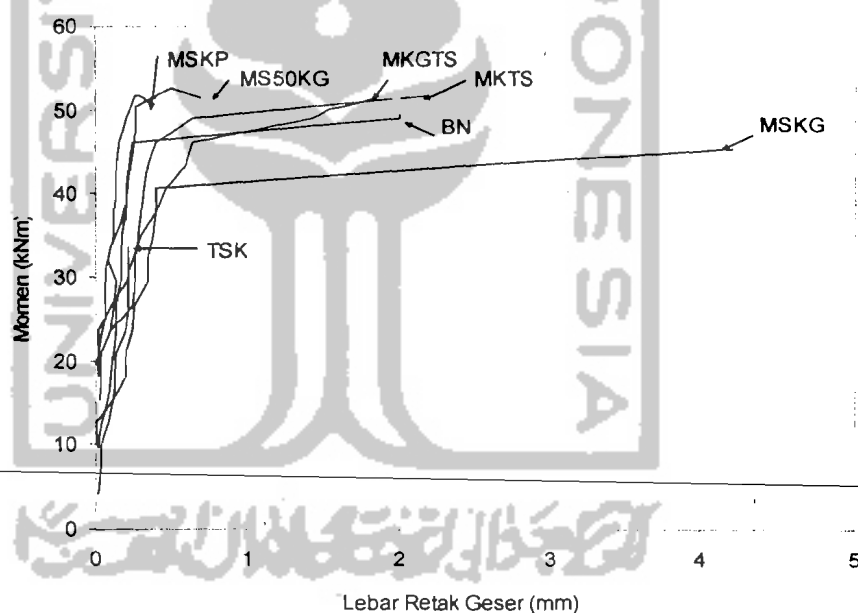
5.5.4 Hubungan Lebar Retak dengan Momen



Gambar 5.24 Grafik hubungan momen-lebar retak lentur

Dari **Gambar 5.24** dapat dilihat momen balok TSK yang terjadi hanya sebesar 33,6 kNm dengan lebar retak mencapai 4 mm, hal ini disebabkan karena balok tidak menggunakan sengkang maupun kawat strimin wajik/miring. Pada balok normal (BN) dengan momen sebesar 49,56 kNm namun lebar retak lentur hanya sebesar 0,32 mm yang

disebabkan penggunaan sengkang sehingga dapat inencegah lebarnya keretakan dan balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring mengalami momen yang relatif hampir sama dengan BN kecuali balok MSKG, hal ini disebabkan balok MSKG telah mengalami keruntuhan sebelum mencapai kuat tarik yang maksimal dari kawat strimin wajik/miring. Lebar retak lentur yang terjadi pada balok variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring telah mengalami peningkatan terhadap balok normal (BN), hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kawat strimin wajik/miring telah terjadi meskipun keretakan yang terjadi pada balok dengan kawat strimin wajik/miring mengalami peningkatan lebar secara perlahan dan bertahap.



Gambar 5.25 Grafik hubungan momen-lebar retak geser

Dari **Gambar 5.25** dapat dilihat momen balok TSK yang terjadi hanya sebesar 33,6 kNm dengan lebar retak hanya mencapai 0,22 mm karena balok TSK tidak menggunakan sengkang maupun kawat strimin wajik/miring. Pada balok normal (BN) dengan momen sebesar 49,56 kNm namun lebar retak lentur hanya sebesar 2 mm yang disebabkan

penggunaan sengkang sehingga dapat mencegah lebarnya keretakan dan balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring mengalami momen yang relatif lebih besar dengan BN kecuali balok MSKG, hal ini disebabkan balok MSKG telah mengalami keruntuhan sebelum mencapai kuat tarik yang maksimal dari kawat strimin wajik/miring. Lebar retak geser yang terjadi pada balok variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring telah mengalami peningkatan terhadap balok normal (BN). hal ini menunjukkan bahwa pengaruh penggunaan kawat strimin wajik/miring telah terjadi meskipun keretakan yang terjadi pada balok ferosemen mengalami peningkatan lebar secara perlahan atau bertahap dari tegak lurus sumbu bantang balok sampai terjadinya retak miring pertama dengan sudut $\leq 45^\circ$.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA