

PERPUSTAKAAN FTSP UII  
 HADIAH/BELI  
 TGL. TERIMA : 19 Februari 2007  
 NO. JUDUL : 002228  
 NO. INV. : 020002228001  
 NO. INDUK. :

**TUGAS AKHIR**

**PERILAKU WIRE MESH BENTUK WAJIK  
 PADA KUAT LENTUR DAN GESER  
 BALOK BETON BERTULANG**

12  
 693.87  
 Sep  
 P  
 1



xvi, 88, hal, lamp 12

Disusun Oleh :

Danang Aji Saputra 99 511 049

Wahyudi Hidayat 99 511 357

• Beton - balok  
 • perilaku wire mesh  
 • beton bertulang  
 • Hidayat, W.  
 • judul

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
 JOGJAKARTA  
 2006**

MILIK PERPUSTAKAAN  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
 PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PERILAKU *WIRE MESH* BENTUK WAJIK  
PADA KUAT LENTUR DAN GESER  
BALOK BETON BERTULANG**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia  
Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh  
Derajat Sarjana Teknik Sipil**

**Oleh :**

**Danang Aji Saputra      99 511 049**

**Wahyudi Hidayat      99 511 357**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dr. Ir. Ade Ilham, MT**  
**Dosen Pembimbing**



**Tanggal : 11 - 07 - 06**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, dan shalawat serta salam ditujukan kepada Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tentang **PERILAKU WIRE MESH BENTUK WAJIK PADA KUAT LENTUR DAN GESER BALOK BETON BERTULANG** ini dengan baik.

Tugas akhir ini dilakukan guna melengkapi salah satu syarat untuk mencapai Derajat Kesarjanaan (S1) di jurusan Teknik Sipil, Universtas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian laporan ini penyusun telah banyak mendapat bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, atas anugerah-Nya yang telah melapangkan hati dan pikiran serta rahmat-Nya.
2. Nabi Muhammad SAW, yang telah menyelamatkan umat manusia dari kehidupan jahiliyah.
3. Bapak Dr. Ir. Ade Ilham, MT, selaku dosen Pembimbing yang penuh kesabaran dan ketekunan telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, serta telah memberikan banyak sekali ide-ide dasar dan ilmu pengetahuan hingga selesainya penelitian penulis.
4. Bapak Dr. Ir Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir.Fatkhurrohman N, MT, selaku Kepala Laboratorium Struktur yang telah membantu kelancaran pengerjaan laporan ini.

7. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Struktur (Mas Aris), Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (Mas Ndaru dan Mas Warno) dan seluruh lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
8. Karyawan Laboratorium PAU, Laboratorium Teknik Mesin (Pak Samsudin) dan Laboratorium Struktur (Pak Morisco, Mas Gianto dan Mas Kino), Universitas Gadjah Mada.
9. Rekan-rekan Tim Research Grant : Heri, Indra, Anton, Haqul Sono, Bambang, Sigit, serta semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan ide-ide, dukungan dan tenaganya.

Penulis menyadari bahwa hasil karya penelitian tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis sangat terbuka dalam menerima kritik dan saran dari pembaca. Namun penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dipergunakan sebagai tambahan khasanah pustaka serta menjadi sumber ide-ide bagi peneliti yang akan datang. Amin.

***Wabillahit taufik walhidayah***

***Wassalamu'alaikum Wr.Wb.***

Yogyakarta, Juli 2006

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiv
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Kawat Strimin ( <i>Wire Mesh</i> ) .....	6
2.2 Hasil-hasil Penelitian.....	7
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	9
3.1 Balok Beton Bertulang.....	9
3.2 Analisis Lentur .....	9
3.3 Analisis Geser.....	12
3.3.1 Jenis-Jenis Kegagalan Geser .....	12
3.3.2 Kuat Geser Yang Disumbangkan beton .....	15
3.3.3 Kuat Geser Yang Disumbangkan Tulangan Geser.....	16

3.4 Kelengkungan Balok .....	17
3.5 Hubungan Beban Dan Lendutan .....	21
3.6 Momen-Kelengkungan Kondisi Retak ( $M_{cr}$ - $K_{cr}$ ).....	22
<b>BAB IV METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
4.1 Waktu dan Tempat .....	24
4.2 Bahan dan Alat .....	24
4.2.1 Bahan.....	24
4.2.2 Alat .....	26
4.2.3 Perencanaan Benda Uji Balok.....	28
4.3 Perlakuan Dan Rancangan Percobaan/Kajian .....	30
4.3.1 Perlakuan.....	30
4.3.2 Rancangan Percobaan/Kajian.....	33
4.3.3 Perawatan Benda Uji.....	35
4.3.4 Proses Pengujian.....	36
4.4 Pengamatan .....	39
4.5 Prosedur Pengujian/Kajian .....	40
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
5.1 Pengujian Material .....	44
5.1.1 Pengujian Agregat Halus dan Agregat Kasar.....	44
5.1.2 Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin.....	45
5.1.3 Pengujian Kuat Tarik Baja .....	46
5.2 <i>Slump</i> .....	47
5.3 Kekuatan Beton .....	48
5.3.1 Uji Kuat Desak Beton.....	49
5.3.2 Uji Kuat Lentur Beton .....	49
5.3.3 Uji tarik Belah beton .....	49
5.3.4 Uji Kuat Geser Beton .....	50
5.4 Pengujian Balok .....	50
5.4.1 Hubungan Beban-Lendutan.....	50

5.4.2 Kuat Lentur Balok Ditinjau Dari Momen-Kelengkungan..	60
5.4.3 Analisa Balok Terhadap Kuat Lenturnya.....	67
5.4.4 Analisa Geser Balok.....	71
5.5 Analisa Retak Balok.....	75
5.5.1 Pola Retak Balok.....	75
5.5.2 Pola Runtuh Balok.....	78
5.5.3 Hubungan Panjang Retak Dengan Momen .....	80
5.5.4 Hubungan Lebar Retak Dengan momen .....	82
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>85</b>
6.1 Kesimpulan.....	85
6.2 Saran.....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Hasil pengujian material.....	44
Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin.....	45
Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik baja.....	46
Tabel 5.4 Hasil pengujian sifat beton.....	48
Tabel 5.5 Analisa data pembebanan balok.....	50
Tabel 5.6 Analisa data lendutan balok.....	51
Tabel 5.7 Hubungan momen-kelengkungan teoritis.....	60
Tabel 5.8 Analisa kekakuan.....	68
Tabel 5.8 Analisa daktilitas.....	69
Tabel 5.9 Kapasitas momen kapasitas.....	70
Tabel 5.10 Momen retak miring pertama dan ultimit.....	73
Tabel 5.11 Kapasitas geser.....	74

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kawat jala bentuk wajik .....	6
Gambar 3.1 Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan rangkap (Dipohusodo, 1994).....	10
Gambar 3.2 Pengaruh $a/d$ dan tebal balok terhadap perlawanan geser (Ferguson, 1986) .....	13
Gambar 3.3 Distribusi tegangan geser berbentuk parabolis pada penampang homogen (Vis dan Gideon, 1993) .....	14
Gambar 3.4 Retakan, busur tekan dan ikatan tarik (Vis dan Gideon, 1993)....	15
Gambar 3.5 Menentukan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan (Dipohusodo, 1994).....	16
Gambar 3.6 Defleksi pada balok .....	17
Gambar 3.7 Kelengkungan balok (Park dan Paulay,1975) .....	18
Gambar 3.8 Grafik momen kelengkungan (Popov, 1983) .....	20
Gambar 3.9 Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok.....	21
Gambar 3.8 Hubungan beban dan lendutan pada balok (Nawy E.G., 1998) .....	23
Gambar 3.9 Kelengkungan balok (Park dan Paulay,1975) .....	24
Gambar 4.1 Penampang melintang balok uji .....	29
Gambar 4.2 Penampang memanjang balok uji.....	29
Gambar 4.3 Balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang (TSK) .....	30
Gambar 4.4 Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang (BN) .....	31
Gambar 4.5 Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin penuh tanpa sengkang (MKTS).....	31
Gambar 4.6 Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin pada daerah geser tanpa sengkang (MKGTS).....	32
Gambar 4.7 Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang dan kawat strimin penuh (MSKP).....	32

Gambar 4.8	Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang dan kawat strimin pada daerah geser (MSKG) .....	32
Gambar 4.9	Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan 50 % sengkang (MS50KG).....	32
Gambar 4.10	Penyetelan pembebanan balok .....	38
Gambar 4.11	<i>Flow chart</i> .....	43
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok BN dan TSK.....	53
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MKTS .....	54
Gambar 5.3	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MKGTS .....	55
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MSKP .....	56
Gambar 5.5	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MSKG.....	57
Gambar 5.6	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok MS50KG.....	58
Gambar 5.7	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok kawat strimin .....	59
Gambar 5.8	Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis.....	60
Gambar 5.9	Momen-kelengkungan balok MKTS.....	61
Gambar 5.10	Momen-kelengkungan balok MKGTS .....	62
Gambar 5.11	Momen-kelengkungan balok MSKP .....	63
Gambar 5.12	Momen-kelengkungan balok MSKG .....	64
Gambar 5.13	Momen-kelengkungan balok MS50KG .....	65
Gambar 5.14	Momen-kelengkungan balok kontrol dan balok variasi sengkang dengan kawat strimin .....	66
Gambar 5.15	Pola kerusakan balok TSK .....	75
Gambar 5.16	Pola kerusakan balok BN .....	75
Gambar 5.17	Pola kerusakan balok MKTS.....	76
Gambar 5.18	Pola kerusakan balok MKGTS.....	76

Gambar 5.19 Pola kerusakan balok MSKP .....	76
Gambar 5.20 Pola kerusakan balok MSKG .....	76
Gambar 5.21 Pola kerusakan balok MS50KG .....	76
Gambar 5.22 Grafik hubungan momen–panjang retak lentur .....	80
Gambar 5.23 Grafik hubungan momen–panjang retak geser .....	81
Gambar 5.24 Grafik hubungan momen–lebar retak lentur .....	82
Gambar 5.23 Grafik hubungan momen–lebar retak geser .....	83

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A	Kartu peserta Tugas Akhir ..... 87
B	Data hasil pemeriksaan bahan ..... 90
B.1	Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus..... 91
B.2	Hasil pemeriksaan berat jenis agrerat kasar (kerikil) ..... 92
B.3	Data modulus halus butir (MHIB) agregat kasar..... 93
B.4	Data modulus halus butir (MHB) agregat halus..... 94
B.5	Pengujian kawat tarik strimin..... 95
B.6	Tabel hasil pengujian kuat tarik baja..... 96
C	Hitungan perancangan adukan beton metode DOE ..... 97
D	Data hasil pengujian sifat mekanik beton..... 104
D.1	Tabel hasil pengujian kuat desak silinder beton..... 105
D.2	Tabel perhitungan standar deviasi (Sd)..... 106
D.3	Tabel hasil pengujian kuat geser balok beton ..... 107
D.4	Tabel hasil pengujian kuat lentur beton ..... 108
D.5	Tabel hasil pengujian tarik belah beton..... 109
E	Data hasil perhitungan momen kapasitas ..... 110
F	Data dan grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian dan teoritis..... 115
F.1	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (BN)..... 116
F.2	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TSK)..... 117
F.3	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (MKTS) ..... 118
F.4	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (MKGTS) ..... 120
F.5	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (MSKP)..... 122
F.6	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (MSKG)..... 123
F.7	Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (MS50KG)..... 125
F.8	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok normal..... 127
F.9	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok tanpa sengkang ..... 129
F.10	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok MKTS ..... 130



F.11	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok MKGTS .....	132
F.12	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok MSKP .....	134
F.13	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok MSKG.....	136
F.14	Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok MS50KG.....	138
G	Data dan grafik hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian dan teoritis.....	140
G.1	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok normal.....	141
G.2	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok tanpa sengkang .....	143
G.3	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok MKTS.....	144
G.4	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok MKGTS.....	146
G.5	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok MSKP .....	148
G.6	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok MSKG .....	150
G.7	Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok MS50KG .....	152
H	Data dan grafik hubungan momen-panjang retak dan momen-lebar retak .....	160
H.1	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok normal penuh sengkang (BN).....	161
H.2	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok normal tanpa sengkang (TSK) .....	163
H.3	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok MKTS .....	164
H.4	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok MKGTS .....	166
H.5	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok MSKP .....	168
H.6	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok MSKG.....	170
H.7	Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok MS50KG.....	172
I	Foto-foto pengujian .....	173

## DAFTAR NOTASI

$a$	Tinggi balok tegangan
$A$	Luas benda uji
$A_s$	Luas tulangan tarik
$A_s'$	Luas tulangan tekan
$b$	Lebar balok
$b_w$	Lebar badan balok T atau L
$c$	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
$C_c$	Gaya tekan beton
$C_s$	Gaya tekan baja
$d$	Tinggi efektif balok
$d'$	Jarak dari tepi serat tertekan kepusat tulangan tekan
$D$	Diameter baja tulangan
$E_c$	Modulus elastis beton
$E_s$	Modulus elastis baja
$f_c'$	Kuat tekan beton
$f_l$	Kuat lentur balok
$f_s'$	Tegangan baja tekan
$f_{sh}$	Kuat geser balok
$f_t$	Kuat tarik belah beton
$f_u$	Tegangan tarik ultimit
$f_y$	Tegangan leleh baja
$h$	Tinggi balok
$I$	Momen inersia penampang
$l_c$	Panjang retak
$L$	Panjang balok
$M$	Momen
$M_n$	Momen nominal
$P$	Gaya, beban
$P_u$	Beban ultimit

$P_y$	Beban leleh
$S$	Momen statis dari bagian yang tergeser terhadap garis netral
$T_s$	Gaya tarik baja
$V$	Gaya lintang
$V_c$	Gaya geser beton
$V_n$	Gaya geser nominal total
$V_s$	Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
$V_u.d/M_u$	Nilai kelangsingan struktur dan nilai tidak boleh lebih besar dari 1
$w$	Lebar retak
$\Delta$	Lendutan, defleksi
$\Delta_y$	Lendutan leleh
$\beta_1$	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
$\epsilon_c$	Regangan beton
$\epsilon_s$	Regangan baja tarik
$\epsilon_s'$	Regangan baja tekan
$\epsilon_y$	Regangan leleh baja
$v$	Tegangan geser
$\rho$	Ratio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok
$\rho_b$	Rasio tulangan seimbang
$\rho_w$	Rasio tulangan
$\phi$	Kelengkungan

## ABSTRAKSI

Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser sehingga dilakukan beberapa penambahan bentuk bahan yang dapat membantu balok beton terhadap kerusakan yang diakibatkan adanya gaya akibat beban luar seperti pemberian baja tulangan berupa sengkang tetapi dengan penambahan baja tulangan belum mampu memberikan hasil yang benar-benar memuaskan. Retak-retak melintang yang halus masih sering timbul pada daerah tarik di tengah bentang dan geser di daerah sekitar tumpuan. Salah satu cara untuk mengurangi retak-retak halus dan miring adalah menambah atau menggantikan baja tulangan dengan kawat strimin pada balok sehingga retak-retak yang mungkin terjadi akan tereliminir/dapat diatasi.

Dalam penelitian ini, dibuat benda uji balok beton berukuran tinggi (h)=300 mm, lebar (l)=150 mm, panjang (L)=1920 mm dengan penambahan kawat strimin (*wire mesh*) berbentuk miring tipe wajik (*diamond shape*) diameter 1,57 mm antara lain balok tanpa sengkang dan kawat strimin (TSK), balok dengan sengkang penuh (BN) sebagai balok kontrol dan benda uji balok beton dengan variasi sengkang dan kawat strimin/ferosemen terdiri dari balok dengan kawat strimin penuh tanpa sengkang (MKTS), balok dengan kawat strimin pada daerah geser tanpa sengkang (MKGTS), balok dengan sengkang dan kawat strimin penuh (MSKP), balok dengan sengkang dan kawat strimin pada daerah geser (MSKG), balok dengan pengurangan 50 % sengkang dan kawat strimin pada daerah geser (MS50KG).

Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik serta perilaku balok beton dengan penambahan kawat strimin. Pelaksanaan penelitian menggunakan metode uji eksperimental terhadap balok beton dengan melapisi kapur putih setiap sisi balok beton, meletakkan balok beton pada posisi di atas tumpuan sendi dan rol, memberikan balok beton dudukan lempengan baja dan pemasangan alat pengukur lendutan (LVDT) pada salah satu sisi balok di daerah lentur.

Dari hasil penelitian beberapa balok beton seperti TSK diperoleh  $P_u=120$  kN,  $\Delta=3,323$  mm, kekakuan=42,761 kN/mm, daktilitas=2,030,  $EI=5185,185$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=49,560$  kNm, BN diperoleh  $P_u=180$  kN,  $\Delta=16,907$  mm, kekakuan=26,583 kN/mm, daktilitas=2,724,  $EI=3352,685$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=33,6$  kNm, MKTS diperoleh  $P_u=190$  kN,  $\Delta=11,357$  mm, kekakuan=32,649 kN/mm, daktilitas=2,119,  $EI=4454,545$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=58,24$  kNm, MKGTS diperoleh  $P_u=184$  kN,  $\Delta=11,750$  mm, kekakuan=30,990 kN/mm, daktilitas=2,081,  $EI=2755,906$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=51,8$  kNm, MSKP diperoleh  $P_u=185$  kN,  $\Delta=12,033$  mm, kekakuan=25,680 kN/mm, daktilitas=2,240,  $EI=692,464$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=46,48$  kNm, MSKG diperoleh  $P_u=162$  kN,  $\Delta=13,290$  mm, kekakuan=32,151 kN/mm, daktilitas=3,437,  $EI=4198,552$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=49,56$  kNm, MS50KG diperoleh  $P_u=188$  kN,  $\Delta=10,693$  mm, kekakuan=32,151 kN/mm, daktilitas=2,645,  $EI=3292,782$  kNm<sup>2</sup>,  $M_{kap}=46,2$  kNm. Berdasar hasil pengujian balok uji dapat dilihat bahwa balok ferosemen terhadap balok kontrol mengalami peningkatan yang signifikan dengan penambahan kawat strimin sehingga sangat berpengaruh untuk mengurangi retak-retak yang terjadi dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti sengkang.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pembangunan sarana fisik di Indonesia saat ini sedang giat dilakukan sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan teknologi, perekonomian, sosial dan lain sebagainya yang mengharuskan tersedianya sarana tersebut. Gedung pencakar langit, perumahan rakyat, perkantoran, hotel, jembatan, bangunan industri, bangunan irigasi, lapangan terbang, pelabuhan menggunakan beton sebagai salah satu bahan struktur bangunan yang paling populer di Indonesia. Hal ini disebabkan karena bahan baku beton tersedia cukup melimpah dan murah.

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat satu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir, koral atau agregat serta air. Beton dalam berbagai sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan komposisi material pembentuknya tergantung dari kekuatan yang diinginkan sehingga dapat diupayakan berbagai cara untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis beton, antara lain kelccakan/sifat mudah dikerjakan (*workability*), *placebility*, kekuatan (*strength*), daya tahan terhadap penurunan mutu akibat pengaruh cuaca (*durability*), susut/sifat dapat tembus (*permeability*), *corrosivity* dan lain-lain (Winter dan Nilson, 1993).

Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh tulangan lentur atau tulangan memanjang yang biasanya mempunyai kelemahan terhadap kuat tarik dan bersifat getas/*brittle* (Dipohusodo, 1994). Oleh karena itu, dalam tiap perencanaan struktur bangunan teknik sipil, kekuatan tarik beton sering diabaikan. Untuk mengatasi hal tersebut di atas dilakukan penambahan beberapa bentuk bahan yang dapat

membantu balok beton terhadap kerusakan yang diakibatkan adanya gaya akibat beban luar. Balok beton diberi baja tulangan profil maupun polos untuk menahan gaya tarik ekstrim beton. Penambahan baja tulangan belum memberikan hasil yang benar-benar memuaskan. Retak-retak melintang yang halus masih sering timbul pada daerah tarik di tengah bentang dan geser pada daerah sekitar tumpuan. Retak-retak di tengah bentang disebabkan oleh beban lentur, sedangkan retak di sekitar tumpuan disebabkan oleh geser. Geser pada balok beton umumnya ditahan oleh tulangan geser yang biasanya berupa sengkang atau tulangan miring, dengan syarat lekatan antara beton dan baja tulangan baik.

Tulangan geser yang dipasang terlalu sedikit jumlahnya akan menyebabkan kurangnya balok beton dalam kemampuan untuk menahan geser dan rendahnya daktilitas (*ductility*) serta segera meleleh setelah terbentuknya retak miring, dan kemudian balok beton runtuh. Jika jumlah tulangan geser terlalu banyak akan terjadi keruntuhan lentur sebelum tulangan geser leleh. Jumlah tulangan geser di dalam balok beton harus direncanakan sedemikian sehingga tulangan geser dan balok beton di daerah tekan secara bersama-sama mampu menahan geser setelah terbentuknya retak miring sampai lelehnya tulangan geser (Wang dan Salmon, 1993).

Hasil dari penelitian Abdullah (1999) menunjukkan bahwa jika pada beton yang jumlah tulangan lentur dan tulangan geser sedikit/kurang diberi penguat berupa selubung (*jacket*) pada bagian luarnya, kekuatan kolom tersebut akan meningkat, dan yang paling penting adalah daktilitasnya juga meningkat secara signifikan. Karenanya, penggunaan selubung, baik dari pelat baja, *composite base material* (*carbon fiber sheet, aramid, dsb*), maupun beton bertulang, banyak kita jumpai aplikasinya dalam bentuk yang lebih baik. Berdasar penelitian tersebut, dalam penelitian ini, sebagai bahan untuk selubung terhadap balok beton bertulang digunakan kawat strimin (*wire mesh*), yaitu salah satu jenis beton bertulang tetapi tebalnya hanya sekitar 10–40 mm. Perbedaannya dari beton bertulang yang sudah umum dikenal adalah jika pada beton bertulang tulangan yang digunakan adalah batangan besi, pada ferosemen (*ferrocement*) sebagai

tulangan digunakan kawat strimin/jaringan kawat (*wire mesh*), misalnya jaringan kawat ayam.

Salah satu cara untuk mengurangi retak-retak halus dan miring adalah menambah atau menggantikan baja tulangan untuk sengkang dengan kawat strimin/jaringan kawat (*wire mesh*) pada balok beton sehingga retak-retak yang mungkin terjadi akibat gaya lentur dan gaya geser akan ditahan oleh kawat strimin/jaringan kawat (*wire mesh*) tersebut.

## 1.2 Perumusan permasalahan

Untuk menjaga supaya penelitian tidak meluas dan melebar dari masalah yang dihadapi, diambil rumusan masalah, yaitu :

“ Bagaimana pengaruh kawat strimin (*wire mesh*) berbentuk miring tipe wajik (*diamond shape*) dengan diameter 1,57 mm, sebagai alternatif pengganti sengkang terhadap kuat lentur dan geser pada balok beton bertulang ? “.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan :

1. dapat mengetahui pengaruh kawat strimin (*wire mesh*) berbentuk wajik/miring terhadap kuat lentur dan kuat geser balok beton,
2. mengetahui mekanisme runtuh balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin (*wire mesh*),
3. menentukan hubungan antara beban-lendutan sebelum dan sesudah menggunakan kawat strimin (*wire mesh*),
4. menentukan hubungan momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) sebelum dan sesudah menggunakan kawat strimin (*wire mesh*),
5. mendapatkan pola retak, lebar retak dan panjang retak pada balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin(*wire mesh*),
6. mengetahui peningkatan daktilitas (*ductility*) balok.

#### I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. mengetahui pengaruh penggunaan kawat strimin (*wire mesh*) terhadap kuat lentur dan kuat geser pada balok beton bertulang,
2. mengurangi kebutuhan sengkang pada daerah geser,
3. meningkatkan daktilitas balok beton bertulang,
4. menghambat terjadinya retak yang lebar dan panjang,
5. memperbanyak daerah retak baik pada daerah lentur maupun geser, dengan demikian memperlambat kegagalan balok,
6. diharapkan dapat menambah pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca mengenai penggunaan kawat strimin (*wire mesh*) sebagai pengganti sengkang pada balok beton bertulang.

#### I.5 Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah.

Adapun batasan-batasan tersebut adalah :

1. agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari Clereng, Kulon Progo dengan diameter maksimum 20 mm,
2. agregat halus yang digunakan merupakan pasir dari kali Boyong, Sleman dengan diameter maksimum 4,8 mm,
3. bahan ikat yang digunakan adalah semen jenis I merk Nusantara,
4. air yang digunakan berasal dari Laboratorium BKT Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta,
5. perhitungan komposisi campuran beton menggunakan metode DOE (*Departement Of Environment*) dan pembuatan campuran beton berpedoman pada SK-SNI T28-1991-03,
6. nilai *slump* digunakan 12 cm,
7. mutu bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton dengan  $f'_c = 30$  MPa dan dipakai baja tulangan mutu BJTP 24 dengan diameter 6 mm digunakan untuk tulangan memanjang atas sedangkan



diameter 16 mm digunakan untuk tulangan memanjang bawah serta dipakai sengkang diameter 10 mm,

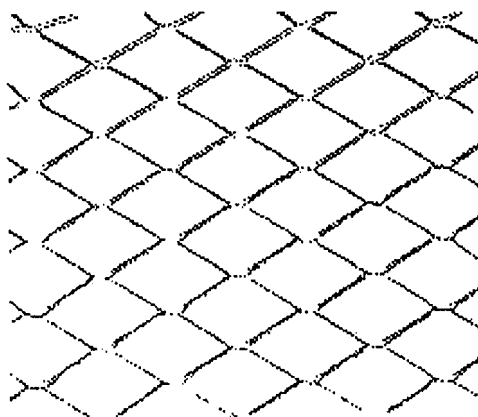
8. kawat strimin/jaringan kawat sebagai bahan tambah sebagai pengganti sengkang menggunakan kawat strimin (*wire mesh*) berbentuk miring tipe wajik (*diamond shape*) dengan diameter 1,57 mm,
9. benda uji berupa balok tampang persegi dengan ukuran tinggi (h) = 300 mm, lebar (b) = 150 mm dan panjang (L) = 1920 mm,
10. jumlah benda uji balok sebagai kontrol sebanyak 2 balok uji, jumlah benda uji balok ferosemen yang digunakan sebanyak 5 balok uji,
11. jumlah benda uji silinder berukuran tinggi 300 mm dengan diameter 150 mm sebanyak 30 silinder untuk uji kuat desak, sebanyak 15 silinder untuk uji tarik belah dan benda uji balok sebanyak 17 balok dengan ukuran panjang 200 mm, lebar 100 mm, tinggi 100 mm untuk uji kuat geser, benda uji balok sebanyak 10 balok dengan ukuran panjang 400 mm, lebar 100 mm, tinggi 100 mm untuk uji kuat lentur,
12. pengujian terhadap balok dilakukan pada umur 28 hari dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta dan pengujian terhadap silinder serta balok dilakukan pada umur 28 hari dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kawat Strimin (*Wire Mesh*)

Menurut Abdullah (1999) dari Departement of Mechanical and Environmental Informatics pada Seminar on Air-PPI Tokyo Institute of Technology, salah satu bagian yang terpenting dari ferosemen adalah kawat jala. Macam-macam kawat jala bisa didapatkan dipasaran, kawat jala ini terdiri dari kawat halus, garis tengah tidak lebih dari 1,7 mm baik di anyam ataupun di las dalam bentuk jala. Syarat utama adalah mudah dibentuk, cukup lentur untuk ditekuk pada sudut konstruksi lengkung atau tajam.

Kegunaan kawat jala dan tulangan baja pertama-tama adalah sebagai pelupuh yang membentuk rangka dan menahan mortar pada saat basah. Pada keadaan setelah mengeras gunanya untuk menerima gaya tarik di mana mortar sendiri tidak bisa menerimanya. Sifat mekanika ferosemen sangat tergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan daripada kawat jala dan baja tulangan. Kawat strimin yang digunakan adalah :



**Gambar 2.1** Kawat Jala Bentuk Wajik

Kawat jala seperti terlihat pada **Gambar 2.1** lebih dikenal sebagai *expanded metal mesh*. Yang dibuat dari plat baja yang tipis dikembangkan untuk mendapat bukaan yang berbentuk wajik (*diamond shape*). Salah satu kelemahannya adalah timbulnya kecenderungan untuk lepas dari mortar akibat efek "gunting" dari bentuk wajik tersebut.

## 2.2 Hasil-hasil Penelitian

Penelitian tentang kawat strimin (*wire mesh*) yang digunakan sebagai pengganti sengkang masih jarang di jumpai. Sebagai analogi mengenai kawat strimin (*wire mesh*), pada penelitian ini dicantumkan beberapa hasil penelitian serat kawat baja atau *fiber* kawat strimin yang telah dilakukan yang digunakan sebagai tinjauan pustaka antara lain :

### 1. Handoko dan Rahayu (1996)

Menyimpulkan dengan penambahan serat kawat baja lurus sebesar 2 % kuat desaknya menjadi 22,0036 % dan 36,1554 % untuk konsentrasi serat kawat baja 3 %. Peningkatan kuat lentur rata-rata beton umur 28 hari kerana penambahan serat kawat baja lurus 2 % dan 3 % adalah 4,7157 % dan 7,221 % sedangkan untuk serat kawat baja berkait 2 % dan 3 % adalah sebesar 19,351 % dan 31,9862 %.

### 2. Martopo dan Hadi (1997)

Dalam penelitiannya dengan menggunakan *fiber* kawat strimin panjang 1,2 mm memberikan kesimpulan bahwa semakin besar konsentrasi kawat strimin maka akan semakin meningkatkan kuat lentur beton *fiber*. Dengan menggunakan benda uji balok 10 x 10 x 50 (cm) dan variasi *fiber* kawat strimin lurus dan silang didapatkan kenaikan kuat lentur untuk *fiber* kawat strimin lurus masing-masing sebesar 1,01 %, 4,74 %, dan 6,28 % dengan konsentrasi penambahan 2,0 %, 2,5 % dan 3,0 %, sedangkan untuk *fiber* kawat strimin silang didapatkan penambahan kuat tekan sebesar 1,23 %, 7,23 %, dan 7,93 % dengan konsentrasi penambahan *fiber* sama dengan penambahan *fiber* kawat strimin lurus.

### 3. Seminar on Air-PPI Tokyo Institute of Technology (1999-2000)

Menyimpulkan dari hasil pengujian sebanyak sebelas (11) benda uji kolom berukuran 120 mm x 120 mm dengan tinggi 600 mm. Ferosemen (*ferrocement*) sebagai bahan alternatif untuk selubung penguat kolom adalah sangat *feasible*. Dengan memasang selubung ferosemen (*ferrocement*) yang hanya diperkuat oleh dua lapis jaringan kawat (*volume fraction of about 1,54 %*), kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya meningkat secara signifikan.

### 4. Purwanto dan Yudianto (2000)

Dengan menggunakan benda uji berupa balok tampang persegi berukuran 200 mm x 150 mm x 2000mm diperoleh hasil kegagalan lentur *a/d* diatas 2,5 dengan kemampuan balok beton mutu tinggi dapat menahan gaya lentur sebesar 70-80 kN dan gaya geser sebesar 35-40 kN sedangkan balok beton mutu normal dapat menahan gaya lentur sebesar 55-70 kN dan gaya geser sebesar 27,5-35 kN.

### 5. Sukmawati dan Herawati (2001)

Dengan menggunakan benda uji balok 12 x 20 x 200 (cm), dan variasi panjang *fiber* baja lokal 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, dan 9 cm serta variasi konsentrasi *fiber* sebesar 0,75 % dan 1,5 % diperoleh hasil bahwa kapasitas geser terbesar didapat pada benda uji dengan variasi *fiber* panjang 8 cm dan prosentase serat 1,5 % sebesar 95373,08498 N. Dari nilai tekanan geser pada beton bila dibandingkan dengan tegangan geser rencana terjadi kenaikan berturut-turut. Pada variasi serat dengan panjang serat terpanjang yaitu 9 cm dan prosentase serat 0,75 % terjadi peningkatan sebesar 37,62 %. Sedangkan pada variasi serat 9 cm dan prosentase serat 1,5 % kenaikannya mencapai 68,33 %.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Balok Beton Bertulang**

Balok adalah batang yang mengalami beban transversal (terlentur), dan paling efisien bila luasnya disebar sedemikian rupa hingga jaraknya jauh dari garis netral (Salmon dan Johnson, 1994).

Menurut Istimawan Dipohusodo (1994), asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan kekuatan penampang balok adalah sebagai berikut :

1. Bidang penampang rata sebelum terjadi lenturan, tetap rata setelah terjadi lenturan dan tetap tegak lurus pada sumbu bujur balok (prinsip Bernoulli). Oleh karena itu, nilai regangan dalam penampang terdistribusi linier atau berbanding lurus terhadap jaraknya ke garis netral (prinsip Navier).
2. Tegangan sebanding dengan regangan hanya sampai pada kira-kira beban sedang, di mana tegangan beton tekan tidak melampaui kurang dari  $\frac{1}{2} f_c'$ . Apabila beban meningkat sampai beban ultimit, tegangan yang timbul tidak sebanding lagi dengan regangannya yang berarti distribusi tegangan tekan tidak lagi linier.
3. Kuat tarik beton diabaikan (tidak diperhitungkan) dan seluruh gaya tarik dilimpahkan kepada tulangan baja tarik.

#### **3.2 Analisis Lentur**

Kekuatan lentur atau momen tahanan penampang balok adalah kapasitas tegangan-tegangan dalam yang membentuk sebuah momen kopel sebagai perlawanan dari momen lentur luar yang timbul sebagai akibat beban luar

(Dipohusodo, 1994). Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya per satuan luas permukaan tempatnya bekerja (Timoschenko dan Gere, 1987).

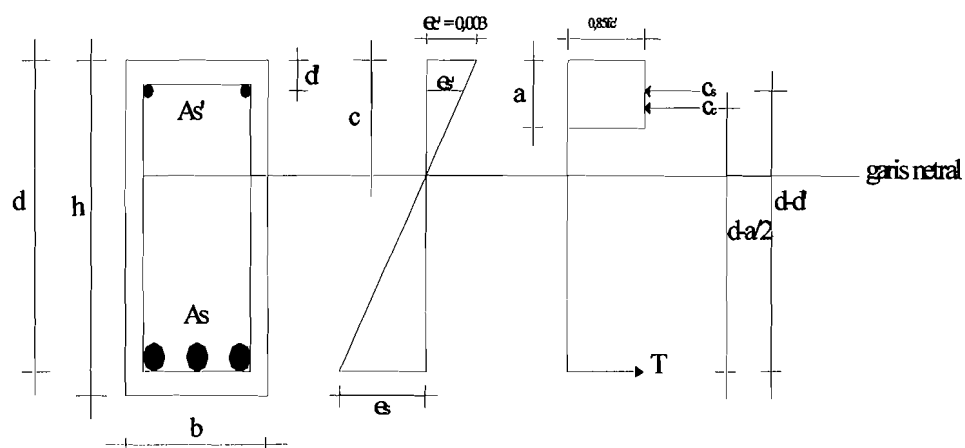
Besaran-besaran di dalam menentukan persegi yang bertulangan rangkap adalah  $b$ ,  $d$ ,  $A_s'$  dan  $A_s$ . Luas  $A_s$  diperoleh dari gabungan sejumlah luas tulangan tarik balok. Karena kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan lentur, maka bentuk dari penampang di daerah tarik dan besarnya selimut beton tidak mempengaruhi kekuatan lentur (Wang dan Salmon, 1993).

Balok mempunyai tulangan rangkap apabila mempunyai tulangan tarik dan tulangan desak sekaligus. Pemakaian tulangan desak ini dikarenakan tulangan nominal lentur ( $M_n$ ) yang ada belum mencukupi untuk mendukung momen yang terjadi dan juga bermanfaat untuk pembebanan bolak-balik.

Pada balok bertulangan rangkap, penampangnya secara teoritis dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Bagian yang bertulangan tunggal, termasuk balok segi empat ekuivalen, dengan luas tulangan tarik adalah  $A_{s1}-A_{s2}$ ,
2. Bagian bertulangan ganda, dengan asumsi baja tulangan tarik dan desak, ekuivalen luasnya sama.

Dipohusodo (1994) mengemukakan analisis momen kapasitas balok tulangan rangkap dengan mengacu pada **Gambar 3.1** adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Blok tegangan ekuivalen Whitney tulangan rangkap

Ada dua kemungkinan yang akan dialami oleh penampang balok tulangan rangkap :

- Apabila  $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$  dan  $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$ , maka baja tekan dan tarik leleh.
- Apabila  $\varepsilon'_s < \varepsilon_y < \varepsilon_s$ , maka baja tarik telah leleh, tetapi baja tekan belum leleh.

dengan :  $\varepsilon'_s$  = regangan baja tekan

$\varepsilon_s$  = regangan baja tarik

$\varepsilon_y$  = regangan leleh baja

### 3.2.1 Kemungkinan a

Menganggap semua tulangan telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari

**Gambar 3.1** dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.1)$$

$$C_s = A'_s \cdot f_y \quad (3.2)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.3)$$

dengan :  $C_c$  = gaya tekan pada beton

$C_s$  = gaya tekan pada baja

$T_s$  = gaya tarik pada baja

$f'_c$  = kuat tekan beton

$f_y$  = tegangan leleh baja

$a$  = tinggi blok tegangan desak

$b$  = lebar balok

$A_s$  = luas baja tarik

$A'_s$  = luas baja desak

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c + C_s = T_s \quad (3.4)$$

$$0,85 f'_c \cdot a \cdot b + A'_s \cdot f_y = A_s \cdot f_y \quad (3.5)$$

sehingga dari persamaan 2.5 didapat nilai a :

$$a = \frac{(A_s - A'_s) \cdot f_y}{0,85 f'_c \cdot b} \quad (3.6)$$

sehingga momen nominal untuk tulangan rangkap dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = (A_s - A'_s) \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3.7)$$

dengan :  $M_n$  = momen nominal

$d$  = tinggi efektif balok

$d'$  = jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan

### 3.2.2 Kemungkinan b

Apabila  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y < \varepsilon_s$ , baja tekan belum leleh maka dicari nilai momen nominal dari persamaan keseimbangan dan diagram tegangan pada **Gambar 3.1** sehingga didapat nilai a :

$$(0,85 f'_c \cdot b) \cdot a^2 + (600 \cdot A'_s - A_s \cdot f_f) \cdot a - (600 \cdot 0,85 \cdot d' \cdot A'_s) = 0 \quad (3.8)$$

nilai tegangan baja tekan dicari dengan persamaan :

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,003 \left\{ (a - \beta_1 \cdot d) / a \right\} \cdot E_s \quad (3.9)$$

dengan :

$f_s'$  = tegangan baja tekan

$\beta_1$  = konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton

maka momen nominal dapat dicari dengan persamaan :

$$M_n = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad (3.10)$$

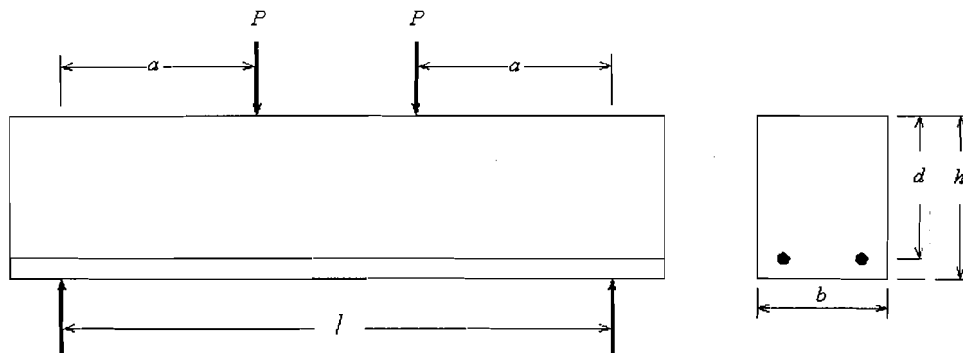
## 3.3 Analisis Geser

### 3.3.1 Jenis-Jenis Kegagalan Geser

Kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan kekuatannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting dalam struktur beton. Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena runtuh geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok yang terkena keruntuhan geser langsung hancur tanpa ada peringatan terlebih dahulu, juga retak diagonalnya lebih besar dibandingkan retak lentur (Dipohusodo, 1994).



Menurut Phil M. Ferguson (1986) di dalam penetapan kuat geser balok menempati posisi penting pada nilai banding bentang geser dan tinggi efektif,  $a/d$  seperti terlihat pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Pengaruh  $a/d$  dan tebal balok terhadap perlawanan geser (Ferguson, 1986)

Berdasarkan nilai  $a/d$  tersebut cara keruntuhan geser balok dapat diketahui dari tipe-tipe kegagalannya (Ferguson, 1986) :

### 1. Kegagalan Tarik Diagonal

Dalam masalah yang sederhana kegagalan tarik diagonal terjadi apabila bentang geser lebih besar dari  $3d$  atau  $4d$ . Retak diagonal selalu berada dalam daerah sebesar  $a/d$  di atas 2, dan kadang-kadang pada nilai-nilai  $a/d$  yang lebih rendah. Retak seperti itu tidak segera menimbulkan kegagalan, walaupun dalam beberapa bentang geser yang lebih panjang.

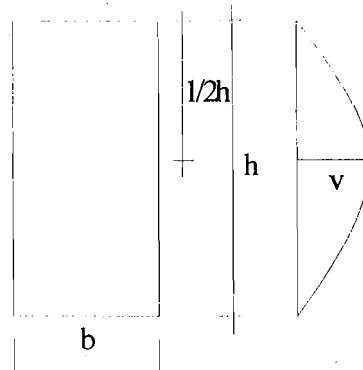
### 2. Kegagalan Tekan-Geser

Kejadian pada kegagalan tekan-geser apabila bentang geser adalah dari  $d$  sampai  $2,5d$ , dengan suatu pengaruh penurunan secara cepat dalam daerah nilai  $2,5d$  sampai  $4d$ . Apabila bentang geser kecil, kekuatan geser bertambah dengan geser ultimit lebih besar dua kali untuk  $a = 1,5d$  atau  $a = 3,0d$ . Retak diagonal selalu berada dalam daerah sebesar  $a/d$  sebesar 1,5 atau 2,0.

### 3. Kegagalan-belah

Kejadian pada kegagalan-belah atau kegagalan tekan di titik perletakan yang biasanya menyeruapi pembelahan vertikal terjadi apabila bentang geser lebih kecil dari tebal efektif  $d$ .

Menurut W.C. Vis dan Gideon Kusuma (1993) distribusi gaya geser dapat digambarkan sebagai bentuk parabolis pada penampang homogen. Seperti terlihat pada **Gambar 3.3** di bawah ini.



**Gambar 3.3** Distribusi tegangan geser berbentuk parabolis pada penampang homogen (Vis dan Gideon, 1993)

Andaikan beban balok sendiri diabaikan maka kedua tepi balok di antara perletakan dan beban terpusat terdapat besar gaya lintang yang besarnya konstan. Sedangkan besar gaya lintang di tengah balok sama dengan nol. Secara umum besarnya tegangan geser ( $v$ ) yang berlaku adalah :

$$v = \frac{V.S}{b.I} \quad (3.11)$$

dengan :  $V$  = gaya lintang.

$S$  = momen statis dari bagian yang tergeser terhadap garis netral,

$b$  = lebar balok,

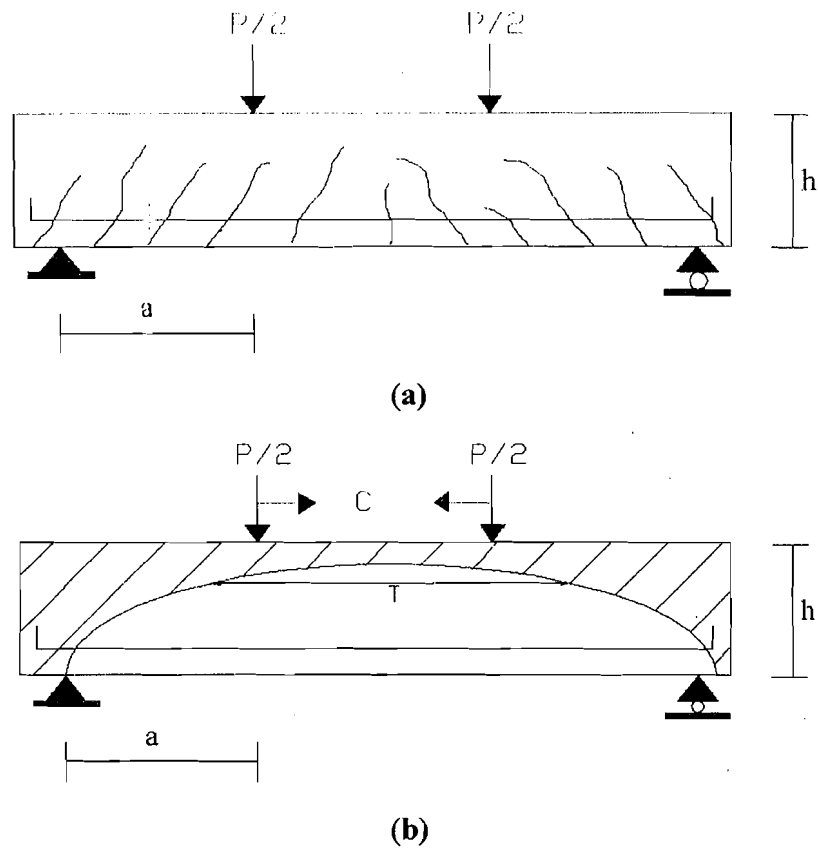
$I$  = momen inersia penampang

Untuk penampang persegi nilai maksimum tegangan geser

$$v_{\text{maks}} = \frac{V.S}{b.I} = \frac{V \cdot 1/2 \cdot b \cdot h \cdot 1/4 \cdot h}{b \cdot 1/12 \cdot b \cdot h^3} = \frac{3.V}{2 \cdot b \cdot h} \quad (3.12)$$

Bila beban  $P$  ditingkatkan, maka pada daerah tarik akan terjadi retakan dan perilaku material pun tidak homogen lagi. Dalam balok terbentuk busur tekan dengan ikatan tarik. Secara garis besar retakan dapat dilihat pada **Gambar 3.4 a**,

sedangkan busur tekan dan ikatan tarik ditunjukkan pada **Gambar 3.4 b** di bawah ini.



**Gambar 3.4** Retakan, busur tekan dan ikatan tarik  
(Vis dan Gideon, 1993)

### 3.3.2 Kuat Geser yang Disumbangkan Beton

Tegangan geser beton biasanya dinyatakan dalam fungsi dari  $\sqrt{f_c'}$  dan kapasitas beton dalam menerima geser menurut SKSNI T-15-1991-03 adalah sebesar :

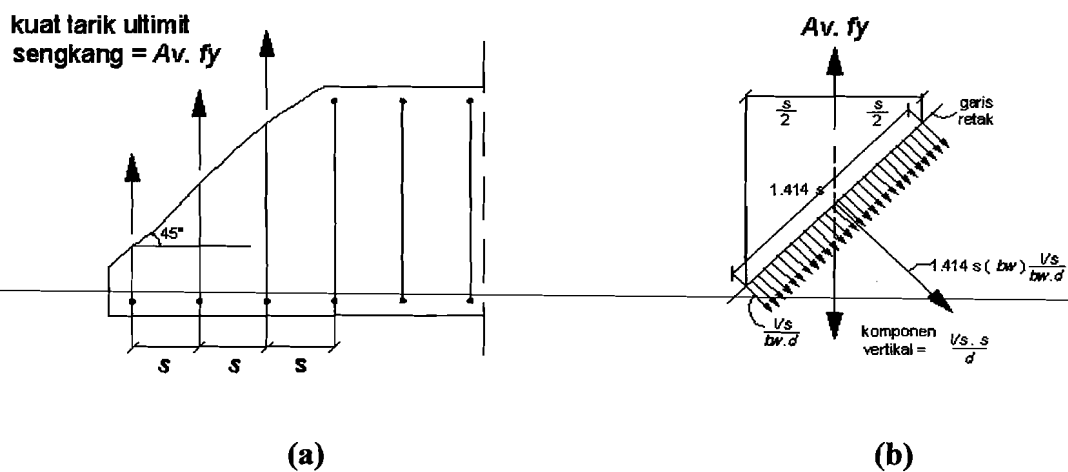
$$V_c = \left(\frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d \quad (3.13)$$

### 3.3.3 Kuat Geser yang Disumbangkan Tulangan Geser

Untuk menggambarkan kuat geser yang disumbangkan tulangan geser dapat dilihat pada **Gambar 3.5** menjadi yang menunjukkan *free body* antara ujung balok dan retakan miring, proyeksi horizontal retak diambil sebagai  $d$ , dengan retak membentuk bidang  $45^\circ$ . Jika  $s$  adalah jarak sengkang, jumlah sengkang diambil dari retakan  $d/s$ . Pengasumsian bahwa semua sengkang leleh saat runtuh, gaya geser yang ditahan oleh sengkang adalah :

$$V_s = \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{s} \quad (3.14)$$

Persamaan (3.4) dapat diuraikan dengan menganggap bahwa sengkang menahan komponen vertikal dari gaya tarik diagonal yang bekerja di daerah  $\frac{1}{2} s$  kanan dan kiri dari sengkang yang bersangkutan (**Gambar 3.5 b**). Sedangkan komponen horizontal di masukkan dalam perencanaan tulangan pokok memanjang.



**Gambar 3.5** Jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan  
(Dipohusodo, 1994)

Dengan menggunakan konsep tegangan geser SK-SNI T-15-1991-03 dan memberikan beberapa substitusi, maka didapatkan :

$$\text{Tegangan geser} = \frac{Vu}{\phi b_w d} = \frac{\phi(Vc + Vs)}{\phi b_w d} = \frac{Vc}{b_w d} + \frac{Vs}{b_{wo} d} \quad (3.15)$$

Suku pertama ( $V/b_w d$ ) adalah kapasitas tegangan geser beton, sedangkan suku kedua sebagai kelebihan tegangan geser di atas kapasitas beton yang harus didukung oleh tulangan baja geser pada balok.

Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan oleh tulangan geser adalah  $1,414 sb_w$  sehingga seperti tampak pada **Gambar 3.4 b** gaya tarik diagonal adalah :

$$1,414 sb_w \left( \frac{V_s}{b_w d} \right) \quad (3.16)$$

Komponen vertikal gaya tarik diagonal :

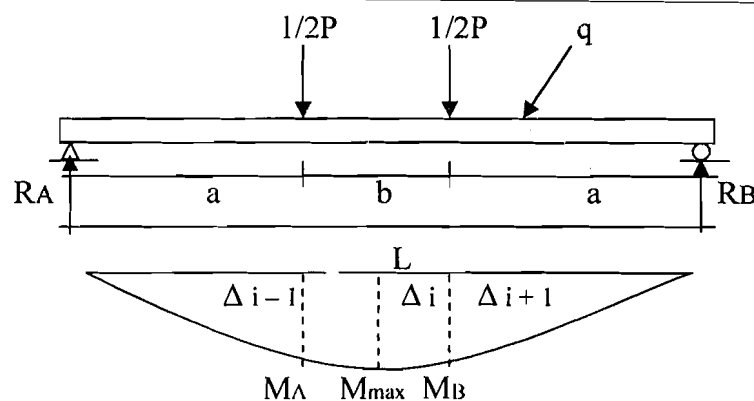
$$0,707 (1,414 sb_w) \frac{V_s}{b_w d} = sb_w \frac{V_s s}{d} \quad (3.17)$$

$A_v f_y$  adalah kapasitas tarik ultimit sengkang. Karena ke arah vertikal harus terjadi

keseimbangan, maka :  $A_v f_y = \frac{V_s s}{d}$  sehingga,  $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$  (3.18)

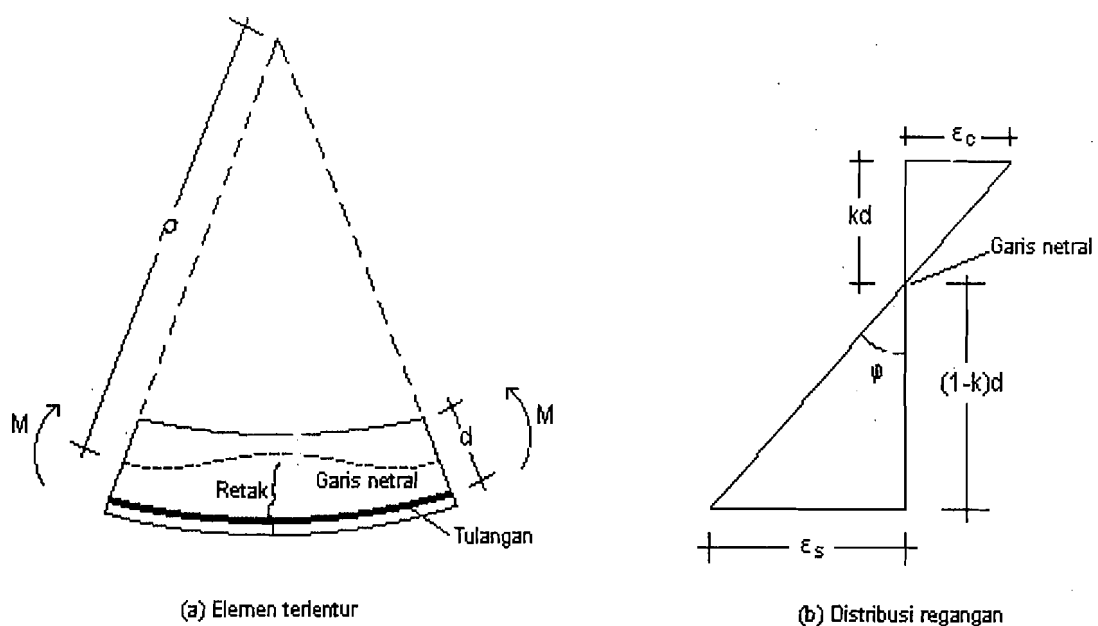
### 3.4 Kelengkungan Balok

Balok adalah salah satu di antara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Momen lentur timbul pada balok sebagai akibat adanya beban pada balok. Apabila balok dengan tumpuan sederhana seperti pada **Gambar 3.6** mengalami dua beban transversal terpusat simetris, balok akan melentur atau mengalami defleksi seperti **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6** Defleksi pada balok

Menurut Park dan Paulay (1975), kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya aksial yang sama seperti pada **Gambar 3.7**. Jari-jari kelengkungan  $\rho$  diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan ( $\rho$ ), tinggi garis netral ( $kd$ ), regangan beton ( $\epsilon_c$ ) dan regangan baja tarik ( $\epsilon_s$ ). Berdasarkan teori tersebut, retak beton akan bertambah jika dilakukan penambahan pembebanan.



**Gambar 3.7** Kelengkungan balok (Park dan Paulay, 1975)

Popov (1983) mengemukakan kelengkungan suatu garis dalam koordinat Cartesian dinyatakan dengan persamaan (3.19),

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \phi = \frac{d^2y/dx^2}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.19)$$

Jika  $\frac{dy}{dx}$  kecil, maka  $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$  sehingga persamaan 3.19 akan menjadi:

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.20)$$

Dengan menganggap sebuah elemen kecil panjang  $dx$  dari balok dan menggunakan notasi seperti pada **Gambar 3.7**, maka rotasi di antara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh:

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (3.21)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.22)$$

dengan  $\frac{1}{\rho} = \varphi$

dari Gambar 3.7 b, jika regangan dijumlahkan diperoleh :

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (3.23)$$

dengan :

$\varphi$  = kelengkungan

$\varepsilon_c$  = regangan beton

$\varepsilon_s$  = regangan baja

$d$  = tinggi efektif penampang

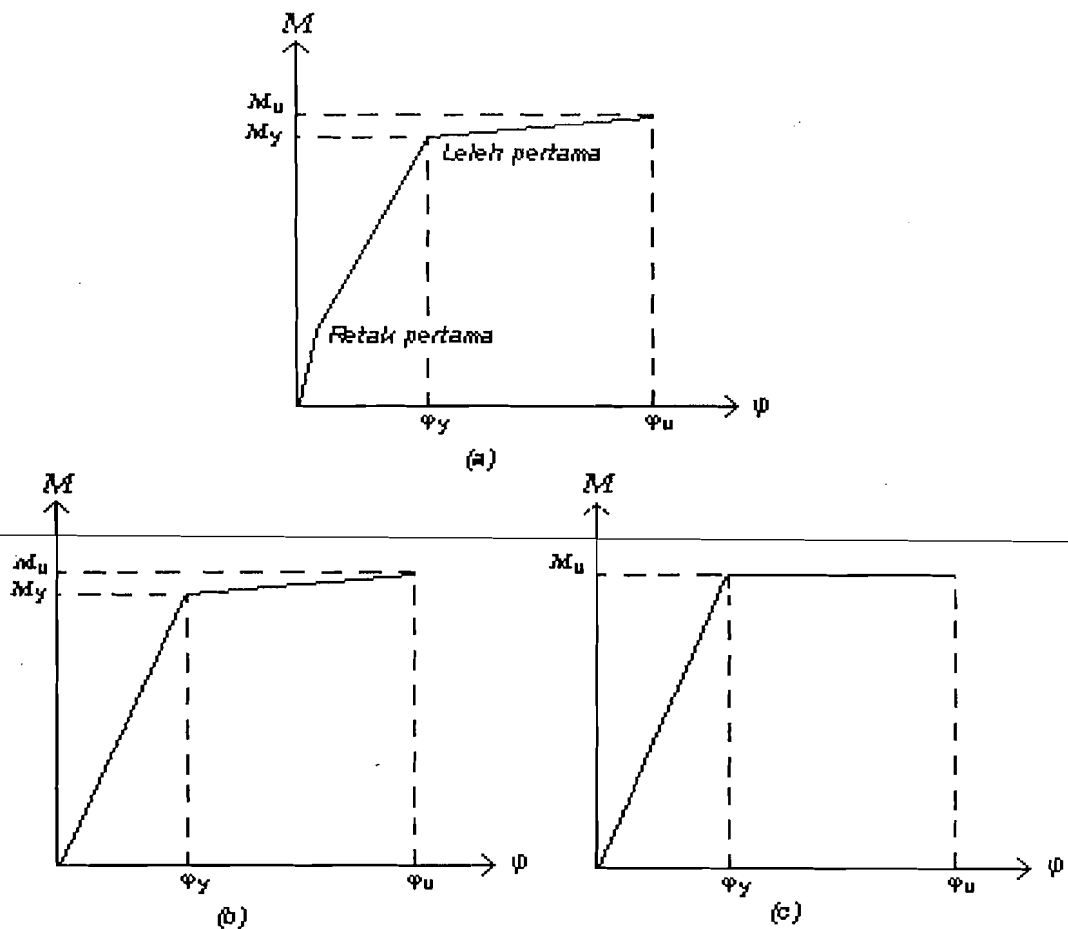
Persamaan (3.20) dapat diselesaikan secara numerik dengan pendekatan *central difference*, seperti persamaan (3.24),

$$\varphi = \frac{y(i+1) - 2y_i + y(i-1)}{2\Delta x^2} \quad (3.24)$$

Ini menunjukkan bahwa kelengkungan  $\varphi$  adalah gradien dari regangan dari elemen seperti dalam **Gambar 3.7** kelengkungan akan benar-benar berubah sepanjang bentang balok karena naik-turunnya garis netral dan regangan-regangan diantara retak-retak. Jika panjang elemen adalah kecil dan sebuah retak berakhir, kelengkungan dihitung dengan persamaan (3.23). Dua grafik yang diperoleh dari penghitungan balok bertulangan rangkap adalah lurus/linear diawal dan hubungan antara momen dan kelengkungan diberikan seperti pada Persamaan (3.25),

$$EI = MR = \frac{M}{\phi} \quad (3.25)$$

Di mana  $EI$  adalah faktor kekakuan dari penampang. Dengan peningkatan momen, retak pada beton akan mengurangi faktor kekakuan ( $EI$ ) penampang, keadaan ini ditunjukkan pada **Gambar 3.8a**. Perilaku dari penampang setelah retak tergantung dari jumlah tulangan pokok. Balok bertulangan sedikit menghasilkan sebuah peningkatan kurva  $M-\phi$  yang linear diatas titik leleh baja (**Gambar 3.8b**). Dengan mengangap peningkatan momen yang konstan ketika baja sudah leleh, maka dapat digambarkan hubungan  $M-\phi$  seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.8c**.



**Gambar 3.8** Grafik momen kelengkungan (Popov, 1983)



### 3.5 Hubungan Beban dan Lendutan

Pada balok yang melentur akibat menahan beban akan terjadi lendutan, besarnya lendutan yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode salah satunya adalah metode integrasi ganda.

$$EIy = \iint Mdx + c_1 + c_2 \quad (3.26)$$

Dengan demikian apabila kurva lendutan didefinisikan sebagai  $y-y(x)$ , maka :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)}{\left((1 + (dy/dx)^2)^{3/2}\right)} \quad (3.27)$$

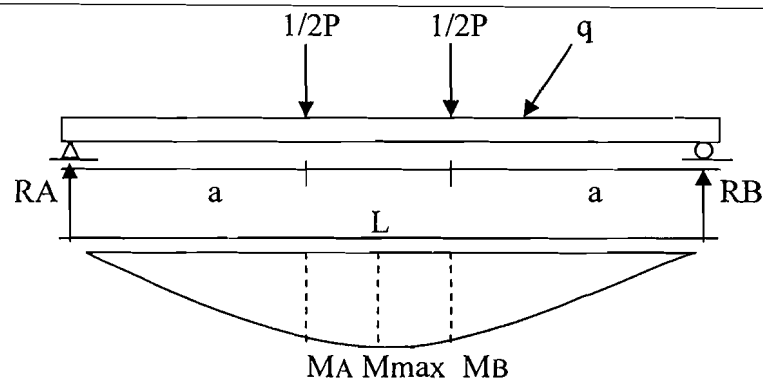
$dy/dx$  adalah kemiringan elemen struktur di suatu titik. Untuk lendutan kecil, kuadrat suku ini dapat diabaikan. Dengan demikian :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.28)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \text{ atau } \frac{d^2y}{dx^2} = M \quad (3.29)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = \int Mdx + c \quad (3.30)$$

$$EIy = \iint Mdx + c_1 + c_2 \quad (3.31)$$



**Gambar 3.9** Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok

Mencari momen:

$$R_A = \frac{1}{2}P \quad (3.32)$$

$$R_A = R_B \quad (3.33)$$

$$M_{\max} = M_A = M_B \quad (3.34)$$

$$M_A = \frac{1}{2}P \times a \quad (3.35)$$

Lendutan ditengah bentang akibat beban titik :

$$\Delta = \left[ \frac{P \times a}{24EI} \times 3 \times L^2 \right] - [4a^2] \quad (3.36)$$

Lendutan pada jarak x dari tepi balok:

$$\Delta = \left[ \frac{P \times x}{6EI} \times 3L \times a \right] - [3a^2] - [x^2] \quad (3.37)$$

Di mana:

$$E = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3.38)$$

Dari gambar 3.9 dapat dihitung Inersia pergeseran tampang dengan rumus:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (3.39)$$

### 3.6 Momen–Kelengkungan Kondisi Retak ( $M_{cr}$ - $\kappa_{cr}$ )

Menurut Wang dan Salmon (1993) momen retak untuk balok normal ( $M_{cr}$ ) di mana terjadinya retak yang pertama kali dihitung menurut persamaan:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3.40)$$

Dimana,  $f_r$  = modulus retak beton, untuk beton mutu normal  $f_r = 0,7 \sqrt{(f'c)}$   
 $y_t$  = jarak dari garis netral penampang utuh (mengabaikan tulangan baja) keserat tepi tertarik,

$I_g$  = momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, untuk penampang segiempat,  $I_g = \frac{1}{12}bh^3$ .

Untuk mendapatkan kelengkungan saat kondisi retak untuk balok normal ( $\kappa_{cr}$ ) digunakan pendekatan menurut persamaan (3.27) yang diberikan Warner dkk (1998).

$$\kappa_{cr} = \frac{M_{cr}}{E_c I_g} \quad (3.41)$$

dengan:  $E_c$  adalah modulus elastisitas beton =  $4700 \sqrt{f'_c}$

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dimulai pada bulan September untuk pelaksanaan penelitian selama 6 bulan dengan pelaksanaan pengujian benda uji bertempat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.

#### **4.2 Bahan dan Alat**

##### **4.2.1 Bahan**

###### **1. Semen**

Dipakai semen portland jenis I merk Nusantara dengan berat @ 50 kg. Semen dalam penelitian ini di gunakan sebagai bahan perekat adukan beton (*binder*). Semen jenis ini dipilih karena paling umum digunakan sebagai perekat adukan beton dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Penilaian kualitas semen dalam penelitian ini hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap kemasan dan kehalusan butirannya.

###### **2. Agregat**

Dalam penelitian ini digunakan 2 macam agregat, yaitu:

###### **a. Agregat halus (pasir)**

Agregat halus yang digunakan adalah Pasir ini diambil dari Kali Boyong, Sleman, Jogjakarta yang berdiameter lolos saringan 4,80 mm. Pasir sebelum digunakan terlebih dahulu harus dicuci. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang terkandung di dalam butiran-butiran pasir tersebut. Selain itu

dilakukan pula penyelidikan pasir yang bertujuan untuk memperoleh distribusi ukuran butir (gradasi) dan berat volume dalam keadaan jenuh kering muka (SSD).

#### **b. Agregat Kasar (kerikil)**

Agregat kasar yang digunakan adalah batuan pecah dari daerah Clereng, Kulon Progo, Jogjakarta. Memperhatikan ukuran penampang model dipilih batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Penyelidikan batu pecah bertujuan memperoleh data tentang berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD. Batu pecah sebelum digunakan dicuci dahulu dan fraksi batu-batu pecah dipisahkan menggunakan ayakan.

### **3. Air**

Air yang digunakan adalah air yang diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Pengamatan dilakukan secara visual, yaitu jernih dan tidak berbau.

### **4. Besi Tulangan**

Dalam pembuatan benda uji penelitian digunakan baja tulangan polos (BJTP) diameter 6 mm sebagai tulangan memanjang atas (tulangan tekan), diameter 16 mm sebagai tulangan memanjang bawah (tulangan tarik), dan diameter 6 mm untuk tulangan sengkang, sedangkan jarak sengkang yang dipakai adalah 100 mm dan 120 mm. Pengujian tarik baja dilakukan untuk mengetahui kuat leleh dan kuat tarik baja tulangan yang terpasang pada benda uji.

### **5. Kawat Bendrat**

Kawat bendrat diameter 0,8 mm digunakan untuk merangkai tulangan-tulangan baja, yaitu tulangan melintang dan tulangan memanjang.

### **6. Kayu Lapis**

Dalam pembuatan sampel agar didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan menggunakan cetakan dari kayu lapis dengan ketebalan 12 mm.

## 7. Kawat Strimin (*Wire Mesh*)

Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa kawat strimin yang berbentuk miring tipe wajik (*diamond shape*) dengan diameter 1,57 mm.

### 4.2.2 Alat

#### 1. Saringan

Saringan ini digunakan untuk menyaring pasir dan kerikil agar diperoleh diameter yang dibutuhkan.

#### 2. Timbangan

Timbangan dipakai untuk mengukur berat bahan penyusun beton yaitu semen, kerikil, pasir, tulangan kawat dan benda uji. Timbangan yang digunakan :

- a. timbangan merk "OHAUS" dengan kapasitas 20 kg,
- b. timbangan merk "FA GANI" dengan kapasitas 100 kg.

#### 3. Mistar dan Kaliper

Mistar dan kaliper digunakan untuk mengukur benda uji dan mistar juga digunakan untuk mengukur penurunan nilai *slump* yang terjadi

#### 4. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk menakar jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan adukan beton atau pasta semen. Kapasitas gelas ukur yang dipakai adalah 1000 ml.

#### 5. Kerucut abrams

Kerucut ini digunakan untuk mengukur kelacakan pada percobaan *slump*. Kerucut ini mempunyai dua lubang pada ujungnya, dengan diameter atas 100 mm dan diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm, yang ujungnya berbentuk bulat.

#### 6. Cetok, talam baja dan ember

Cetok digunakan sebagai alat untuk memasukkan benda uji ke dalam kerucut Abrams dan cetakan benda uji. Talam di gunakan sebagai alas pengujian *slump* dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk (molen). Ember

digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.

#### 7. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji terbuat dari pelat baja. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder diameter 150 mm dengan tinggi 300 mm dan bentuk balok berukuran panjang 200 mm, tinggi 100 mm serta lebar 100 mm. Cetakan benda uji ini mempunyai baut pada sisi luarnya, sehingga memudahkan pelepasannya.

#### 8. Molen/pengaduk beton

Mesin ini berfungsi untuk mengaduk bahan penyusun beton sehingga menjadi adukan beton yang homogen. Mesin ini digerakkan dengan generator listrik.

#### 9. Mesin uji lentur beton

Mesin uji lentur beton ini merupakan mesin untuk menguji lentur beton yang dilengkapi dengan alat untuk pembebanan titik pada beton yang diletakkan di atas dua tumpuan. Beban yang telah bekerja dapat dibaca pada skala pembebanan.

#### 10. Mesin uji desak beton

Mesin uji desak beton merk "Controlls" digunakan untuk menguji kuat desak beton dengan beban yang dapat dibaca pada skala pembebanan. Kapasitas mesin ini adalah 2000 kN.

#### 11. Mesin uji kuat tarik

Digunakan untuk mengetahui kuat tarik dan kuat leleh tulangan baja. Di dalam penelitian ini digunakan *Universal Testing Machine* (UTM) merk *Sumitsu* type UMH 30 dengan kapasitas 30 ton.

#### 12. Loading Frame

*Loading frame* merupakan alat ulat untuk menguji balok secara skala penuh dengan portal yang berdiri di atas lantai beton dan perantara berupa pelat dari baja dengan tebal 14 mm. Agar loading frame, pelat dasar dibaut ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok dari bahan baja WF 450 mm x 200 mm x 9 mm x 14 mm.

### 13. Data logger

*Data Logger* merupakan alat yang digunakan untuk membaca data beban dan lendutan yang dihasilkan dari *hydraulic jack* dan *load cell*.

### 14. Hydraulic jack

Alat ini digunakan sebagai alat untuk mengetahui kemampuan lentur dan geser balok ketika menerima beban dengan kapasitas 30 ton dan pembacaan ketelitian sebesar 0,5 ton.

### 15. Load cell

*Load Cell* berfungsi untuk menyalurkan/mengukur beban statis yang didorong oleh *hidraulic jack* dan dipasang di atas *hidraulic jack*. Kapasitas *Load Cell* sebesar 60 ton.

### 16. LVDT (*Linear Variable Displacement Transducers*)

*LVDT* digunakan untuk menggantikan posisi *dial gauge* yang berfungsi untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi pada benda uji balok. Dalam penelitian dipakai 3 *LVDT*.

### 17. Microcrack

Alat ini digunakan untuk mengukur lebar retak yang terjadi pada balok saat pemberian beban sedang berlangsung.

### 18. Dukungan rol dan sendi

Dukungan rol dipasang pada salah satu ujung model balok, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi sehingga model balok mendekati balok sederhana (*simple beam*).

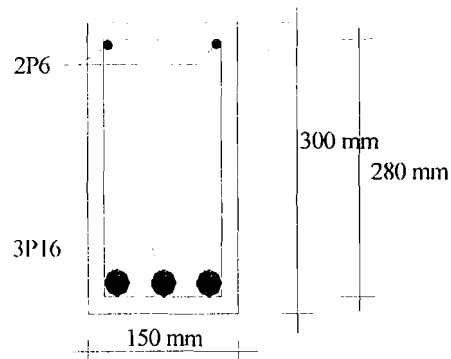
## 4.2.3 Perencanaan Benda Uji Balok

### 1. Dimensi Penampang

Dalam perencanaan balok ini dikehendaki gagal dalam geser. Jika ditentukan jarak titik beban terhadap dukungan,  $a$  sebesar 560 mm dan  $\frac{a}{d} = 2,0$

maka  $d = \frac{560}{2,0} = 280$  mm seperti terlihat pada **Gambar 4.1**.

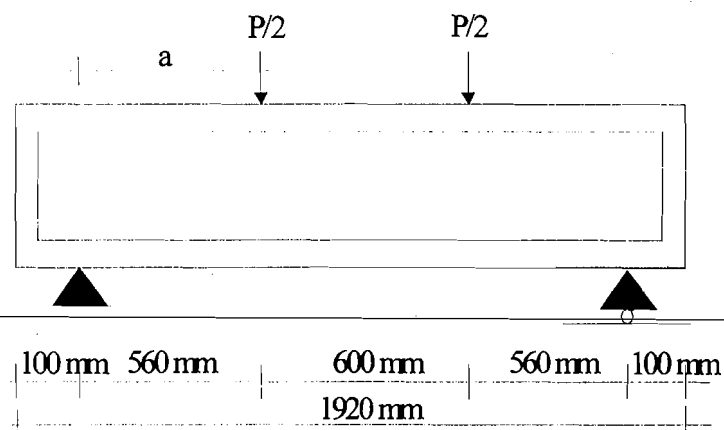




**Gambar 4.1** Penampang melintang balok uji

## 2. Panjang Bentang

Dalam perencanaan bentang balok dikehendaki gagal dalam lentur dan geser dengan  $a/d = 2,0$ . Jika ditentukan jarak antara titik beban terhadap dukungan,  $a$  sebesar 560 mm,  $d$  sebesar 280 mm dan jarak antar beban titik sebesar 600 mm maka didapatkan panjang bentang adalah 1720 mm seperti terlihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** Penampang memanjang balok uji

## 3. Jumlah Tulangan

Dalam pelaksanaan pembuatan balok menggunakan BJTP yang terdiri dari  
 a. Tulangan memanjang atas (tulangan tekan) memakai 2 BJTP dengan diameter 6 mm.

b. Tulangan memanjang bawah (tulangan tarik) memakai 3 BJTP dengan diameter 16 mm.

c. Tulangan sengkang P 6

Pada penulangan untuk sengkang antara dukungan dengan titik beban memakai jarak 100 mm sedangkan penulangan untuk sengkang antara titik beban memakai jarak 120 mm.

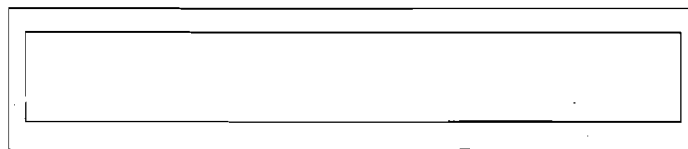
### 4.3 Perlakuan dan Rancangan Percobaan/Kajian

#### 4.3.1 Perlakuan

Pada percobaan penelitian ini akan menggunakan tujuh (7) model benda uji, yaitu :

##### 1. Balok beton bertulang tanpa sengkang dan kawat strimin (TSK)

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur dan geser yang dapat ditahan oleh balok. Balok pada pengujian ini, tulangan memanjangnya menggunakan tulangan rangkap. Alasan pengujian benda uji tanpa tulangan geser ini adalah sebagai kontrol terhadap benda uji lainnya dan diharapkan menjadi tolak ukur terhadap kuat lentur balok dan kuat geser beton seperti terlihat pada **Gambar 4.3** dan diharapkan balok runtuh dalam geser dengan beban ultimit yang terjadi merupakan beban yang ditahan oleh tulangan lentur dan geser beton.

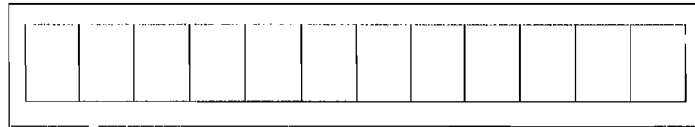


**Gambar 4.3** Model TSK

##### 2. Balok beton bertulang dengan sengkang penuh (BN).

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui besarnya kekuatan geser yang mampu ditahan oleh balok tersebut, karena fungsi sengkang adalah untuk menahan gaya geser, memperbaiki kelakuan dan kekuatan balok. Di samping itu,

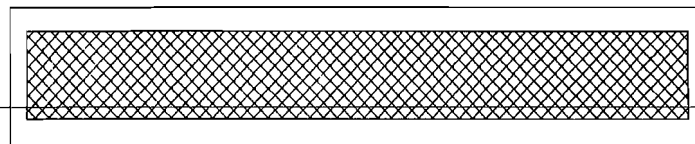
sengkang mengatur dan membatasi proses peretakan, memperlambat kegagalan balok sampai dikerjakan beban yang lebih besar. Benda uji inipun digunakan sebagai kontrol terhadap benda uji pengganti sengkang yang menggunakan kawat strimin (*wire mesh*) seperti terlihat pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4** Model BN

### **3. Balok beton bertulang dengan kawat strimin miring penuh tanpa sengkang (MKTS).**

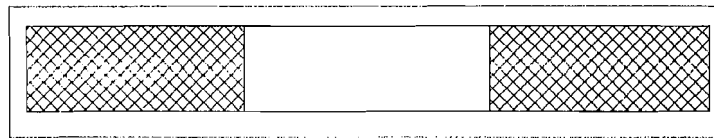
Kawat strimin (*wire mesh*) berfungsi untuk mengganti sengkang, maka tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini yaitu untuk menahan gaya geser, memperbaiki kelakuan dan kekuatan balok seperti terlihat pada **Gambar 4.5**. Di samping itu, kawat strimin (*wire mesh*) mengatur dan membatasi proses peretakan, memperlambat kegagalan balok sampai dikerjakan beban yang lebih besar dari yang direncanakan.



**Gambar 4.5** Model KTS

### **4. Balok beton bertulang dengan kawat strimin pada daerah geser tanpa sengkang (MKGTS)**

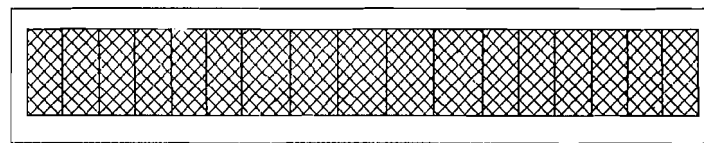
Tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini adalah penggunaan kawat strimin (*wire mesh*) untuk menahan gaya geser pada daerah geser saja. Penempatan kawat strimin (*wire mesh*) pada daerah geser seperti **Gambar 4.6**



**Gambar 4.6** Model KGTS

**5. Balok beton bertulang dengan sengkang dan kawat strimin penuh (MSKP)**

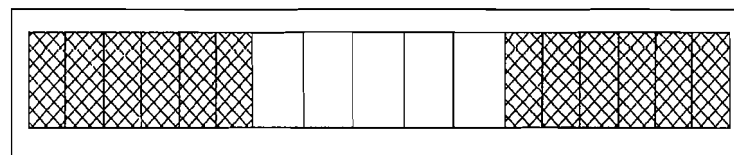
Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada **Gambar 4.7** adalah untuk menahan gaya geser, memperbaiki kelakuan/kekuatan balok dan meningkatkan gaya geser setelah diberi sengkang.



**Gambar 4.7** Model SKP

**6. Balok beton bertulang dengan sengkang dan kawat strimin pada daerah geser (MSKG)**

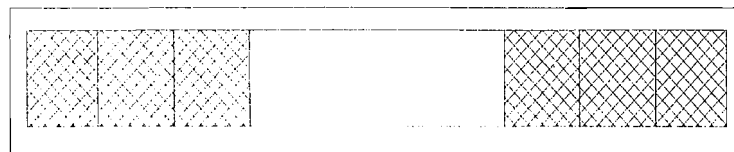
Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada **Gambar 4.8** adalah untuk menahan gaya geser pada daerah geser, memperbaiki kelakuan/kekuatan balok dan meningkatkan gaya geser setelah diberi sengkang.



**Gambar 4.8** Model SKG

### 7. Balok beton bertulang kawat strimin pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser (MS50KG)

Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada **Gambar 4.9** adalah untuk menahan gaya geser pada daerah geser, memperbaiki kelakuan/kekuatan balok dengan mengurangi pemakaian sengkang 50%.



**Gambar 4.9** Model S50KG

#### 4.3.2 Rancangan Percobaan/Kajian

##### 1. Persiapan Bahan dan Alat

Material yang digunakan untuk pembuatan benda uji ini merupakan material lokal kecuali tulangan baja dan semen. Pembuatan benda uji dan pengujian silinder dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta sedangkan pengujian balok dilakukan di Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.

##### 2. Pembuatan Benda Uji

###### a. Tahapan pembuatan campuran beton adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan kuat desak rata-rata.
- 2) Menetapkan Faktor Air Semen.
- 3) Menetapkan nilai *slump*.
- 4) Menetapkan kebutuhan air.
- 5) Menentukan kebutuhan semen.
- 6) Menetapkan Volume Agregat Kasar per meter kubik beton.
- 7) Menghitung Volume Pasir.

**b. Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder dan balok :**

- 1) Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti : semen, pasir, kerikil sesuai dengan kebutuhan rencana campuran adukan beton.
- 2) Memasukkan semen, pasir, kerikil, air sedikit demi sedikit ke dalam molen, dilanjutkan dengan menghidupkan molen.
- 3) Pada saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar  $45^\circ$ , agar terjadi adukan beton yang merata.
- 4) Setelah adukan beton terlihat merata, kemudian dituang secukupnya dan dilakukan pengujian nilai *slump* dengan menggunakan kerucut Abrams.
- 5) Mempersiapkan cetakan-cetakan silinder yang akan dipakai untuk mencetak benda uji dengan terlebih dahulu diolesi dengan oli.
- 6) Mengeluarkan adukan beton dari molen, dan ditampung pada talam.
- 7) Memasukkan adukan beton ke dalam cetakan dengan memakai cetok, dilakukan sedikit demi sedikit sambil ditusuk-tusuk dan diketuk-ketuk sisi cetakan supaya tidak keropos/gagal.
- 8) Adukan yang telah dicetak diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan, didiamkan selama 24 jam.
- 9) Cetakan dapat dibuka dengan memberikan kode atau keterangan pada setiap benda uji.

**c. Langkah-langkah pembuatan balok kontrol dan ferosemen :**

- 1) Pembuatan benda uji balok kontrol sebanyak 2 buah dan balok ferosemen sebanyak 5 buah dengan ukuran balok 150 mm x 300 mm x 1920 mm.
- 2) Setelah bahan dan alat disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, dilakukan penimbangan bahan-bahan sesuai proporsi yang telah ditentukan. Untuk agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dicuci untuk menghilangkan kandungan lumpur yang menempel. Pada saat penimbangan, kondisi pasir dan kerikil adalah jenuh kering permukaan (SSD).

- 3) Bahan susut beton diaduk menjadi satu beturut-turut, agregat kasar, agregat halus, semen dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas mesin pengaduk yang dipakai.
- 4) Untuk mengetahui kelecakan aduan beton, maka dilakukan pengukuran *slump* dengan kerucut Abrams dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm, yang dilengkapi tongkat penumbuk dari baja diameter 16 mm. Pelaksanaan percobaan *slump* dilakukan dengan cara kerucut di tekan ke bawah pada penyokong-penyokong kakinya sambil diisi adukan beton, dibuat tiga lapis adukan, dan tiap lapis ditumbuk sebanyak  $\pm 25$  kali. Bagian atas kerucut adukan diratakan dan didiamkan  $\pm 30$  detik, kemudian kerucut Abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus dan di letakkan di samping adukan tersebut, selisih tinggi tersebut dinamakan *slump*.
- 5) Dimasukkan adukan (beton segar) tersebut ke dalam cetakan balok yang telah dibersihkan yang telah diolesi oli dan ditutupi dengan selotip setiap sisi sudut bagian dalam cetakan balok agar adukan beton tidak menetes/merembes ke luar serta diberi tulangan baja dengan adukan yang berlapis-lapis dan tiap lapis dilakukan pemadatan, sisi cetakan balok diketuk-ketuk atau digetarkan dengan menggunakan palu kayu, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang terperangkap akan keluar. Adukan yang telah tercetak didiamkan dan di letakkan di tempat yang terlindung dari hujan dan sinar matahari.
- 6) Cetakan dibuka setelah terjadi pengerasan, yaitu setelah 1 hari kemudian dilakukan perawatan beton.

### 4.3.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton sangat perlu dilakukan agar permukaan beton tetap dalam keadaan lembab. Penguapan dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup

berarti sehingga dapat mengakibatkan proses hidrasi berjalan tidak sempurna, dengan konsekuensi berkurangnya kekuatan beton. Penguapan dapat juga menyebabkan penyusutan kering terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan ini.

Oleh karena itu direncanakan suatu perawatan untuk mempertahankan beton supaya terus menerus berada dalam keadaan basah selama periode beberapa hari dan bahkan beberapa minggu (Murdock dan Brook, 1986).

Pada penelitian ini, perawatan beton dilakukan dengan cara menyiram semua benda uji sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Di samping lebih kuat dan lebih awet terhadap agresi kimia, beton ini juga lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air.

#### **4.3.4 Proses Pengujian**

Pengujian kuat desak, tarik belah, kuat lentur dan kuat geser dilakukan pada umur beton 28 hari.

##### **1. Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin (*Wire Mesh*)**

Adapun tahapan-tahapan pengujian kuat tarik *wire mesh* adalah sebagai berikut :

- a. Kawat strimin (*wire mesh*) diambil satu lembar yang telah dipotong, kemudian diameter kawat strimin diukur dengan menggunakan jangka sorong (kaliper).
- b. Kawat strimin dijepitkan kedua ujungnya pada mesin penguji.
- c. Mesin penguji dijalankan, kemudian kawat strimin ditarik dengan penambahan beban secara berangsur-angsur sampai kawat strimin putus.
- d. Sejalan dengan itu, komputer mencatat penambahan beban, tegangan dan regangan kawat strimin tersebut sehingga dapat diperoleh data berupa diameter, jenis, beban tarik dan tegangan putus.



## **2. Pengujian Kuat Tarik Tulangan**

Pengujian kuat tarik tulangan baja ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta. Data yang diambil pada pengujian tarik tulangan baja adalah beban maksimum, beban patah dan batas luluh awal. Tegangan tarik tulangan baja dapat diketahui dengan cara membagi bata ; luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja.

## **3. Pengujian Kuat Desak dan Tarik Belah Silinder**

Pengujian kuat desak dan tarik belah dilakukan dengan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya kemudian menimbang benda uji.
- b. Meletakkan benda uji diatas mesin penguji desak, lalu dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
- c. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai atau telah mengalami kehancuran.

## **4. Pengujian Kuat Lentur dan Geser Balok**

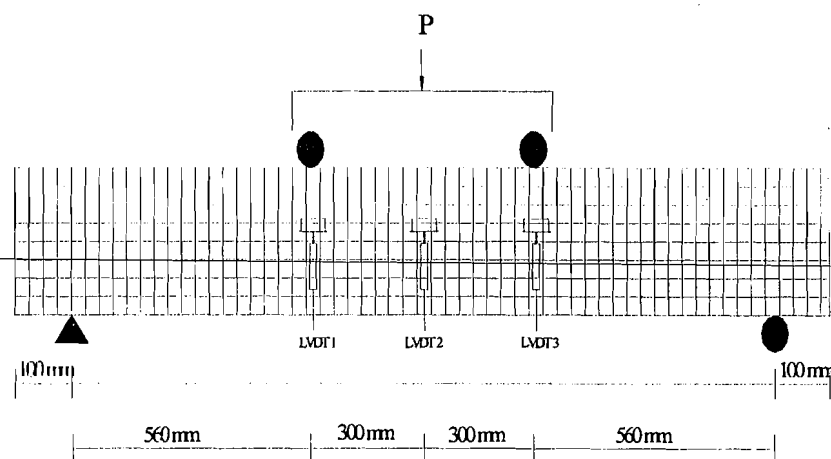
Pelaksanaan pengujian kuat lentur dan geser dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji ditimbang kemudian diberi tanda sebagai titik perletakan serta titik pembebanan pada benda uji, kemudian diletakkan pada tumpuan sesuai dengan tanda yang telah diberikan serta letak bebannya.
- b. Benda uji siap diuji. Alat uji digerakkan guna melakukan pembebanan secara perlahan-lahan, beban konstan dan dinaikkan secara berangsur-angsur sehingga pada batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, pada akhirnya benda uji akan mengalami retak atau patah.

- c. Hasil retak ditandai dan ditulis pada benda uji ketika pengujian sedang berlangsung.

### 5. Penyetelan Pembebanan pada Balok Ferosemen

- Setelah balok ferosemen mencapai umur 28 hari, kemudian diangkat dan diletakkan di atas alat uji.
- Permukaan balok ferosemen dicat dengan kapur dan diberi garis kotak-kotak dengan menggunakan spidol untuk mengetahui penambahan, lebar, panjang retak yang terjadi.
- Jarak dari tepi balok ferosemen ke tumpuan adalah 100 mm baik dari kiri ataupun kanan. Jumlah titik pembebanan ada dua dengan jarak beban yang membebani dari tepi kiri dan tepi kanan adalah 700 mm dan jarak antar titik pembebanan 600 mm.
- Pada tengah-tengah bentang dan di bawah titik beban diletakkan LVDT seperti terlihat pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.10** Penyetelan pembebanan balok ferosemen

## **4.4 Pengamatan**

### **1. Pembebanan**

Pada pelaksanaan pembebanan perlu diperhatikan kemungkinan-kemungkinan balok menggeser atau terguling. Setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban yang bekerja pada balok. Dengan kata lain, struktur dan segenap komponen harus direncanakan sehingga penampangnya mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan beban yang bekerja. Balok ferosemen yang telah diberi beban akan diperiksa kekuatannya berdasarkan alat uji dengan melihat pada seberapa kuat balok ferosemen menahan beban tersebut. Beban diberikan setiap 5 kN yang berangsur-angsur sampai beban yang menyebabkan balok ferosemen runtuh akan menjadi perhatian dalam pembebanan, karena hal tersebut merupakan data pada balok ferosemen dalam menahan beban.

### **2. Lendutan (Defleksi)**

Suatu elemen balok kerapian maupun penampilannya tidak boleh terganggu oleh lendutan yang terjadi selama masa hidup konstruksi merupakan syarat utama. Balok ferosemen yang telah diberi beban akan diperiksa lendutannya berdasarkan alat uji dengan melihat pada seberapa kuat balok ferosemen menahan beban. Beban diberikan setiap 5 kN kemudian berhenti untuk membaca lendutan, untuk beban berikutnya diberikan secara berangsur-angsur sampai beban yang menyebabkan balok ferosemen runtuh.

### **3. Retak**

Bahan beton kemampuannya terbatas sehingga timbulnya retak akan menimbulkan masalah. Seperti diketahui, beton mempunyai kekuatan cukup untuk menahan gaya tekan akan tetapi kurang kuat menahan gaya tarik. Sehingga komponen struktur beton bertulang cenderung mengalami retak yang tidak bisa dihindari di tempat-tempat mengalami gaya tarik. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak, khususnya retak lentur, perlu

mendapatkan perhatian secukupnya. Di dalam memperhatikan retak beton, perhatian lebih diutamakan pada lebar celah retak daripada jumlah retakan yang terjadi. Balok ferosemen yang telah diberi beban akan diperiksa retaknya berdasarkan alat uji dengan melihat pada seberapa kuat balok ferosemen menahan beban. Beban diberikan setiap 5 kN secara berangsur-angsur sampai balok ferosemen runtuh kemudian arah retak dilukis dengan spidol dan lebar, panjang retaknya dibaca dengan alat pemantau/pembaca retak.

#### 4.5 Prosedur Percobaan/Kajian

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang baik, maka dapat dilakukan cara-cara berikut ini :

1. Pemeriksaan bahan campuran beton.

Semen yang dipakai dipastikan dalam kondisi baik yaitu semen belum mengeras atau menggumpal. Pasir dan kerikil dicuci terlebih dahulu untuk mengurangi kandungan lumpur yang ada. Dilakukan pemeriksaan modulus halus butir dan berat jenisnya masing-masing.

2. Perencanaan campuran beton.

Perencanaan campuran pada beton dibuat dengan metode DOE (*Departement of Environment*), perhitungan selengkapnya pada **Lampiran C**.

3. Pembuatan campuran beton.

Pembuatan campuran beton dalam penelitian ini berpedoman pada SK-SNI T-28-1991-03 tentang cara pengadukan dan pengecoran beton. Pembuatan campuran dilakukan dengan molen. Cara pembuatan campuran dimulai dari persiapan bahan dan alat sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan material pada saat perhitungan campuran beton (*Mix Design*). Apabila nilai *slump* telah memenuhi *slump* yang direncanakan, pelaksanaan pengecoran siap dilaksanakan. Beton yang telah memenuhi syarat tersebut ditumpahkan pada bak penampungan adukan beton dan ditampung dengan ember untuk dibawa ke tempat cetakan.

#### 4. Pemadatan beton

Pemadatan beton dilaksanakan dengan menggunakan tongkat penumbuk yang ditusuk-tusukkan ke dalam adukan beton serta sisi cetakan diketuk-ketuk dengan palu sampai adukan merata dan padat.

#### 5. Rawatan benda uji.

Beton memerlukan perawatan untuk menjamin terjadinya prose hidrasi semen berlangsung dengan sempurna dengan menjaga kelembaban permukaan beton. Untuk mempertahankan supaya beton dalam keadaan basah selama periode beberapa hari, maka dilakukan perendaman benda uji dengan air sampai umur 28 hari dan diangkat 2 hari sebelum dilakukan pengujian.

#### 6. Pengujian

Materi pengujian di laboratorium meliputi pengujian kuat tarik kawat strimin (*wire mesh*), kuat tarik tulangan baja, kuat desak beton, kuat lentur dan kuat geser. Hasil-hasil pengujian dicatat untuk kemudian diolah menjadi data, gambar dan grafik.

Pengujian kuat tarik kawat strimin (*wire mesh*) berbentuk miring tipe wajik dilakukan sebelum pengecoran beton. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Kawat strimin dipasang pada mesin uji tarik.
2. Penarikan dilakukan sampai kawat strimin putus.
3. Dicatat besar beban tarik yang terjadi.

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilaksanakan sebelum pengecoran beton. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Batang baja dipasang pada mesin uji tarik baja.
2. Penarikan dilakukan sampai baja luluh atau putus.
3. Dicatat besar beban tarik yang terjadi.

Pengujian kuat desak, kuat tarik belah silinder beton dan kuat geser, kuat lentur balok beton dilakukan pada umur 28 hari. Prosedur atau langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Setiap benda uji diberi nama benda uji, tanggal pembuatan benda uji dan tanggal pengujian benda uji.

2. Benda uji diletakkan pada mesin uji beton, kemudian diuji sampai pecah atau runtuh.
3. Setiap benda uji beton dicatat beban maksimumnya.

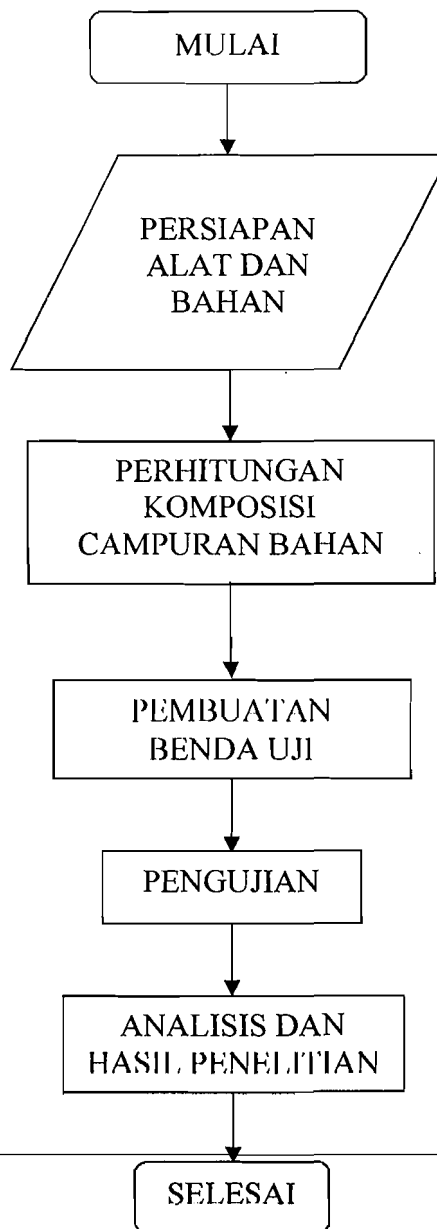
Pengujian kuat lentur dan geser balok ferosemen dilakukan pada umur 28 hari dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Balok ferosemen terlebih dahulu dilapisi kapur putih sebelum diuji sehingga pola retak yang terjadi mudah dilihat kemudian balok ferosemen diberi garis berupa kotak-kotak berukuran 5 cm pada setiap sisi kiri dan kanan.
2. Kemudian balok ferosemen diletakkan pada tumpuan sendi dan rol yang telah disiapkan.
3. Di atas balok ferosemen diberi dudukan lempengan baja untuk menyalurkan beban dari *hydraulic jack* dan *load cell* menjadi dua titik.
4. Pada saat pengujian pola-pola retaknya digambar dengan spidol untuk memperjelas dan dicantumkan besar beban yang terjadi pada saat retak.
5. Untuk mengukur lendutan yang terjadi saat pembebanan pada salah satu sisi balok ferosemen dipasang 3 buah LVDT.

Data yang dicatat dalam pengujian adalah sebagai berikut ini :

1. Besar beban yang mengakibatkan retak-retak diagonal/miring pada balok ferosemen sampai runtuh.
2. Besar lendutan yang terjadi akibat kenaikan beban yang telah ditentukan, untuk setiap balok ferosemen kenaikan beban ditetapkan sebesar 5 kN.
3. Pola retak, lebar retak dan panjang retak yang terjadi.

Untuk mempermudah penjelasan prosedur percobaan/kajian maka penelitian dapat disajikan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*) seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.11**.



**Gambar 4.11** Flow Chart

## 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 PUBLI 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  $235 \text{ N/mm}^2$  dan kuat tarik minimum  $382 \text{ N/mm}^2$ .

### 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  $359\text{ MPa}$ ,
  - d. sesuai dengan SII 0136-80 dipakai BJTP 30 dengan batas ulur minimum  $294\text{ N/mm}^2$ , dan kuat tarik minimum  $480\text{ N/mm}^2$ .
  
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  $277\text{ MPa}$ ,
  - d. sesuai dengan SII 0136-80 dipakai BJTP 24 dengan batas ulur minimum  $294\text{ N/mm}^2$ , dan kuat tarik minimum  $480\text{ N/mm}^2$ .

## 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  $12\text{ cm}$ , ini sesuai dengan PBBI 1971 (1979) untuk pengerjaan balok nilai *slump* berkisar antara  $7,7\text{ cm}$ – $15\text{ cm}$ . Dengan nilai *slump*  $12\text{ cm}$  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

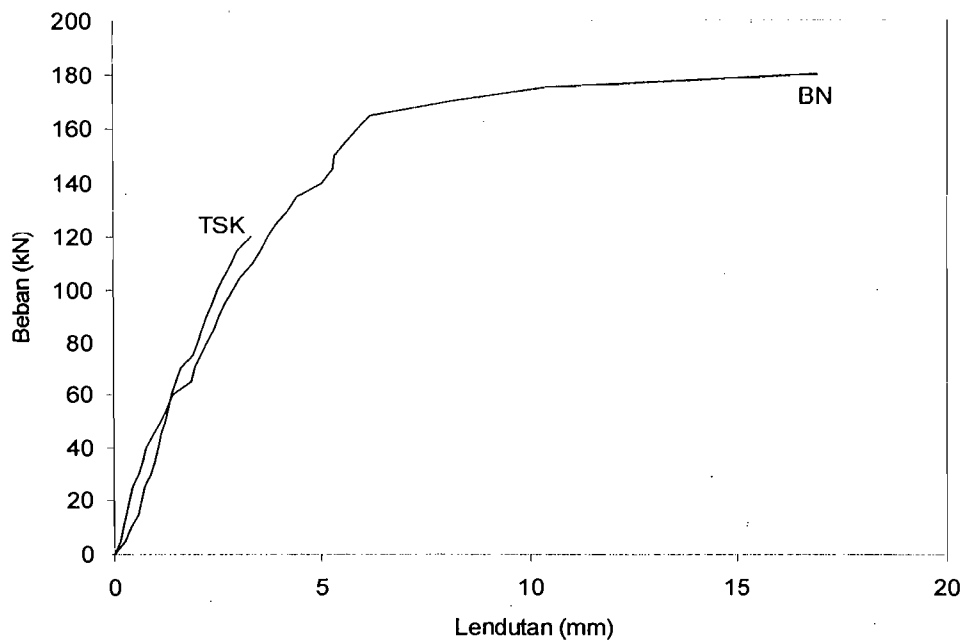
Model	Beban Retak Awal (Prt) (kN)	Prt BN / Prt Variasi (%)	Beban Leleh Pertama (Py) (kNm)	Py BN / Py Variasi (%)	Beban Ultimit (Pu) (kNm)	Pu BN / Pu Variasi (%)
TSK	15	42,857	70	42,424	120	66,667
BN	35	100	165	100	180	100
MKTS	45	128,571	175	106,061	190	105,556
MKGTS	45	128,571	175	106,061	184	102,222
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 ( $\Delta r$ ) (mm)	$\Delta r$ BN / $\Delta r$ 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 (%)
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

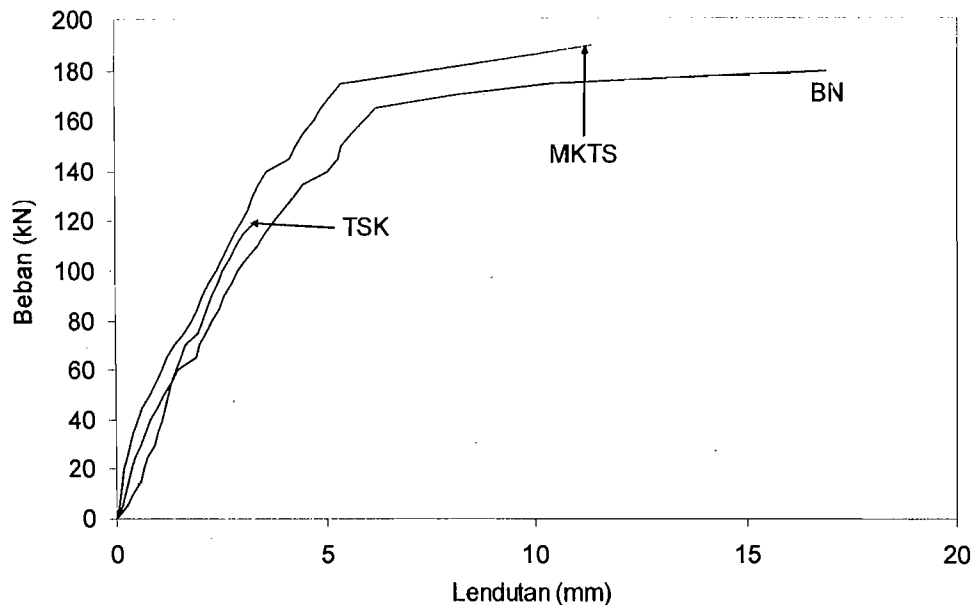


**Gambar 5.1** Grafik hubungan beban-lendutan pada balok TSK dan BN

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.



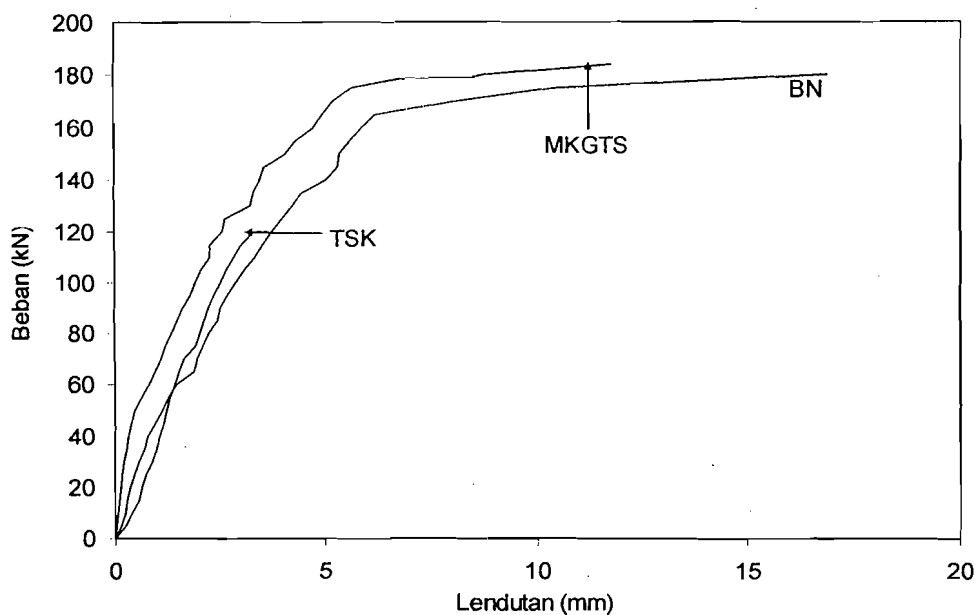
## 2. Hubungan antara balok kontrol dan balok MKTS



**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 %.

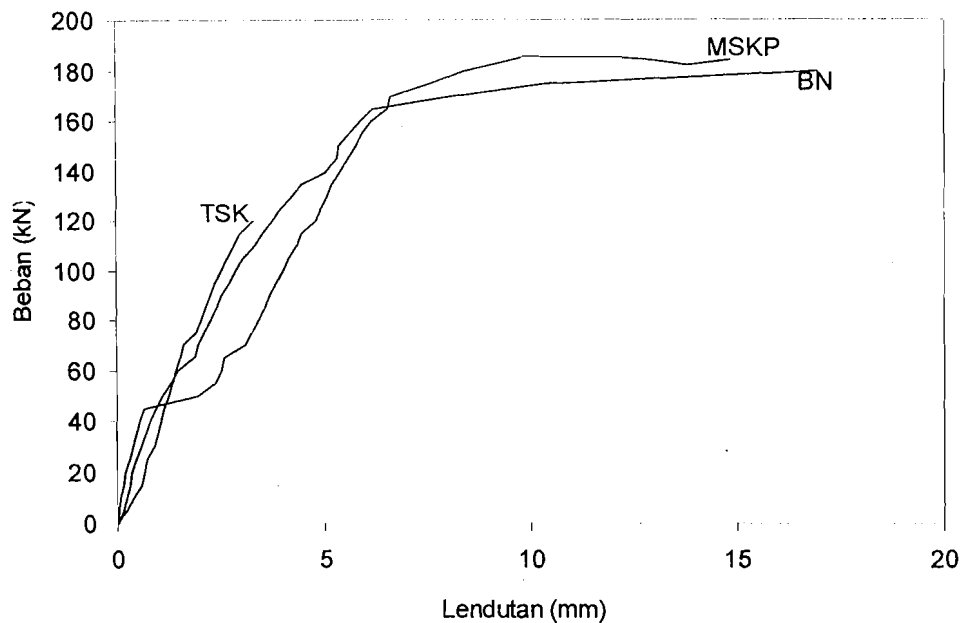
### 3. Hubungan antara balok kontrol dan balok MKGTS



**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 strimin 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 %.

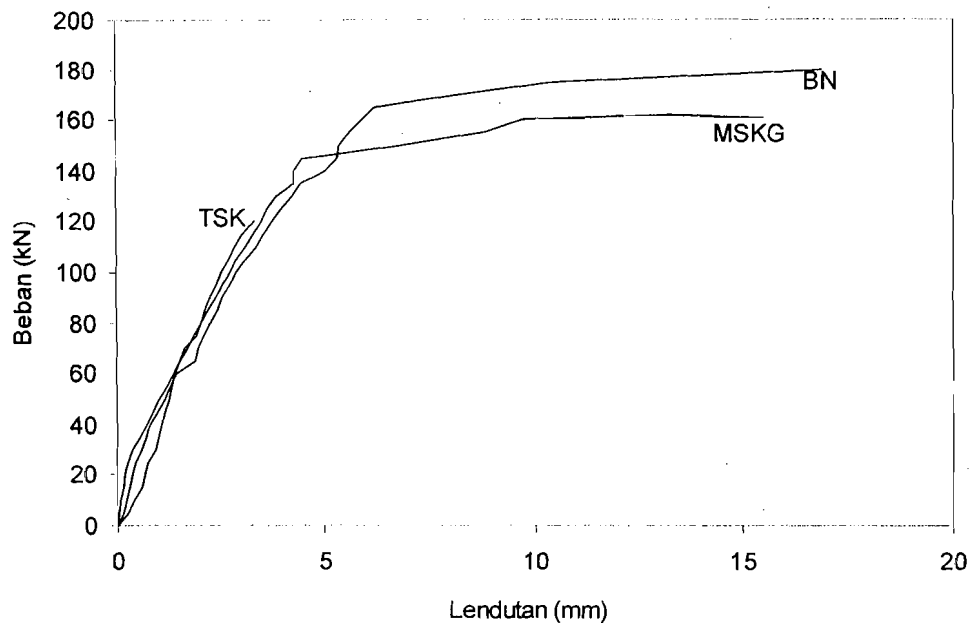
#### 4. Hubungan antara balok kontrol dan balok MSKP



**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 %.

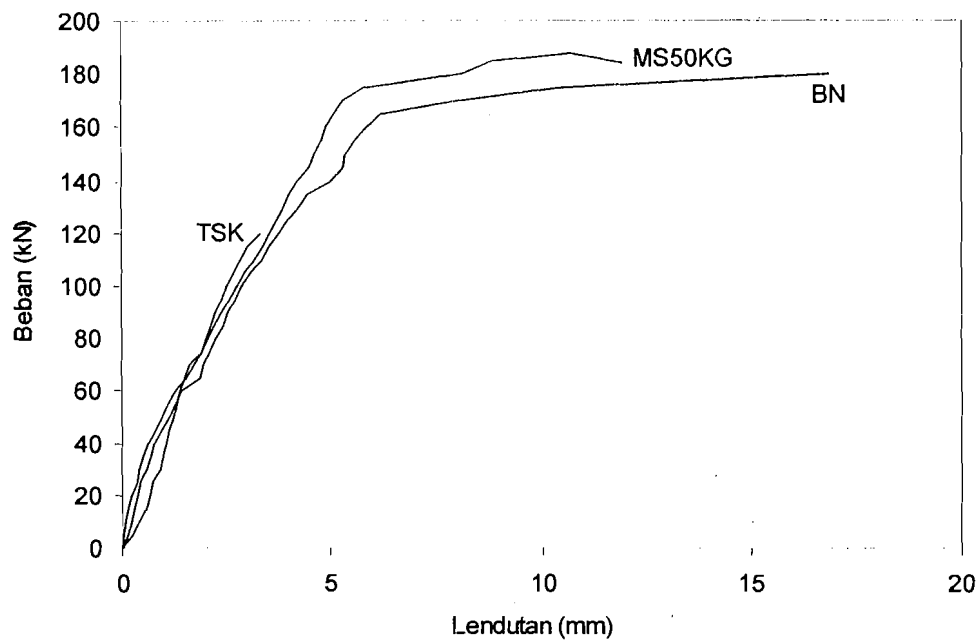
### 5. Hubungan antara balok kontrol dan balok MSKG



**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 %.

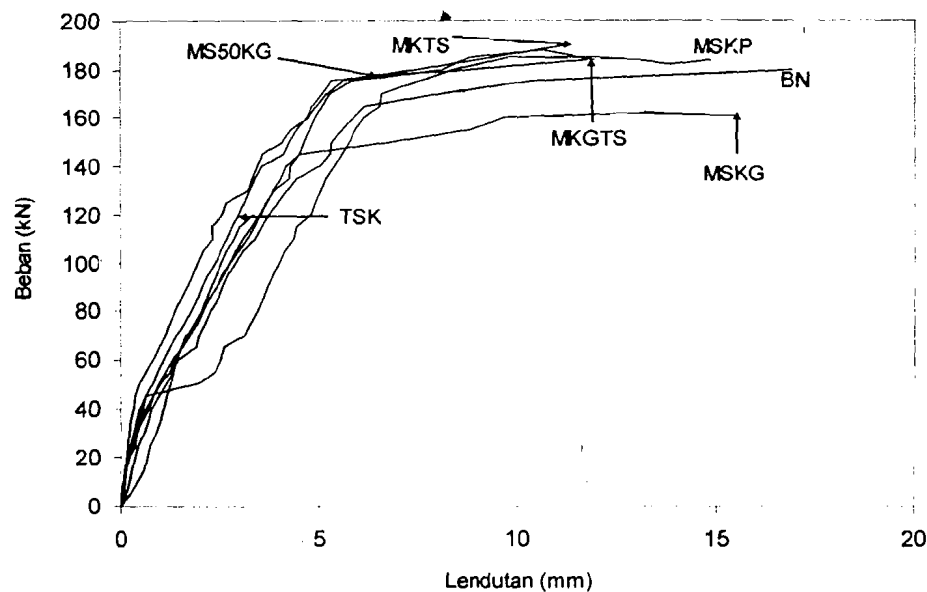
## 6. Hubungan antara balok kontrol dan balok MS50KG



**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.

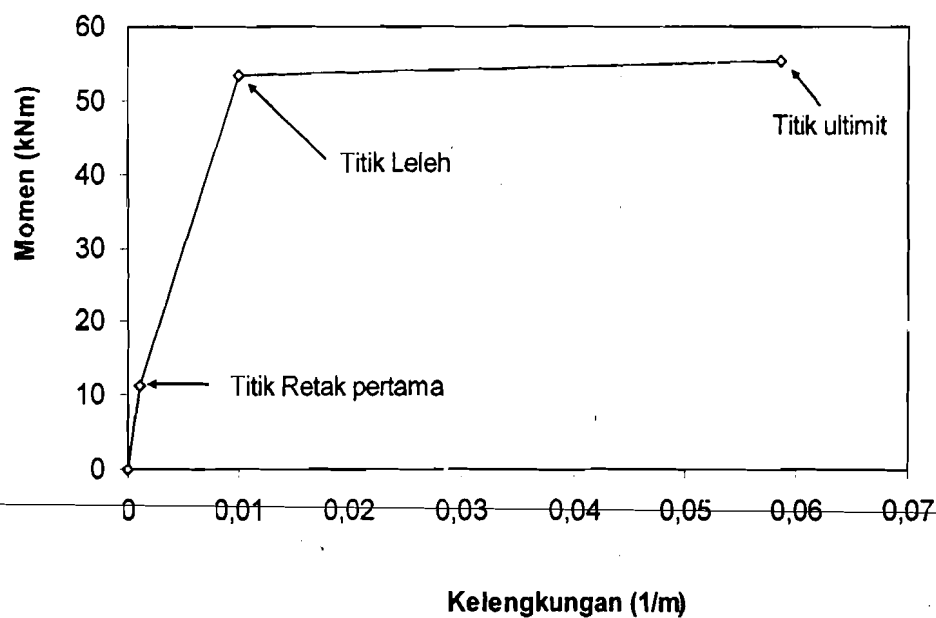
Pada balok MSKP, yaitu balok yang diberi penambahan kawat strimin wajik/miring di daerah lentur dan gesernya, beban yang dihasilkan lebih besar karena pengaruh dari penambahan kawat strimin wajik/miring. MSKG adalah balok yang diberi penambahan kawat strimin pada daerah gesernya, beban yang dihasilkan 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

wajik/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

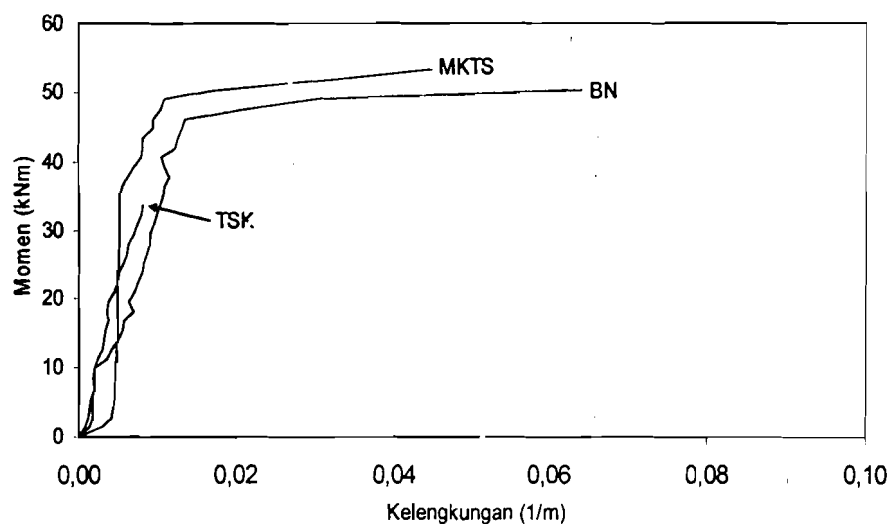
**Tabel 5.7** Hubungan momen-kelengkungan teoritis

Tipe Balok	Mrt (kNm)	$\phi_{rt}$ (1/m)	$M_y$ (kNm)	$\phi_y$ (1/m)	$M_u$ (kNm)	$\phi_u$ (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



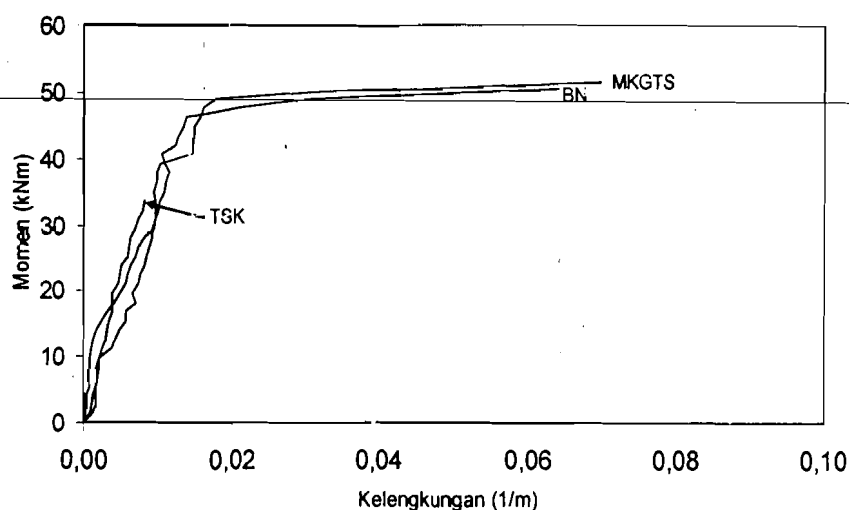
**Gambar 5.9** Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MKTS

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

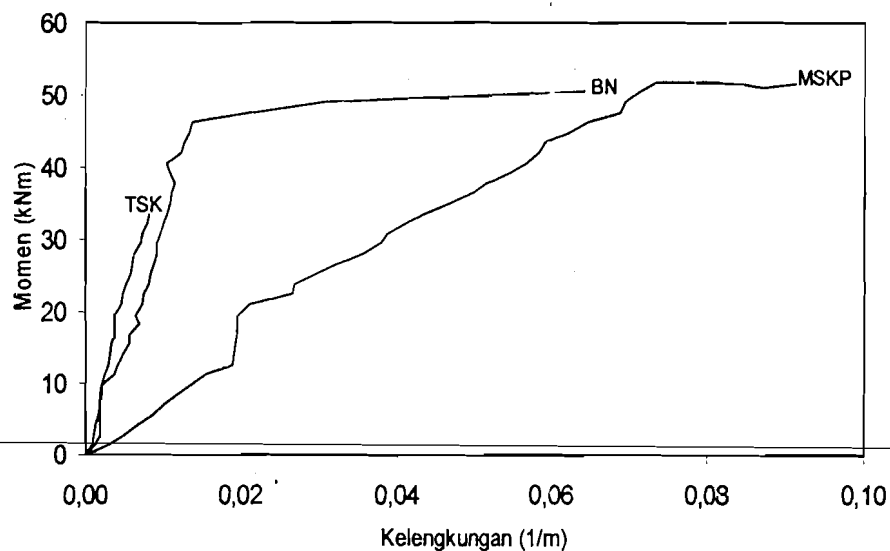
Grafik hubungan momen kelengkungan antara balok kontrol (TSK dan BN) dengan MKGTS dapat dilihat pada **Gambar 5.10**. Pada balok MKGTS nilai momen ultimitnya hampir sama dengan BN dan memiliki nilai kelengkungan yang lebih besar. MKGTS merupakan balok dengan kawat strimin wajik/miring pada daerah geser 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.



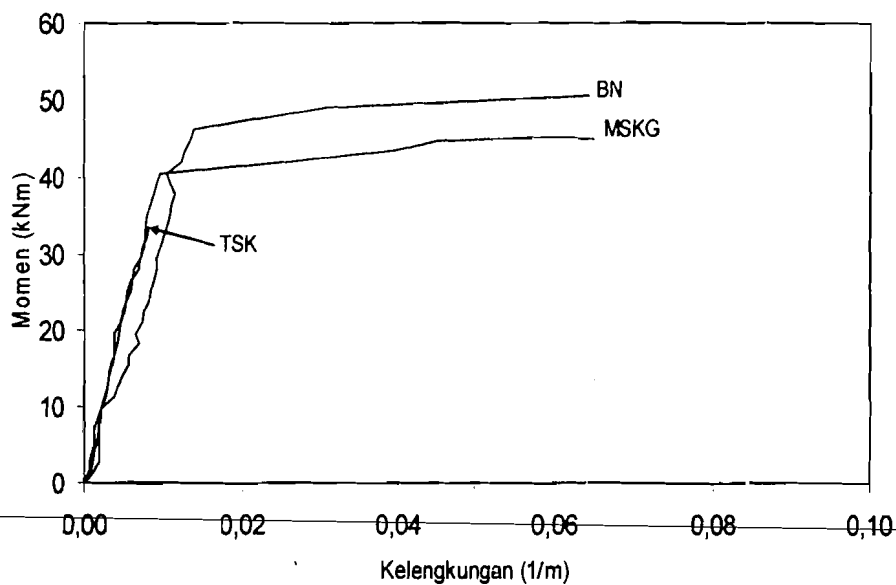
**Gambar 5.11** Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MSKP

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.

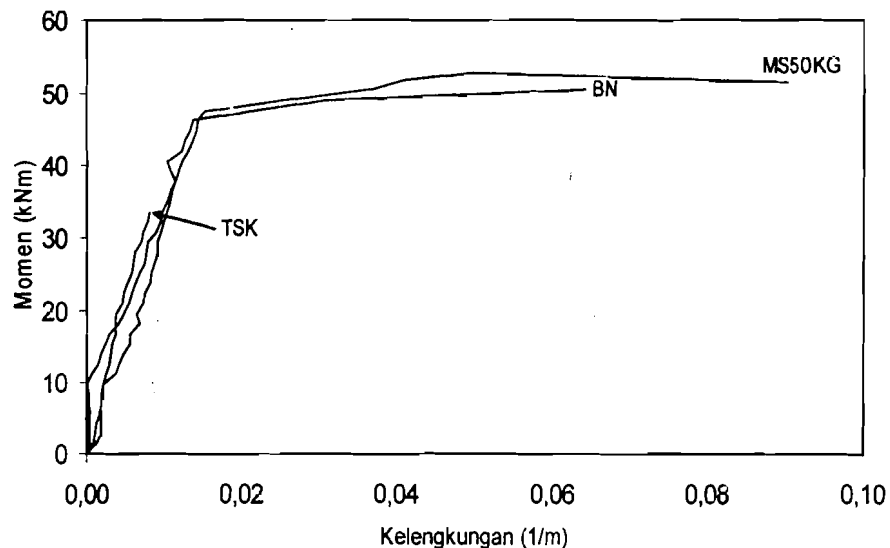


**Gambar 5.12** Grafik hubungan momen-kelengkungan balok kontrol dan balok MSKG

#### 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 terpaut 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.

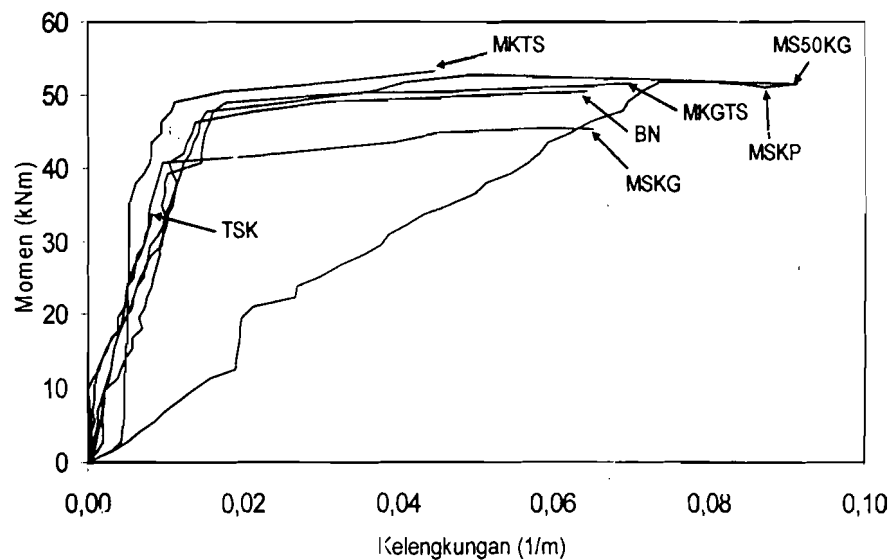


**Gambar 5.13** Grafik hubungan momen kelengkungan balok kontrol dan balok MS50KG

#### 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 <sup>2</sup> )	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 pertambahan 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  $45^\circ$  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

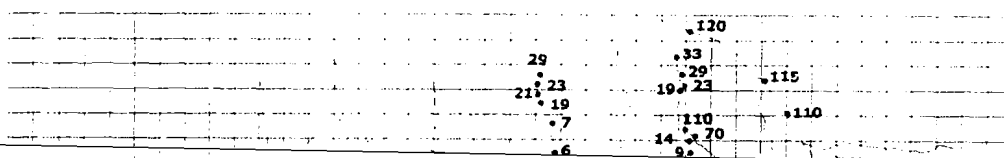
Dari **Tabel 5.12** dapat diamati bahwa semua balok pada kapasitas geser hasil uji ( $V_n$ ) nilainya lebih kecil daripada kapasitas geser teoritisnya. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan balok dalam geser

terjadi sebelum kapasitas ultimit geser balok tercapai sedangkan kapasitas geser pada balok MKTS, MKGTS, MSKP dan MS50KG mengalami peningkatan antara 1-5%. Hal ini memperlihatkan bahwa penggunaan kawat strimin wajik/miring 1 lapis memberikan kontribusi terhadap terjadinya keruntuhan geser secara tiba-tiba/getas. Balok MSKG nilai persentase lebih kecil dikarenakan beton telah mengalami kegagalan dan menyebabkan keruntuhan balok sebelum mencapai beban maksimum.

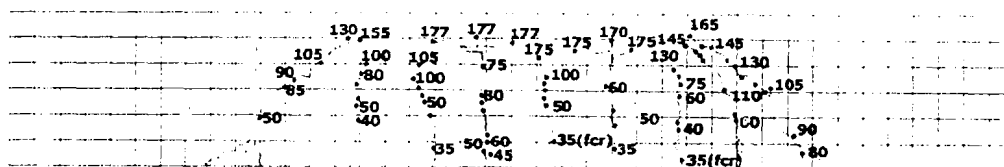
## 5.5 Analisa Retak Balok

### 5.5.1 Pola Retak Balok

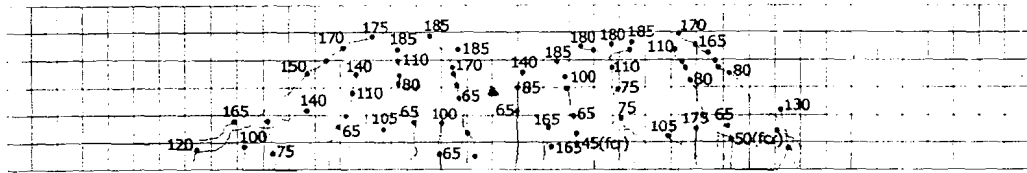
Retak tegak lurus sumbu longitudinal akan terjadi apabila balok mengalami pembebanan lentur. Hal ini terjadi karena regangan tarik yang terjadi pada sisi bawah penampang balok sudah melebihi regangan tarik beton. Dalam penelitian diperoleh data retak berupa panjang retak dan lebar retak. Retak yang terjadi pada masing-masing balok dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



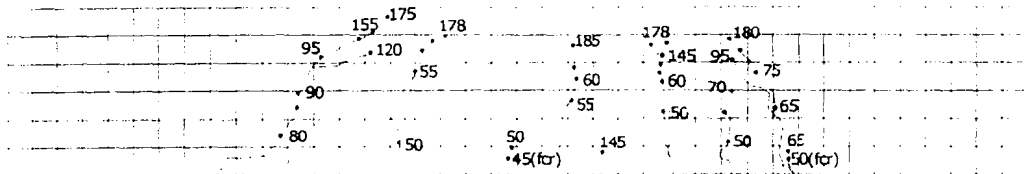
**Gambar 5.15** Pola Kerusakan Balok Tanpa Senggang Kawat Strimin (TSK)



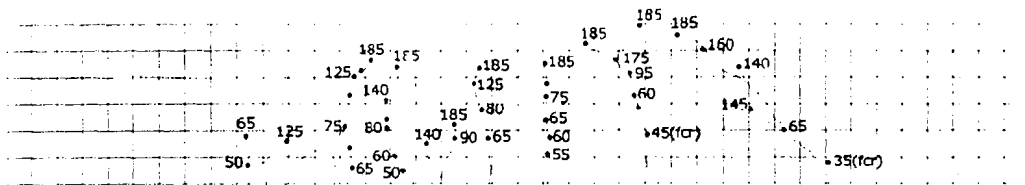
**Gambar 5.16** Pola Kerusakan Balok Normal (BN)



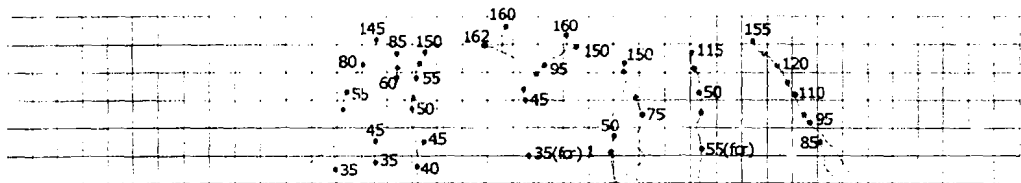
**Gambar 5.17** Pola Kerusakan Balok MKTS



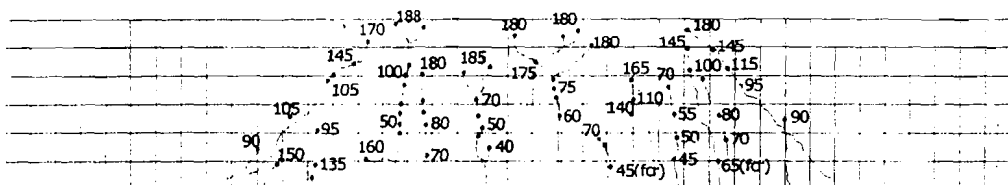
**Gambar 5.18** Pola Kerusakan Balok MKGTS



**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 per'akuan 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  $45^\circ$ . 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

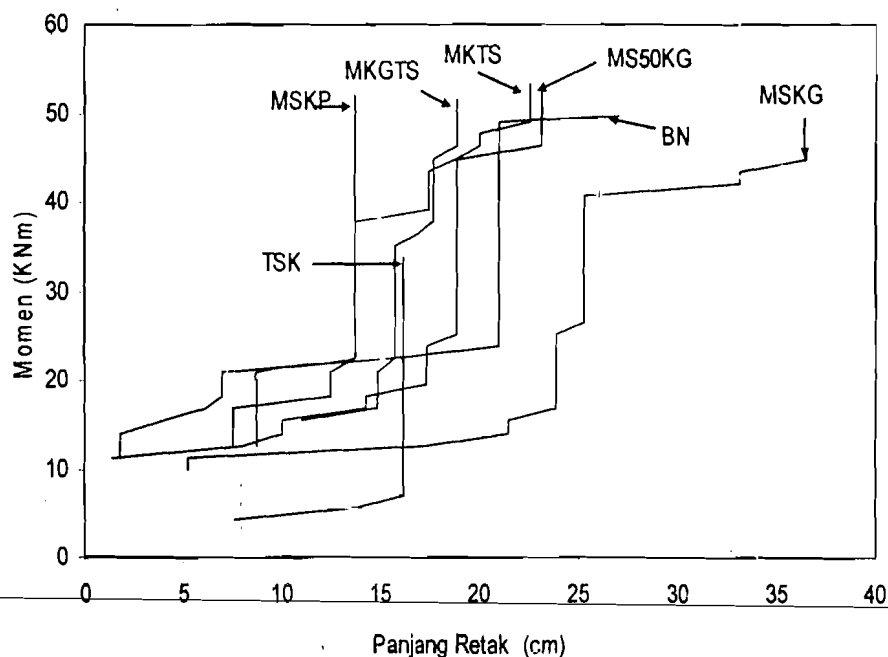
Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh beton tarik dan tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser ditahan oleh beton dan tulangan geser yang biasa disebut sengkang. Menurut Wang dan Salmon (1993), tulangan geser 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

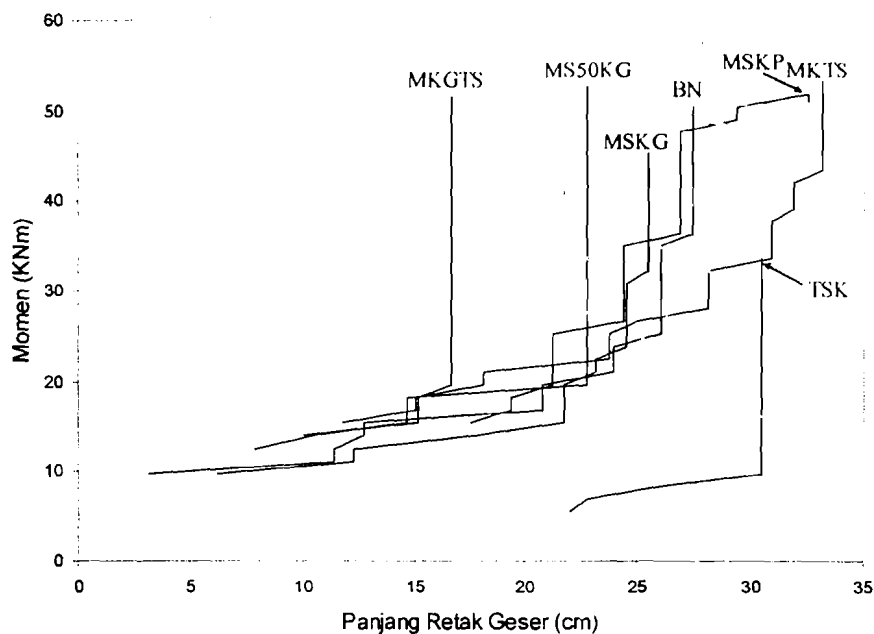
Bertambahnya panjang retak pada balok secara keseluruhan mengalami peningkatan seiring bertambah besar pembebanan yang terjadi. Retak pada daerah lentur ditandai dengan retak tegak lurus terhadap bentang balok sedangkan retak pada daerah geser berpola retak lentur dahulu baru kemudian keretakan yang 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.

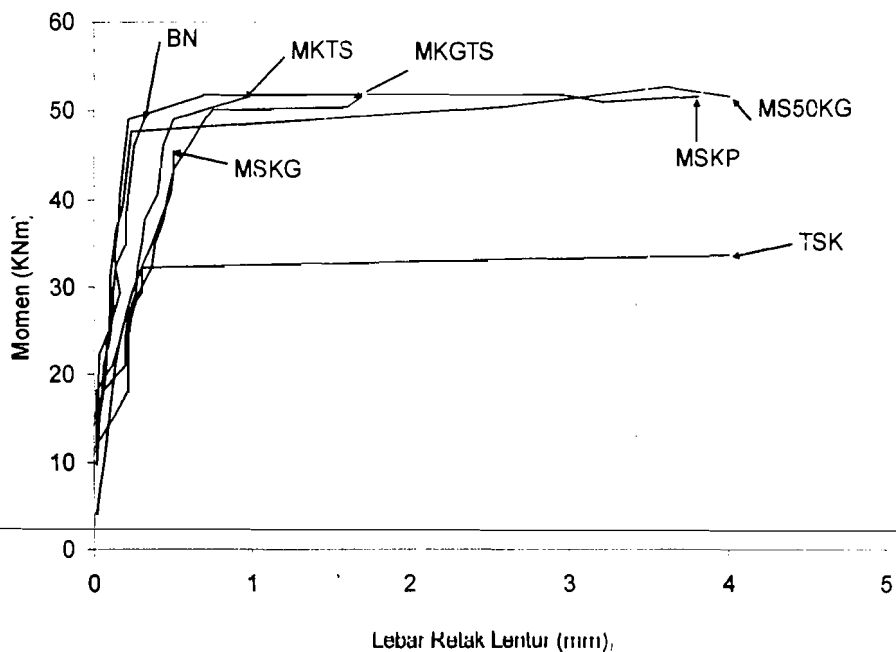


**Gambar 5.23** Grafik hubungan momen-panjang retak geser

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.

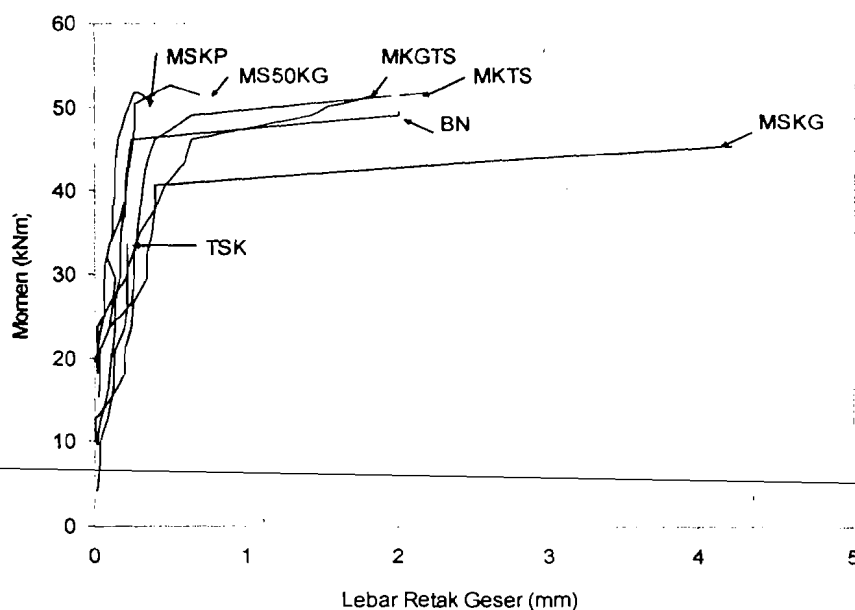
#### 5.5.4 Hubungan Lebar Retak dengan Momen



**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  $\leq 45^\circ$ .



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian balok beton bertulang dengan penambahan kawat strimin wajik/miring terhadap analisis lentur dan geser adalah sebagai berikut :

1. Kawat strimin wajik/miring yang terpasang pada balok di daerah lentur maupun geser mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kuat tarik ketika gaya geser mulai bekerja.
2. Keruntuhan yang terjadi pada balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring adalah keruntuhan lentur dan keruntuhan yang terjadi pada balok kontrol adalah keruntuhan geser.
3. Lendutan ( $\Delta$ ) yang terjadi antara balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring terhadap lendutan pada balok kontrol relatif lebih kecil.
4. Momen-kelengkungan ( $M-\phi$ ) yang terjadi antara balok kontrol terhadap balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring relatif besar.
5. Pola perambatan retak antara balok kontrol terhadap balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring relatif hampir serupa/sama sedangkan naiknya perambatan retak pada balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring terjadi secara perlahan dan bertahap dibanding dengan balok kontrol.
6. Lebar retak antara balok kontrol terhadap balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring diawal pembebanan relatif sama tetapi semakin besar lebar retak balok variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring dari balok kontrol dengan adanya penambahan beban.

7. Panjang retak antara balok kontrol terhadap balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring relatif hampir sama.
8. Daktilitas yang terjadi pada balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring mengalami peningkatan mencapai 44 %–57 % dibandingkan balok kontrol.
9. Penambahan kawat strimin wajik/miring pada balok meningkatkan kekakuan balok mencapai 25 %–32 % dibandingkan dengan balok kontrol.

## 6.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik dalam melakukan penelitian balok terutama balok dengan variasi sengkang dan kawat strimin wajik/miring, dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Sebelum pelaksanaan penelitian hendaknya alat uji yang digunakan dicek lebih dahulu sehingga nantinya tidak ada kendala/masalah pada saat pengujian berlangsung.
2. Sebelum penelitian hendaknya dibuat perhitungan beban antara benda uji dengan kapasitas maksimum alat uji yang digunakan.
3. Kawat strimin bentuk miring/wajik dapat digunakan sebagai alternatif pengganti sengkang pada pembuatan balok beton bertulang.
4. Dapat dilakukan penelitian lanjutan berkaitan dengan penambahan kawat strimin wajik/miring terhadap balok beton bertulang, baik dari segi bentuk kawat, jarak bukaan kawat, diameter maupun jenis kawat.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Kadir Aboe, 2000, **STUKTUR BETON I**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Abdullah, 1999, **FEROSEMEN SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL UNTUK MEMPERKUAT KOLOM BETON BERTULANG**, Seminar on Air-PPI Tokyo Institute of Technology, No. 4 (Desember), 143-147.
- Anonim, 1979, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 NI 2**, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Jakarta.
- Bleich, F. dan Bleich, H.H., 1952, **BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES**, Mc Graw Hill, New York.
- Bresler, B. dan Scordelis, A.C., 1963, **Shear strength of reinforced concrete beams**, Journal of American Concrete Institute, Januari, hal. 51-72.
- Erna Sukmawati dan Ari Herawati, 2001, **TUGAS AKHIR PENGARUH VARIASI PANJANG DAN PROSENTASE SERAT TERHADAP KUAT GESER PADA BETON BERTULANG**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Ferguson, Phil M., 1986, **DASAR-DASAR BETON BERTULANG**, Terjemahan Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Hari Purwanto dan Cholis Yudianto, 2000, **TUGAS AKHIR PENULANGAN GESER MINIMUM DALAM BALOK BETON MUTU NORMAL DAN BALOK BETON MUTU TINGGI (STUDI EKSPERIMENTAL)** Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [http : //www.sensotec.com/ LVDT.asp](http://www.sensotec.com/LVDT.asp).
- Istimawan Dipohusodo, 1994, **STUKTUR BETON BERTULANG**, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- Martopo dan Yanuar Hadi, 1997, **TUGAS AKHIR PENELITIAN LABORATORIUM PENGARUH PENAMBAHAN *FIBER* KAWAT STRIMIN TERHADAP KUAT LENTUR BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Terjemahan Stephanus Hendarko, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan Bambang Suryoatmono, PT. Eresco, Bandung.
- Park, R. dan Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Salmon, C.G. dan Johnson, J.E., 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU**, PT Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Spiegel, L. dan Limbrunner, G.F., 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, Terjemahan Bambang Suryoatmono, PT. Eresco, Bandung.
- Tanjung Rahayu dan M. Nur Trihandoko, 1996, **TUGAS AKHIR PENGARUH KAWAT BAJA LURUS DAN BERKAIT TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT DESAK BETON *FIBER***, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- ~~Timoschenko, S.P. dan Gere, J.M., 1987, **MEKANIKA BAHAN**, Terjemahan Hans. J. Waspakrik, Jilid 1, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.~~
- Vis, W.C. dan Gideon Kusuma, 1993, **DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON BERTULANG**, Seri 1, Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K. dan Salmon, C.G., 1993, **DESAIN BETON BERTULANG**, Jilid 1, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Winter, G. dan Nilson, Arthur H., 1993, **PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Yayasan Dana Normalisasi Indonesia, 1983, **PERATURAN PERENCANAAN BANGUNAN BAJA INDONESIA (PPBBI) 1983**, DPMB Departemen Pekerjaan Umum RI, Bandung.



---

**LAMPIRAN**

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

**LAMPIRAN A**



**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Danang Aji Saputra	99 511 049	Teknik Sipil
2.	Wahyudi Hidayat	99 511 357	Teknik Sipil

**JUDUL TUGAS AKHIR**

Pengaruh Strimin terhadap kekuatan lentur dan geser pada balok bertulang

PERIODE KE : II ( Des 04 - Mei 05 )

TAHUN : 2004 - 2005

Berlaku mulai Tgl : 9-Dec-04 – 9 Juni 05

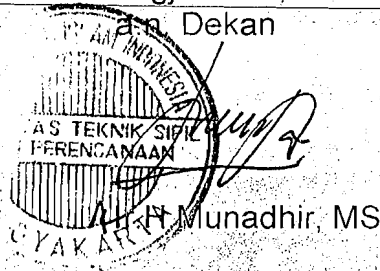
No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Des.	Jan.	Peb.	Mar.	Apr.	Mei.
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6	Sidang - Sidang					■	■
7	Pendadaran						■

Dosen Pembimbing I : Ade Ilham ,Dr,Ir,MT



Jogjakarta ,9-Dec-04

Dekan



Seminar : \_\_\_\_\_  
 Sidang : \_\_\_\_\_  
 Pendadaran : \_\_\_\_\_

*Perbaharui administrasi*

*H. 20/4 06*

---

**DATA HASIL PEMERIKSAAN BAHAN**

**LAMPIRAN B**



Lampiran B.1



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

**HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

No. / Ka.Ops. / LBKT / / 2005

Penguji : Danang Aji Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Wahyudi Hidayat

Pasir asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	480.9	482.5	481.7
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram	500	500	500
Berat Piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	970	964	967
Berat Piknometer berisi air, gram (B)	661	658	659.5
Berat jenis curah, gram/cm <sup>3</sup> .....(1) Bk / (B + 500 - Bt)	2.517	2.487	2.502
Berat jenis jenuh kering muka, gram/cm <sup>3</sup> ....(2) 500 / (B + 500 - Bt)	2.617	2.577	2.597
Berat jenis semu.....(3) Bk / (B + Bk - Bt)	2.797	2.734	2.765
Penyerapan air.....(4) (500 - Bk) / Bk x 100%	3.97	3.627	3.798

Keterangan :

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram

Kesimpulan :

Dari hasil penelitian didapatkan :

- Berat jenis curah = 2,50 g/cm<sup>3</sup>
- Berat jenis kering muka = 2,60 g/cm<sup>3</sup>
- Berat jenis semu = 2.80 g/cm<sup>3</sup>
- Penyerapan air = 3.80 %

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disyahkan

Dikerjakan oleh

**LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII**

Lampiran B.2



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

**HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR (KERIKIL)**

No. / Ka.Ops. / LBKT / / 2005

Penguji : Danang Aji Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Wahyudi Hidayat

Pasir asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4879.4	4897.7	4863.55
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka, gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3107.9	3129.5	3118.7
Berat jenis curah, .....(1) $Bk / (Bj - Ba)$	2.579	2.592	2.585
Berat jenis jenuh kering muka, .....(2) $Bj / (Bj - Ba)$	2.64	2.67	2.66
Berat jenis semu.....(3) $Bk / (Bk - Ba)$	2.75	2.82	2.79
Penyerapan air.....(4) $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	2.47	3.14	2.8

Kesimpulan : Berat jenis jenuh kering muka atau SSD adalah 2,66

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disahkan

Dikerjakan oleh

LABORATORIUM  
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII

### Lampiran B.3



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jln. Kaliurang Km. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 89533G Yogyakarta 55584

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR

No. / Ka.Ops. / LBKT / / 2004

Penguji : Danang Aji Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Wahyudi Hidayat

Kerikil asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen lolos komulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	27.5	0.55	0.55	99.45
10,00	2707.6	54.152	54.702	45.298
4,80	2013	40.26	94.962	5.038
2,40	251.9	5.038	100	0
1,20			100	
0,60			100	
0,30			100	
0,15			100	
Sisa			-	
Jumlah	5000	100	650.214 *	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{650.214^*}{100} = 6,502$$

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disyahkan

Dikerjakan oleh

**LABORATORIUM  
AHAN KONSTRUKSI TEKNIK  
FAKULTAS TEKNIK UII**

## Lampiran B.4



### LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jln. Kaliurang K.a. 14,4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

#### DATA MODULUS HALUS BUTIR (MIIB) AGREGAT HALUS

No. / Ka.Ops. / LBKT / / 2004

Penguji : Danang Aji Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Wahyudi Hidayat

Kerikil asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00				
20,00				
10,00	0.00	0.00	0.00	100.00
4,80	2.00	0.10	0.10	99.90
2,40	205.00	10.25	10.35	89.65
1,20	345.00	17.25	27.60	72.40
0,60	550.00	27.50	55.10	44.90
0,30	460.00	23.00	78.10	21.90
0,15	220.00	11.00	89.10	10.90
Sisa	218.00	10.90		-
Jumlah	2000	100	260.35*	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{260.35^*}{100} = 2.6035$$

#### Gradasi pasir

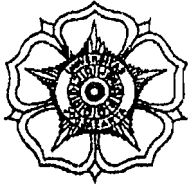
Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat yang lewat ayakan			
	Daerah I (Ps.Kasar)	Daerah II (Ps.agak kasar)	Daerah III (Ps.agak halus)	Daerah IV (Ps.halus)
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disahkan

Dikerjakan oleh

**LABORATORIUM**  
**BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**  
**FAKULTAS TEKNIK UTI**



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
Jl. Grafika 2 Telepon (0274) 902 2181, 2183, 2184, Fax (0274) 521673 Yogyakarta 55281  
E-mail: [tk-mesin@ugm.ac.id](mailto:tk-mesin@ugm.ac.id)

**SURAT KETERANGAN**  
**No.6/06/05/BT/T/FT/UGM**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Samsudin  
Jabatan : Penanggung Jawab Pengujian

Menerangkan bahwa :

Nama mahasiswa : DANANG AJI SAPUTRA No. Mhsw. : 99 511 049

Nama mahasiswa : WAHYUDI HIDAYAT No. Mhsw. : 99 511 357

Jurusan Teknik Sipil , Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia .

Telah melakukan :

“ Pengujian tarik kawat anyaman, diameter kawat 1,57 mm “

Dengan hasil :

Nomor	Gaya Tarik Tunggal ( kgf )	Gaya Tarik Ganda ( kgf )
1	78,57	168,37
2	67,35	182,40
3	66,79	168,37

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 6 Juni 2005  
Penanggung Jawab Pengujian



Ir. Samsudin  
NIP: 130 345 122

## Lampiran B.6

### Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm <sup>2</sup> )	Teg. Leleh	Teg. Maks	Teg. Putus	<i>Fy</i> (MPa)	<i>Fu</i> (MPa)
1	11,4	102,070	3650	4910	4100	357,597	481,041
2	11,4	102,070	3690	4985	4000	361,515	488,389
Rata-rata						359,556	484,715

Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm <sup>2</sup> )	Teg. Leleh	Teg. Maks	Teg. Putus	<i>Fy</i> (MPa)	<i>Fu</i> (MPa)
3	5	19,635	555	780	515	282,659	397,251
4	5	19,635	535	765	510	272,473	389,611
Kata-rata						277,566	393,431

**LABORATORIUM**  
**BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**  
**FAKULTAS TEKNIK UII**

# **LAMPIRAN C**

## **HITUNGAN PERANCANGAN ADUKAN BETON METODE DOE**

---

Perencanaan campuran adukan beton dengan metode **DOE** ("**Department of Environment**") adalah sebagai berikut ini.

Kuat desak rencana ( $f'_c$ )	: 20 Mpa
Jenis semen	: Semen portland
Jenis pasir	: agak kasar (termasuk daerah gradasi II)
Jenis kerikil	: Batu pecah
Ukuran maksimum kerikil	: 20 mm
Nilai slump	: 120 mm
Berat jenis pasir	: 2,60 t/m <sup>3</sup>
Berat jenis kerikil	: 2,66 t/m <sup>3</sup>

Langkah-langkah perencanaan:

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari yaitu  $f'_c = 20$  Mpa.
2. Penetapan nilai deviasi standar (Sd) = 4,2 Mpa (didapat dari tabel tingkat pengendalian mutu pekerjaan).
3. Perhitungan nilai tambah (M) = K. Sd  

$$= 1,64 * (Sd * faktor pengali)$$

$$= 1,64 * 4,2 * 1,0$$

$$= 6,88$$

Keterangan : M = nilai tambah

K = 1,64

Sd = standar deviasi (didapat dari tabel Tingkat pengendalian mutu pekerjaan)

Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat pengendalian mutu pekerjaan	sd (Mpa)
memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7
Tanpa kendali	8,4



- Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_c + M \\ &= 20 + 6,88 \\ &= 26,88 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Keterangan :  $f_{cr}$  = kuat tekan rata-rata  
 $f_c$  = kuat tekan yang disyaratkan  
 $M$  = nilai tambah, Nilai tambah diambil 12 Mpa, jika pelaksana tidak mempunyai pengalaman sebelumnya (Triono. B).

- Menetapkan jenis semen.

Digunakan jenis semen portland merk Gresik 50 kg.

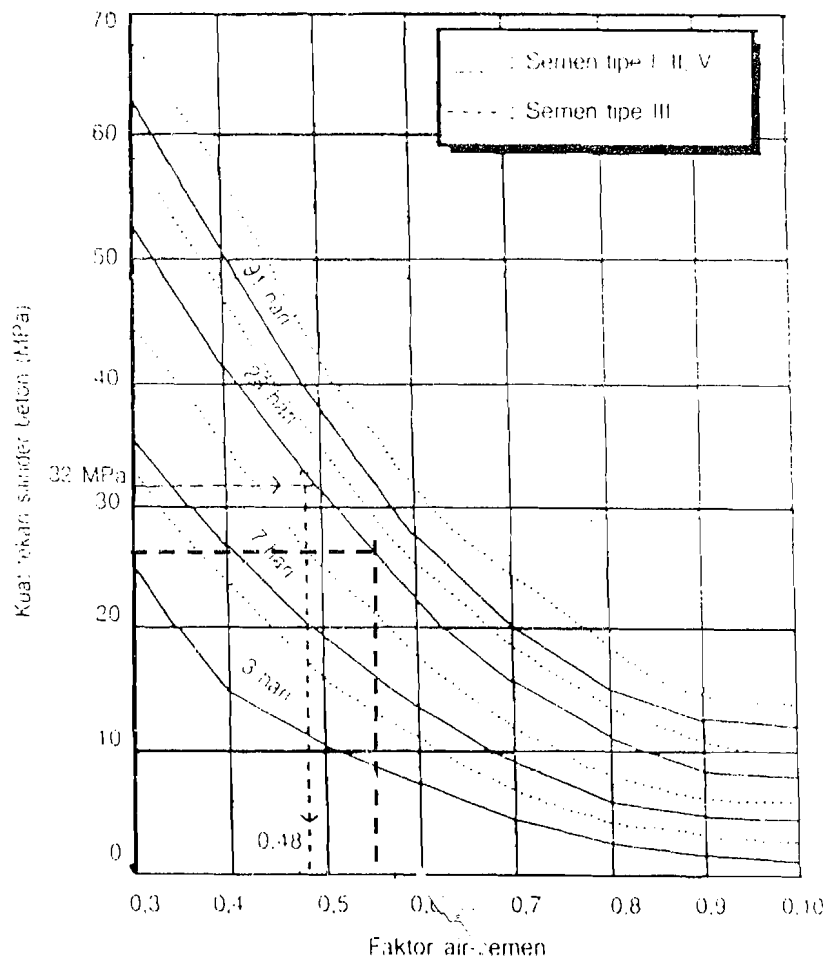
- Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)

Digunakan jenis pasir agak halus (termasuk daerah II).

Digunakan jenis kerikil batu pecah ukuran maksimum 20 mm.

- Menetapkan faktor air semen (fas).

Cara 1 = 0,56 (didapat dari grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton)

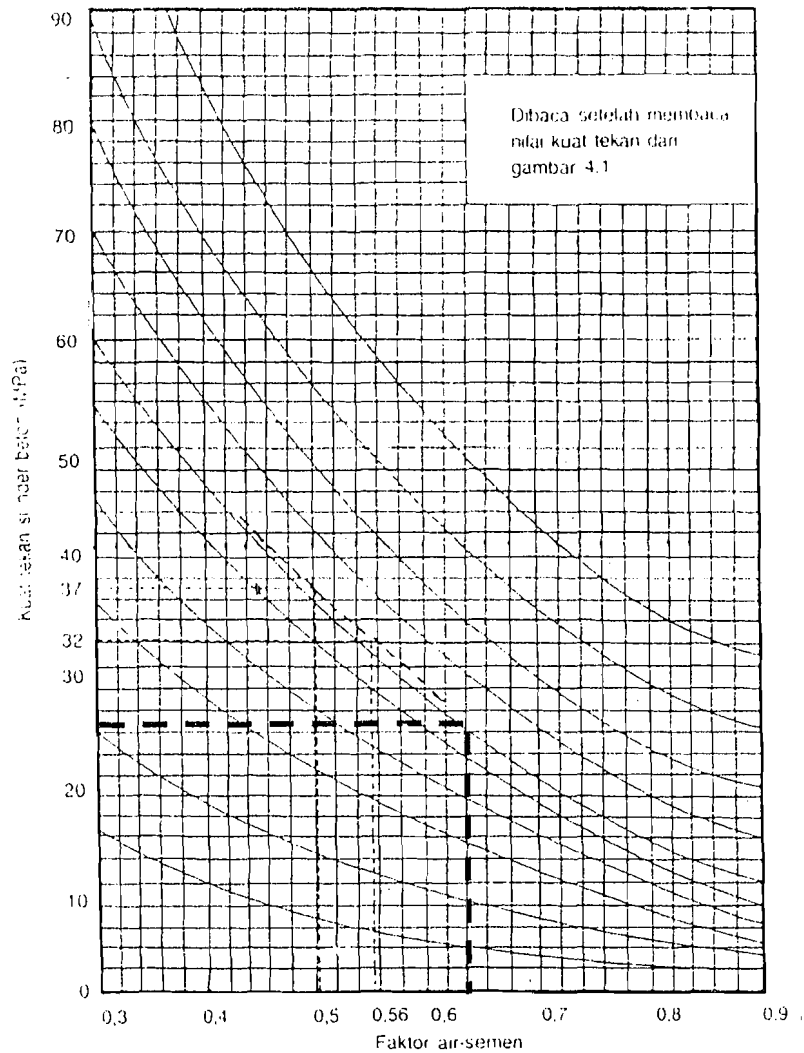


Grafik 1. faktor air semen

Cara 2 = 0,63 (didapat dari grafik mencari faktor air semen)

Tabel 3 Nilai kuat tekan beton

Jenis semen	Jenis agregat kasar(kerikil)	Umur Beton			
		3	7	28	91
I, II, III	Alami	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
IV	Alami	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48



Grafik 2. Mencari faktor air semen

Cara 3 = 0,60 (didapat dari melihat tabel persyaratan untuk berbagai pembeconan dan lingkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dan untuk beton bertulang terendam air).

Diambil yang terkecil, yaitu = 0,56

8. Menetapkan nilai slump = 12 cm

Tabel 4 Penetapan Nilai Slump (cm)

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang koison, struktur dibawah tanah	9,0	2,5

Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

9. Ukuran butir agregat batu pecah maksimum (dari pengayakan) : 20 mm.

10. Menetapkan kebutuhan air (A).

$$A = 0,67 A_h + 0,33 A_k$$

Dengan : A = jumlah air yang dibutuhkan, liter/m<sup>3</sup>

$A_h$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

$A_k$  = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } A &= (0,67 \times 225) + (0,33 \times 225) \\ &= 225 \text{ liter/m}^3 \end{aligned}$$

Nilai-nilai  $A_h$  dan  $A_k$  didapat dari tabel perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter).

Tabel 5 Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maks kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	<b>225</b>
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	<b>225</b>
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

11. Menentukan kebutuhan semen.

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{air}}{\text{faktor air semen}} \\ &= \frac{225}{0,56} = 401,786 \text{ kg} \end{aligned}$$

12. Perbandingan pasir dan kerikil = 44,6 % dan 55,4% ( Grafik hubungan fas, slump dan ukuran butir maksimum).

13. Menentukan berat jenis agregat campuran pasir dan kerikil.

$$\frac{44,6}{100} \times 2,60 + \frac{55,4}{100} \times 2,66 = 2,63324 \approx 2,7$$

14. Menentukan berat jenis beton = 2385 kg/m<sup>3</sup> (Grafik hubungan kandungan air dan berat jenis campuran).

15. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir + kerikil} &= \text{berat beton} - \text{kebutuhan air} - \text{kebutuhan semen} \\ &= 2385 - 225 - 401,786 \\ &= 1758,214 \text{ kg} \end{aligned}$$

16. Menentukan kebutuhan pasir.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir} &= \text{kebutuhan pasir dan kerikil} \times \text{persentase berat pasir} \\ &= 1758,214 \times 44,6 \% \\ &= 784,16344 \text{ kg} \end{aligned}$$

17. Menentukan kebutuhan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan kerikil} &= \text{kebutuhan pasir dan kerikil} - \text{kebutuhan pasir} \\ &= 1758,214 - 784,16344 \\ &= 974,05055 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Untuk 1 m<sup>3</sup> beton dibutuhkan :

a. Air	= 225 liter	c. Pasir	= 784,16344 kg
b. Semen	= 401,78 kg	d. Kerikil	= 974,05055 kg

**DATA HASIL PENGUJIAN SIAT  
MEKANIK BETON**

**LAMPIRAN D**

Lampiran D.1

Tabel Hasil Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P maks (kN)	Kuat desak (MPa)
1	14.971	29.80	12.85	175.943	685	38.933
2	14.970	30.00	12.85	175.919	700	39.791
3	14.975	29.29	12.65	176.037	520	29.539
4	14.950	29.30	12.75	175.449	635	36.193
5	14.940	29.94	12.90	175.215	725	41.378
6	14.940	30.05	12.50	175.215	530	30.249
7	14.960	30.01	12.30	175.684	625	35.575
8	14.795	29.91	12.80	171.830	695	40.447
9	14.910	29.87	12.55	174.512	625	35.814
10	14.990	30.02	12.55	176.390	650	36.850
11	14.930	30.04	12.70	174.980	625	35.718
12	14.960	29.87	12.50	175.684	595	33.868
13	14.940	30.01	12.65	175.215	725	41.378
14	15.000	28.20	12.60	176.625	620	35.103
15	14.970	28.20	12.68	175.919	580	32.970
16	14.998	29.00	12.60	176.578	600	33.979
17	14.980	29.81	12.30	176.154	690	39.170
18	14.850	29.88	12.59	173.110	570	32.927
19	14.960	29.92	12.40	175.684	710	40.413
20	15.000	29.78	12.30	176.625	610	34.536
21	14.960	29.93	12.60	175.684	600	34.152
22	14.960	29.89	12.50	175.684	635	36.144
23	14.900	30.18	12.60	174.278	650	37.297
24	14.810	30.31	12.90	172.179	615	35.719
25	14.990	30.11	12.50	176.390	640	36.283
26	14.990	29.92	12.40	176.390	660	37.417
27	14.960	30.24	12.40	175.684	535	30.452
28	14.920	29.77	12.20	174.746	580	33.191
29	14.970	29.84	12.30	175.919	550	31.264
30	15.000	29.92	12.50	176.625	700	39.632

$\Sigma = 1076.384$

Kuar Desak Rata-rata = 35.879

$$\text{Kuat Desak (} f_c \text{)} = \frac{P}{A}$$

P = Beban Maksimum (kN)

A = Luas (cm<sup>2</sup>)

n = 30

Kuat desak rata-rata ( $f_{cr}$ ) =  $1076,384/30 = 35,879$  MPa

Standar deviasi (sd) = 3,308

Kuat desak beton =  $f_{cr} - 1,64 \times sd$

=  $35,879 - 1,64 \times 3,308$

= 30,908 MPa

Lampiran D.2

Tabel Perhitungan Standar Deviasi (Sd)

No	Data (X)	X rata-rata	Xi-Xrata2	(Xi-X)²	X²
1	38.933	35.879	3.054	9.325	1515.788
2	39.791	35.879	3.912	15.300	1583.323
3	29.539	35.879	-6.340	40.198	872.570
4	36.193	35.879	0.313	0.098	1309.916
5	41.378	35.879	5.498	30.231	1712.120
6	30.249	35.879	-5.631	31.707	914.977
7	35.575	35.879	-0.304	0.093	1265.594
8	40.447	35.879	4.567	20.861	1635.951
9	35.814	35.879	-0.065	0.004	1282.656
10	36.850	35.879	0.971	0.942	1357.941
11	35.718	35.879	-0.161	0.026	1275.797
12	33.868	35.879	-2.012	4.048	1147.013
13	41.378	35.879	5.498	30.231	1712.120
14	35.103	35.879	-0.777	0.603	1232.194
15	32.970	35.879	-2.910	8.467	1087.000
16	33.979	35.879	-1.900	3.610	1154.595
17	39.170	35.879	3.291	10.829	1534.305
18	32.927	35.879	-2.952	8.717	1084.188
19	40.413	35.879	4.534	20.557	1633.244
20	34.536	35.879	-1.343	1.804	1192.766
21	34.152	35.879	-1.727	2.984	1166.371
22	36.144	35.879	0.265	0.070	1306.417
23	37.297	35.879	1.417	2.009	1391.049
24	35.719	35.879	-0.161	0.026	1275.824
25	36.283	35.879	0.404	0.163	1316.480
26	37.417	35.879	1.538	2.365	1400.045
27	30.452	35.879	-5.427	29.453	927.346
28	33.191	35.879	-2.688	7.228	1101.644
29	31.264	35.879	-4.615	21.299	977.460
30	39.632	35.879	3.753	14.081	1570.695
Σ	1076.384		0.000	317.330	38937.387

n = 30

Xrata-rata = 1076,384 / 30 = 35,879

$$sd = \sqrt{\frac{(x_i - x_{rata-rata})^2}{(n-1)^2}}$$

sd = 3.308

LABORATORIUM  
 BAHAN DAN TEKNIK  
 FAKULTAS TEKNIK UII



Lampiran D.3

Tabel Hasil Pengujian Kuat Geser Balok Beton

No	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P maks (kN)	Kuat geser (MPa)
1	19.67	9.77	10.00	4.85	97.700	85	4.350
2	19.77	9.74	10.22	4.78	99.543	59	2.964
3	19.80	9.80	9.91	4.90	97.118	93	4.788
4	19.17	9.87	10.07	4.80	99.391	100	5.031
5	19.83	9.83	10.01	4.71	98.398	100	5.081
6	20.03	9.75	10.10	4.75	98.475	102	5.179
7	19.75	9.94	9.86	4.80	98.008	120	6.122
8	19.94	10.16	10.15	5.51	103.124	104	5.042
9	18.96	10.10	9.80	4.79	98.980	100	5.052
10	19.96	10.09	9.92	4.90	100.093	95	4.746
11	20.00	9.71	9.96	4.80	96.712	71	3.671
12	20.20	10.20	10.30	4.70	105.060	85	4.045
13	20.10	10.20	10.00	4.70	102.000	90	4.412
14	20.10	9.60	10.30	4.70	98.880	110	5.562
15	19.00	9.25	10.01	4.70	92.593	70	3.780
16	19.10	9.20	9.90	4.60	91.080	115	6.313
17	19.50	10.10	10.01	4.80	101.101	85	4.204

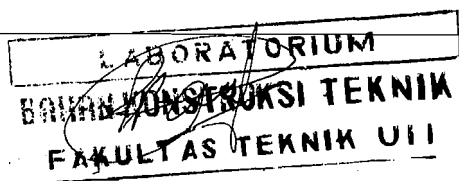
$\Sigma = 80.341$

Kuar Geser Rata-rata = 4.726

$$\text{Kuat Geser} = \frac{P}{2.L}$$

P = Beban maksimum (kN)

L = Luas benda uji, panjang x lebar (cm<sup>2</sup>)



Lampiran D.4

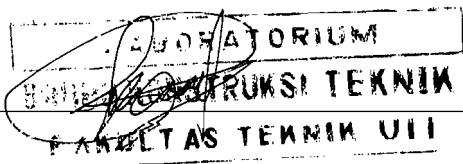
Tabel Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

No	Panjang (cm)	Panjang Antar Tumpuan (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P maks (kg)	P maks (N)	Kuat lentur (MPa)
1	40.00	30.00	9.72	10.20	9.55	388.800	1100	10788.545	4.801
2	40.00	30.00	9.67	10.15	9.60	386.800	1070	10494.311	4.740
3	39.80	29.80	10.15	10.03	9.40	403.970	1050	10298.156	4.508
4	39.10	29.10	9.65	10.03	9.70	377.315	1110	10886.622	4.895
5	39.30	29.30	9.55	10.90	9.40	375.315	1375	13485.681	5.224
6	39.50	29.50	9.90	9.45	9.50	391.050	1120	10984.700	5.498
7	40.00	30.00	9.80	9.40	9.60	392.000	1555	15251.079	7.926
8	40.10	30.10	10.05	9.20	9.30	403.005	1060	10396.234	5.518
9	39.80	29.80	9.80	10.07	9.20	390.040	1135	11131.816	5.007
10	40.10	30.10	10.10	10.40	9.80	405.010	1615	15839.545	6.547

$\Sigma =$  54.663  
 Kuat Lentur Rata-rata = 5.466

$$\text{Kuat Lentur} = \frac{3.P.l}{2.b.h^2}$$

- P = Beban maksimum (N)
- l = Panjang antar tumpuan (cm)
- b = Lebar benda uji (cm)
- h = Tinggi benda uji (cm)



### Lampiran D.5

Tabel Hasil Pengujian Tarik Belah Beton

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm <sup>2</sup> )	P maks (kN)	Kuat tarik (MPa)
1	15.0	29.90	12.50	176.625	205	2.911
2	15.0	29.68	12.40	176.625	235	3.362
3	15.4	30.06	12.60	186.171	220	3.027
4	15.1	29.81	12.50	178.988	208	2.943
5	15.3	29.94	12.40	183.761	212	2.948
6	15.2	29.97	12.60	181.366	290	4.055
7	15.3	30.17	13.05	183.761	222	3.063

$$\Sigma = 22.310$$

Kuat Tarik Belah Rata-rata =

$$3.187$$

$$\text{Kuat tarik} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D}$$

P = Beban maksimum (kN)

L = Diameter benda uji (cm)

D = Tinggi benda uji (cm)

**LABORATORIUM**  
**BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**  
**FAKULTAS TEKNIK UII**

**DATA HASIL PERHITUNGAN MOMEN  
KAPASITAS**

**LAMPIRAN E**

## Perhitungan Kapasitas Momen

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 300 - 20 = 280 \text{ mm}$$

Tulangan atas (desak) dipakai diameter ( $\emptyset$ ) = 6 mm, berjumlah  $n' = 2$  buah

$$\begin{aligned} A_s' &= n' \cdot A_{tul} & , A_{tul} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ & & &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6^2 = 28,26 \text{ mm}^2 \\ & & &= 2 \cdot 28,26 \\ & & &= 56,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bawah / tarik dipakai diameter ( $\emptyset$ ) = 16 mm, berjumlah  $n = 3$  buah

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot A_{tul} & , A_{tul} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ & & &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2 \\ & & &= 3 \cdot 200,96 \\ & & &= 602,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$f_c' = 30,908 \text{ MPa}$ , sehingga bila  $f_c' > 30$ , maka  $\beta_1$  dicari dengan persamaan

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \geq 0,65 \\ \beta_1 &= 0,85 - 0,008 (30,908 - 30) \geq 0,65 \\ &= 0,843 \geq 0,65 \end{aligned}$$

$$f_y' = 277 \text{ MPa}$$

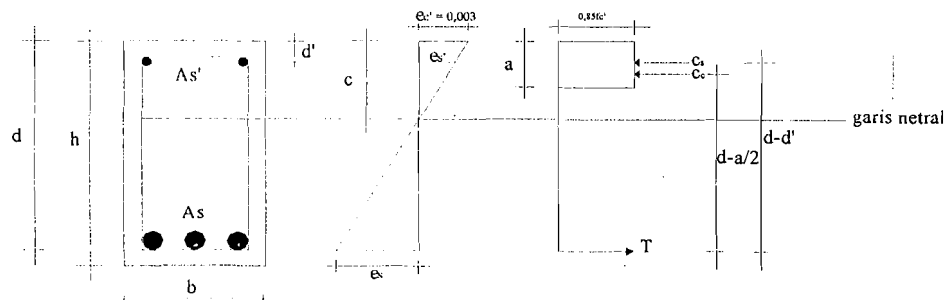
$$f_y = 359 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{359} = 0,0039$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1)}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} = \frac{(0,85 \cdot 30,908 \cdot 0,85)}{359} \cdot \frac{600}{(600 + 359)} \\ &= 0,03859 \end{aligned}$$

$$p_{maks} = 0,75 \cdot p_b = 0,75 \cdot 0,03859 = 0,02894$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{(A_s - A_s')}{(b \cdot d)} \\ &= \frac{(602,88 - 200,96)}{(150 \cdot 280)} \\ &= 0,01301 \end{aligned}$$



Gambar diagram regangan dan tegangan balok persegi tulangan rangkap

Dari pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik, tinggi blok tegangan tekan beton dapat dihitung sebagai berikut:

$C_c + C_s = T$ , bila se nua tulangan telah leleh,  $f_s' = f_y$  dan  $f_s = f_y$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = (A_s \cdot f_y) - (A_s' \cdot f_y)$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = (A_s - A_s') f_y$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{(A_s - A_s') f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{(602,88 - 56,52) 359}{0,85 \cdot 30,908 \cdot 150} \\ &= 49,773 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{49,773}{0,843} \end{aligned}$$

$$= 59,042 \text{ mm}$$

Pemeriksaan regangan-regangan untuk mengetahui apakah asumsi yang digunakan benar, yang berarti bahwa kedua penulangan, baik tulangan tekan ataupun tarik telah leleh sebelum beton hancur.

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \frac{(c - d')}{c} \cdot (0,003) \\ &= \frac{(59,042 - 20)}{59,042} \cdot (0,003) \\ &= 0,00198 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{(d - c)}{c} \cdot (0,003) \\ &= \frac{(280 - 59,042)}{59,042} \cdot (0,003) \\ &= 0,0112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{359}{200000} \\ &= 0,00179 \end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_s'$  dan  $\varepsilon_s$  lebih besar dari  $\varepsilon_y$ , maka baik tulangan tarik maupun tekan telah mencapai leleh terlebih dahulu sebelum beton tekan mencapai regangan 0,003. Dengan demikian anggapan mengenai regangan baja benar.

$$\begin{aligned} M_n &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \\ &= 0,85 \cdot 30,908 \cdot 49,773 \cdot 150 \cdot (280 - 49,773/2) + 56,52 \cdot 359 \cdot (280 - 20) \\ &= 55314545,17 \text{ Nmm} \\ &= 55,314 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$a \text{ jarak} = 560 \text{ mm} = 0,56 \text{ m}$$

$$a/d = 2$$

$$\begin{aligned} P &= (2 \cdot M_n) / a \text{ jarak} \\ &= (2 \cdot 55,314) / 0,56 \\ &= 197,551 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= (1/2).P \\
 &= (1/2). 197,551 \\
 &= 98,776 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left( \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \right) b.d \\
 &= \left( \frac{1}{6} \sqrt{30,908} \right) 150.280 \\
 &= 38,916 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= V_n - V_c \\
 &= 98,776 - 38,916 \\
 &= 59,859 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pemakaian sengkang menggunakan diameter ( $\Phi$ ) = 6 mm, sebanyak 2 buah tulangan.

$$\begin{aligned}
 A_{\text{sengkang}} (A_v) &= 2.A_{\text{tul}} \quad , \quad A_{\text{tul}} = \frac{1}{4} \pi . d^2 \\
 &= \frac{1}{4} . 3,14 . 6^2 = 28,26 \text{ mm}^2 \\
 &= 2 . 28,26 \\
 &= 56,52 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak antar sengkang

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v . f_y . d}{V_s} \\
 &= \frac{56,52 . 359 . 280}{59,859 . 10^3} \\
 &= 94,913 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



# **LAMPIRAN F**

## **DATA DAN GRAFIK HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN HASIL PENGUJIAN DAN TEORITIS**

---

Lampiran F.1

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (BN)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0,12	0,19	0,14	0,150
3	10	0,2	0,29	0,22	0,237
4	15	0,25	0,35	0,29	0,297
5	20	0,31	0,41	0,35	0,357
6	25	0,39	0,51	0,46	0,453
7	30	0,51	0,64	0,59	0,580
8	35	0,63	0,77	0,73	0,710
9	40	0,72	0,9	0,75	0,790
10	45	0,89	1,1	0,93	0,973
11	50	1,05	1,28	1,07	1,133
12	55	1,21	1,47	1,23	1,303
13	60	1,37	1,62	1,36	1,450
14	65	1,85	2,1	1,73	1,893
15	70	1,96	2,17	1,8	1,977
16	75	2,1	2,34	1,93	2,123
17	80	2,24	2,49	2,06	2,263
18	85	2,44	2,69	2,21	2,447
19	90	2,55	2,8	2,3	2,550
20	95	2,72	2,99	2,47	2,727
21	100	2,87	3,16	2,63	2,887
22	105	3,08	3,37	2,84	3,097
23	110	3,33	3,65	3,11	3,363
24	115	3,54	3,85	3,26	3,550
25	120	3,75	4,07	3,46	3,760
26	125	4	4,31	3,65	3,987
27	130	4,26	4,57	3,89	4,240
28	135	4,49	4,81	4,09	4,463
29	140	5,02	5,36	4,72	5,033
30	145	5,27	5,62	5,03	5,307
31	150	5,39	5,73	4,96	5,360
32	155	5,65	6	5,21	5,620
33	160	5,93	6,31	5,49	5,910
34	165	6,22	6,62	5,78	6,207
35	170	7,83	8,75	7,77	8,117
36	175	9,68	11,31	10,17	10,387
37	177	15,96	18,83	15,93	16,907

Lampiran F.2

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		I.VDT 1	I.VDT 2	I.VDT 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0,15	0,27	0,31	0,243
3	10	0,27	0,43	0,49	0,397
4	15	0,41	0,62	0,71	0,580
5	20	0,46	0,7	0,79	0,650
6	25	0,54	0,8	0,89	0,743
7	30	0,72	0,96	1,04	0,907
8	35	0,8	1,06	1,14	1,000
9	40	0,86	1,15	1,22	1,077
10	45	0,93	1,25	1,31	1,163
11	50	1,01	1,35	1,4	1,253
12	55	1,08	1,43	1,48	1,330
13	60	1,15	1,53	1,57	1,417
14	65	1,28	1,64	1,67	1,530
15	70	1,37	1,75	1,79	1,637
16	75	1,69	2,07	2,04	1,933
17	80	1,78	2,18	2,14	2,033
18	85	1,89	2,31	2,27	2,157
19	90	1,98	2,44	2,38	2,267
20	95	2,11	2,59	2,52	2,407
21	100	2,22	2,72	2,65	2,530
22	105	2,36	2,9	2,81	2,690
23	110	2,5	3,07	2,98	2,850
24	115	2,64	3,26	3,16	3,020
25	120	2,88	3,57	3,52	3,323

Lampiran F.3

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (MKTS)

No	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		L.V.D.T 1	L.V.D.T 2	L.V.D.T 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0,14	0	0,12	0,087
3	10	0,2	0	0,18	0,127
4	15	0,23	0,01	0,22	0,153
5	20	0,27	0,05	0,28	0,200
6	25	0,34	0,12	0,34	0,267
7	30	0,41	0,19	0,43	0,343
8	35	0,47	0,25	0,49	0,403
9	40	0,55	0,36	0,59	0,500
10	45	0,66	0,48	0,71	0,617
11	50	0,82	0,69	0,95	0,820
12	55	0,91	0,82	1,07	0,933
13	60	1,03	0,98	1,22	1,077
14	65	1,13	1,14	1,38	1,217
15	70	1,29	1,35	1,56	1,400
16	75	1,46	1,58	1,77	1,603
17	80	1,61	1,77	1,95	1,777
18	85	1,73	1,93	2,09	1,917
19	90	1,83	2,07	2,22	2,040
20	95	1,94	2,22	2,36	2,173
21	100	2,09	2,42	2,56	2,357
22	105	2,23	2,6	2,72	2,517
23	110	2,36	2,77	2,89	2,673
24	115	2,5	2,94	3,04	2,827
25	120	2,64	3,12	3,18	2,980
26	125	2,76	3,28	3,33	3,123
27	130	2,88	3,43	3,48	3,263
28	135	2,98	3,57	3,61	3,387
29	140	3,15	3,79	3,8	3,580
30	145	3,76	4,35	4,22	4,110
31	150	3,92	4,48	4,36	4,253
32	155	4,08	4,69	4,56	4,443
33	160	4,3	4,99	4,83	4,707
34	165	4,45	5,16	5,02	4,877
35	170	4,66	5,45	5,29	5,133

No	Beban (KN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
36	175	4,83	5,69	5,56	5,360
37	180	6,11	7,93	8,18	7,407
38	185	7,69	10,37	10,17	9,410
39	190	9,16	12,7	12,21	11,357

Lampiran F.4

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (MKGTS)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0,04	0,03	0,01	0,027
3	10	0,07	0,07	0,03	0,057
4	15	0,12	0,11	0,07	0,100
5	20	0,17	0,18	0,12	0,157
6	25	0,21	0,21	0,15	0,190
7	30	0,24	0,25	0,19	0,227
8	35	0,3	0,3	0,23	0,277
9	40	0,34	0,35	0,27	0,320
10	45	0,4	0,42	0,32	0,380
11	50	0,5	0,53	0,4	0,477
12	55	0,67	0,7	0,53	0,633
13	60	0,84	0,91	0,69	0,813
14	65	0,99	1,09	0,83	0,970
15	70	1,11	1,25	0,95	1,103
16	75	1,21	1,38	1,05	1,213
17	80	1,34	1,55	1,23	1,373
18	85	1,46	1,7	1,38	1,513
19	90	1,6	1,87	1,51	1,660
20	95	1,74	2,03	1,66	1,810
21	100	1,87	2,19	1,77	1,943
22	105	2,01	2,36	1,87	2,080
23	110	2,16	2,86	1,88	2,300
24	115	2,28	2,72	1,9	2,300
25	120	2,4	2,91	2,37	2,560
26	125	2,47	3,07	2,43	2,657
27	130	3,14	3,32	3,27	3,243
28	135	3,15	3,48	3,3	3,310
29	140	3,18	3,68	3,5	3,453
30	145	3,2	3,89	3,6	3,563
31	150	3,98	4,2	4,01	4,063
32	155	4,44	4,45	4,05	4,313
33	160	4,65	4,82	4,83	4,767
34	165	4,88	5,16	4,85	4,963
35	170	5,17	5,6	4,9	5,223

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
36	175	5,69	6,18	5,07	5,647
37	178	6,75	7,7	5,88	6,777
38	179	7,92	9,51	7,88	8,437
39	180	8,21	10,16	7,91	8,760
40	184	11,91	13,84	9,5	11,750

Lampiran F.5

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (MSKP)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0	0,15	0,01	0,053
3	10	0	0,24	0,03	0,090
4	15	0	0,35	0,08	0,143
5	20	0	0,47	0,12	0,197
6	25	0,1	0,62	0,22	0,313
7	30	0,19	0,75	0,25	0,397
8	35	0,28	0,87	0,27	0,473
9	40	0,37	1,01	0,29	0,557
10	45	0,47	1,15	0,31	0,643
11	50	4,29	1,33	0,33	1,983
12	55	5,2	1,45	0,49	2,380
13	60	5,29	1,62	0,68	2,530
14	65	5,28	1,69	0,84	2,603
15	70	5,39	1,88	2,08	3,117
16	75	5,51	2,06	2,21	3,260
17	80	5,68	2,29	2,35	3,440
18	85	5,83	2,49	2,43	3,583
19	90	5,96	2,68	2,49	3,710
20	95	6,1	2,87	2,59	3,853
21	100	6,23	3,05	2,7	3,993
22	105	6,37	3,24	2,83	4,147
23	110	6,57	3,51	3,03	4,370
24	115	6,65	3,63	3,09	4,457
25	120	6,74	3,76	3,98	4,827
26	125	6,83	3,87	4,08	4,927
27	130	6,98	4,03	4,22	5,077
28	135	7,08	4,17	4,35	5,200
29	140	7,25	4,39	4,57	5,403
30	145	7,42	4,59	4,76	5,590
31	150	7,59	4,78	4,94	5,770
32	155	7,77	4,97	5,12	5,953
33	160	7,96	5,19	5,3	6,150
34	165	8,8	5,4	5,48	6,560
35	170	8,43	5,7	5,73	6,620
36	175	9,24	6,76	6,75	7,583
37	180	9,9	7,67	7,62	8,397
38	185	11,25	9,32	9,04	9,870
39	185	12,46	10,85	10,38	11,230
40	185	13,19	11,78	11,13	12,033
41	184	14,12	12,95	12,05	13,040
42	182	14,79	13,93	12,77	13,830
43	184	15,78	15,1	13,61	14,830



Lampiran F.6

Tabel Hasil Pengujian Balok Lentur Dan Geser (MSKG)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVD1 1	LVD1 2	LVD1 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0	0,06	0,06	0,040
3	10	0,02	0,1	0,12	0,080
4	15	0,05	0,16	0,18	0,130
5	20	0,1	0,23	0,25	0,193
6	25	0,18	0,31	0,33	0,273
7	30	0,28	0,43	0,43	0,380
8	35	0,44	0,61	0,6	0,550
9	40	0,56	0,77	0,74	0,690
10	45	0,7	0,92	0,88	0,833
11	50	0,87	1,11	1,06	1,013
12	55	1,08	1,32	1,25	1,217
13	60	1,23	1,49	1,41	1,377
14	65	1,37	1,64	1,54	1,517
15	70	1,53	1,82	1,71	1,687
16	75	1,68	1,98	1,86	1,840
17	80	1,88	2,19	2,05	2,040
18	85	2,07	2,38	2,23	2,227
19	90	2,23	2,56	2,41	2,400
20	95	2,37	2,73	2,56	2,553
21	100	2,54	2,94	2,73	2,737
22	105	2,7	3,11	2,88	2,897
23	110	2,88	3,32	3,08	3,093
24	115	3,08	3,53	3,29	3,300
25	120	3,26	3,73	3,5	3,497
26	125	3,42	3,91	3,68	3,670
27	130	3,63	4,15	3,92	3,900
28	135	3,79	4,34	4,69	4,273
29	140	4	4,57	4,32	4,297
30	145	4,2	4,8	4,53	4,510
31	150	5,98	7,5	6,76	6,747
32	155	7,68	10,03	8,82	8,843
33	160	8,43	11,07	9,66	9,720



No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Rata-rata (mm)
		LVD1	LVD2	LVD3	
34	162	12,37	15,08	12,42	13,290
35	161	15,06	17,45	14	15,503

Lampiran F.7

Tabel Hasil Pengujian Balok Lentur Dan Geser (MS50KG)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,000
2	5	0	0,01	0,06	0,023
3	10	0,01	0,07	0,17	0,083
4	15	0,05	0,13	0,25	0,143
5	20	0,12	0,22	0,35	0,230
6	25	0,22	0,36	0,48	0,353
7	30	0,28	0,42	0,55	0,417
8	35	0,4	0,53	0,66	0,530
9	40	0,48	0,66	0,78	0,640
10	45	0,63	0,86	0,96	0,817
11	50	0,76	1,02	1,11	0,963
12	55	0,9	1,2	1,27	1,123
13	60	1,06	1,39	1,45	1,300
14	65	1,28	1,68	1,71	1,557
15	70	1,44	1,87	1,87	1,727
16	75	1,6	2,08	2,07	1,917
17	80	1,74	2,24	2,22	2,067
18	85	1,87	2,4	2,37	2,213
19	90	2,05	2,61	2,56	2,407
20	95	2,21	2,82	2,75	2,593
21	100	2,37	2,99	2,91	2,757
22	105	2,54	3,19	3,12	2,950
23	110	2,77	3,46	3,35	3,193
24	115	2,94	3,67	3,54	3,383
25	120	3,08	3,83	3,7	3,537
26	125	3,24	4,03	3,88	3,717
27	130	3,37	4,19	4,03	3,863
28	135	3,53	4,39	4,22	4,047
29	140	3,67	4,56	4,38	4,203
30	145	3,94	4,88	4,71	4,510
31	150	4,05	5,02	4,81	4,627
32	155	4,2	5,21	4,99	4,800
33	160	4,32	5,36	5,12	4,933
34	165	4,48	5,54	5,3	5,107
35	170	4,66	5,77	5,51	5,313

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
36	175	4,84	6	6,71	5,850
37	180	6,81	9,24	8,37	8,140
38	185	7,38	10,06	9,06	8,833
39	188	9,25	12,18	10,65	10,693
40	184	9,93	14,64	11,22	11,930

Lampiran F.8

Hasil Perhitungan Lenturan Teoritis Pada Balok Normal

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M <sub>max</sub> (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	49	1.76	1.51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.533	337500000	50.4	1.81	1.56

Lampiran F.9

Hasil Perhitungan Lenturan Teoritis Pada Balok Tanpa Senggang

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

Lampiran F.10

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok Normal Pada Balok MKTS

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	0	0	0
5	2,5	2500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	1,4	0,05	0,04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	2,8	0,10	0,09
15	7,5	7500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	4,2	0,15	0,13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	5,6	0,20	0,17
25	12,5	12500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	7	0,25	0,22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	8,4	0,30	0,26
35	17,5	17500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	9,8	0,35	0,30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	11,2	0,40	0,35
45	22,5	22500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	12,6	0,45	0,39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	14	0,50	0,43
55	27,5	27500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	15,4	0,55	0,48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	16,8	0,60	0,52
65	32,5	32500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	18,2	0,66	0,56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	19,6	0,71	0,61
75	37,5	37500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	21	0,76	0,65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	22,4	0,81	0,69
85	42,5	42500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	23,8	0,86	0,74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	25,2	0,91	0,78
95	47,5	47500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	26,6	0,96	0,82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	28	1,01	0,87
105	52,5	52500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	29,4	1,06	0,91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	30,8	1,11	0,95
115	57,5	57500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	32,2	1,16	1,00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	33,6	1,21	1,04



P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62,5	62500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	35	1,26	1,08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	36,4	1,31	1,12
135	67,5	67500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	37,8	1,36	1,17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	39,2	1,41	1,21
145	72,5	72500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	40,6	1,46	1,25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	42	1,51	1,30
155	77,5	77500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	43,4	1,56	1,34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	44,8	1,61	1,38
165	82,5	82500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	46,2	1,66	1,43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	47,6	1,71	1,47
175	87,5	87500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	49	1,76	1,51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,4	1,81	1,56
185	92,5	92500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	51,8	1,87	1,60
190	95	95000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	53,2	1,92	1,64

Lampiran F.11

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok Normal Pada Balok MKGTS

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	0	0	0
5	2,5	2500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	1,4	0,05	0,04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	2,8	0,10	0,09
15	7,5	7500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	4,2	0,15	0,13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	5,6	0,20	0,17
25	12,5	12500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	7	0,25	0,22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	8,4	0,30	0,26
35	17,5	17500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	9,8	0,35	0,30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	11,2	0,40	0,35
45	22,5	22500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	12,6	0,45	0,39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	14	0,50	0,43
55	27,5	27500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	15,4	0,55	0,48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	16,8	0,60	0,52
65	32,5	32500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	18,2	0,66	0,56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	19,6	0,71	0,61
75	37,5	37500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	21	0,76	0,65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	22,4	0,81	0,69
85	42,5	42500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	23,8	0,86	0,74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	25,2	0,91	0,78
95	47,5	47500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	26,6	0,96	0,82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	28	1,01	0,87
105	52,5	52500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	29,4	1,06	0,91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	30,8	1,11	0,95
115	57,5	57500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	32,2	1,16	1,00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	33,6	1,21	1,04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62,5	62500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	35	1,26	1,08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	36,4	1,31	1,12
135	67,5	67500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	37,8	1,36	1,17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	39,2	1,41	1,21
145	72,5	72500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	40,6	1,46	1,25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	42	1,51	1,30
155	77,5	77500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	43,4	1,56	1,34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	44,8	1,61	1,38
165	82,5	82500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	46,2	1,66	1,43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	47,6	1,71	1,47
175	87,5	87500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	49	1,76	1,51
178	89	89000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	49,84	1,79	1,54
179	89,5	89500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,12	1,80	1,55
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,4	1,81	1,56
184	92	92000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	51,52	1,86	1,59

Lampiran F.12

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok Normal Pada Balok MSKP

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	0	0	0
5	2,5	2500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	1,4	0,05	0,04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	2,8	0,10	0,09
15	7,5	7500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	4,2	0,15	0,13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	5,6	0,20	0,17
25	12,5	12500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	7	0,25	0,22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	8,4	0,30	0,26
35	17,5	17500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	9,8	0,35	0,30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	11,2	0,40	0,35
45	22,5	22500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	12,6	0,45	0,39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	14	0,50	0,43
55	27,5	27500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	15,4	0,55	0,48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	16,8	0,60	0,52
65	32,5	32500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	18,2	0,66	0,56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	19,6	0,71	0,61
75	37,5	37500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	21	0,76	0,65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	22,4	0,81	0,69
85	42,5	42500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	23,8	0,86	0,74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	25,2	0,91	0,78
95	47,5	47500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	26,6	0,96	0,82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	28	1,01	0,87
105	52,5	52500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	29,4	1,06	0,91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	30,8	1,11	0,95
115	57,5	57500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	32,2	1,16	1,00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	33,6	1,21	1,04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62,5	62500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	35	1,26	1,08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	36,4	1,31	1,12
135	67,5	67500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	37,8	1,36	1,17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	39,2	1,41	1,21
145	72,5	72500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	40,6	1,46	1,25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	42	1,51	1,30
155	77,5	77500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	43,4	1,56	1,34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	44,8	1,61	1,38
165	82,5	82500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	46,2	1,66	1,43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	47,6	1,71	1,47
175	87,5	87500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	49	1,76	1,51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,4	1,81	1,56
181	90,5	90500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,68	1,82	1,57
182	91	91000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	50,96	1,83	1,57
183	91,5	91500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	51,24	1,84	1,58
184	92	92000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	51,52	1,86	1,59
185	92,5	92500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	51,8	1,87	1,60
186	93	93000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	52,08	1,88	1,61

Lampiran F.13

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok Normal Pada Balok MSKG

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	0	0	0
5	2,5	2500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	1,4	0,05	0,04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	2,8	0,10	0,09
15	7,5	7500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	4,2	0,15	0,13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	5,6	0,20	0,17
25	12,5	12500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	7	0,25	0,22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	8,4	0,30	0,26
35	17,5	17500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	9,8	0,35	0,30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	11,2	0,40	0,35
45	22,5	22500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	12,6	0,45	0,39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	14	0,50	0,43
55	27,5	27500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	15,4	0,55	0,48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	16,8	0,60	0,52
65	32,5	32500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	18,2	0,66	0,56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	19,6	0,71	0,61
75	37,5	37500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	21	0,76	0,65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	22,4	0,81	0,69
85	42,5	42500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	23,8	0,86	0,74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	25,2	0,91	0,78
95	47,5	47500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	26,6	0,96	0,82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	28	1,01	0,87
105	52,5	52500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	29,4	1,06	0,91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	30,8	1,11	0,95
115	57,5	57500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	32,2	1,16	1,00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	33,6	1,21	1,04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N·mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62,5	62500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	35	1,26	1,08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	36,4	1,31	1,12
135	67,5	67500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	37,8	1,36	1,17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	39,2	1,41	1,21
145	72,5	72500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	40,6	1,46	1,25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	42	1,51	1,30
155	77,5	77500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	43,4	1,56	1,34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	44,8	1,61	1,38
162	81	81000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	45,36	1,63	1,40
161	80,5	80500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	45,08	1,62	1,39

Lampiran F.14

Hasil Perhitungan Lentutan Teoritis Pada Balok Normal Pada Balok MS50KG

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	0	0	0
5	2,5	2500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	1,4	0,05	0,04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	2,8	0,10	0,09
15	7,5	7500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	4,2	0,15	0,13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	5,6	0,20	0,17
25	12,5	12500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	7	0,25	0,22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	8,4	0,30	0,26
35	17,5	17500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	9,8	0,35	0,30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	11,2	0,40	0,35
45	22,5	22500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	12,6	0,45	0,39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	14	0,50	0,43
55	27,5	27500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	15,4	0,55	0,48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	16,8	0,60	0,52
65	32,5	32500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	18,2	0,66	0,56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	19,6	0,71	0,61
75	37,5	37500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	21	0,76	0,65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	22,4	0,81	0,69
85	42,5	42500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	23,8	0,86	0,74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	25,2	0,91	0,78
95	47,5	47500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	26,6	0,96	0,82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	28	1,01	0,87
105	52,5	52500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	29,4	1,06	0,91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	30,8	1,11	0,95
115	57,5	57500	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	32,2	1,16	1,00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129,633	337500000	33,6	1,21	1,04



P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (m)	L2 (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	a2 (mm <sup>2</sup> )	E N/mm <sup>2</sup>	I (mm <sup>4</sup> )	M max (kNm)	Δ maks, x = 680 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62,5	62500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	35	1,26	1,08
130	65	65000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	36,4	1,31	1,12
135	67,5	67500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	37,8	1,36	1,17
140	70	70000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	39,2	1,41	1,21
145	72,5	72500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	40,6	1,46	1,25
150	75	75000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	42	1,51	1,30
155	77,5	77500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	43,4	1,56	1,34
160	80	80000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	44,8	1,61	1,38
165	82,5	82500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	46,2	1,66	1,43
170	85	85000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	47,6	1,71	1,47
175	87,5	87500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	49	1,76	1,51
180	90	90000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	50,4	1,81	1,56
185	92,5	92500	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	51,8	1,87	1,60
188	94	94000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	52,6	1,90	1,63
184	92	92000	1720	2953400	560	313600	26129,633	337500000	51,5	1,86	1,59

# **LAMPIRAN G**

**DATA DAN GRAFIK HUBUNGAN  
MOMEN-KELENGKUNGAN HASIL  
PENGUJIAN DAN TEORITIS**

---

### Lampiran G.1

**Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Normal (BN)**

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			Y <sub>i-1</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	Y <sub>i-1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	5	2,5	0,12	0,19	0,14	0,0001	0,0002	0,0001	1,4	0,00133
3	10	5	0,2	0,29	0,22	0,0002	0,0003	0,0002	2,8	0,00178
4	15	7,5	0,25	0,35	0,29	0,0003	0,0004	0,0003	4,2	0,00178
5	20	10	0,31	0,41	0,35	0,0003	0,0004	0,0004	5,6	0,00178
6	25	12,5	0,39	0,51	0,46	0,0004	0,0005	0,0005	7	0,00189
7	30	15	0,51	0,64	0,59	0,0005	0,0006	0,0006	8,4	0,00200
8	35	17,5	0,63	0,77	0,73	0,0006	0,0008	0,0007	9,8	0,00200
9	40	20	0,72	0,9	0,75	0,0007	0,0009	0,0008	11,2	0,00367
10	45	22,5	0,89	1,1	0,93	0,0009	0,0011	0,0009	12,6	0,00422
11	50	25	1,05	1,28	1,07	0,0011	0,0013	0,0011	14	0,00489
12	55	27,5	1,21	1,47	1,23	0,0012	0,0015	0,0012	15,4	0,00556
13	60	30	1,37	1,62	1,36	0,0014	0,0016	0,0014	16,8	0,00567
14	65	32,5	1,85	2,1	1,73	0,0019	0,0021	0,0017	18,2	0,00689
15	70	35	1,96	2,17	1,8	0,0020	0,0022	0,0018	19,6	0,00644
16	75	37,5	2,1	2,34	1,93	0,0021	0,0023	0,0019	21	0,00722
17	80	40	2,24	2,49	2,06	0,0022	0,0025	0,0021	22,4	0,00756
18	85	42,5	2,44	2,69	2,21	0,0024	0,0027	0,0022	23,8	0,00811
19	90	45	2,55	2,8	2,3	0,0026	0,0028	0,0023	25,2	0,00833
20	95	47,5	2,72	2,99	2,47	0,0027	0,0030	0,0025	26,6	0,00878
21	100	50	2,87	3,16	2,63	0,0029	0,0032	0,0026	28	0,00911
22	105	52,5	3,08	3,37	2,84	0,0031	0,0034	0,0028	29,4	0,00911
23	110	55	3,33	3,65	3,11	0,0033	0,0037	0,0031	30,8	0,00956

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			Y <sub>i-1</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	Y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
24	115	57,5	3,54	3,85	3,26	0,0035	0,0039	0,0033	32,2	0,01000
25	120	60	3,75	4,07	3,46	0,0038	0,0041	0,0035	33,6	0,01033
26	125	62,5	4	4,31	3,65	0,0040	0,0043	0,0037	35	0,01078
27	130	65	4,26	4,57	3,89	0,0043	0,0046	0,0039	36,4	0,01100
28	135	67,5	4,49	4,81	4,09	0,0045	0,0048	0,0041	37,8	0,01156
29	140	70	5,02	5,36	4,72	0,0050	0,0054	0,0047	39,2	0,01089
30	145	72,5	5,27	5,62	5,03	0,0053	0,0056	0,0050	40,6	0,01044
31	150	75	5,39	5,73	4,96	0,0054	0,0057	0,0050	42	0,01233
32	155	77,5	5,65	6	5,21	0,0057	0,0060	0,0052	43,4	0,01267
33	160	80	5,93	6,31	5,49	0,0059	0,0063	0,0055	44,8	0,01333
34	165	82,5	6,22	6,62	5,78	0,0062	0,0066	0,0058	46,2	0,01378
35	170	85	7,83	8,75	7,77	0,0078	0,0088	0,0078	47,6	0,02111
36	175	87,5	9,68	11,31	10,17	0,0097	0,0113	0,0102	49	0,03078
37	180	90	15,96	18,83	15,93	0,0160	0,0188	0,0159	50,4	0,06411

## Lampiran G.2

**Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Tanpa Sengkan (TSK)**

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2,5	0,15	0,27	0,31	0,0002	0,0003	0,0003	1,4	0,00089
3	10	5	0,27	0,43	0,49	0,0003	0,0004	0,0005	2,8	0,00111
4	15	7,5	0,41	0,62	0,71	0,0004	0,0006	0,0007	4,2	0,00133
5	20	10	0,46	0,7	0,79	0,0005	0,0007	0,0008	5,6	0,00167
6	25	12,5	0,54	0,8	0,89	0,0005	0,0008	0,0009	7	0,00189
7	30	15	0,72	0,96	1,04	0,0007	0,0010	0,0010	8,4	0,00178
8	35	17,5	0,8	1,06	1,14	0,0008	0,0011	0,0011	9,8	0,00200
9	40	20	0,86	1,15	1,22	0,0009	0,0012	0,0012	11,2	0,00244
10	45	22,5	0,93	1,25	1,31	0,0009	0,0013	0,0013	12,6	0,00289
11	50	25	1,01	1,35	1,4	0,0010	0,0014	0,0014	14	0,00322
12	55	27,5	1,08	1,43	1,48	0,0011	0,0014	0,0015	15,4	0,00333
13	60	30	1,15	1,53	1,57	0,0012	0,0015	0,0016	16,8	0,00378
14	65	32,5	1,28	1,64	1,67	0,0013	0,0016	0,0017	18,2	0,00367
15	70	35	1,37	1,75	1,79	0,0014	0,0018	0,0018	19,6	0,00378
16	75	37,5	1,69	2,07	2,04	0,0017	0,0021	0,0020	21	0,00456
17	80	40	1,78	2,18	2,14	0,0018	0,0022	0,0021	22,4	0,00489
18	85	42,5	1,89	2,31	2,27	0,0019	0,0023	0,0023	23,8	0,00511
19	90	45	1,98	2,44	2,38	0,0020	0,0024	0,0024	25,2	0,00578
20	95	47,5	2,11	2,59	2,52	0,0021	0,0026	0,0025	26,6	0,00611
21	100	50	2,22	2,72	2,65	0,0022	0,0027	0,0027	28	0,00633
22	105	52,5	2,36	2,9	2,81	0,0024	0,0029	0,0028	29,4	0,00700
23	110	55	2,5	3,07	2,98	0,0025	0,0031	0,0030	30,8	0,00733
24	115	57,5	2,64	3,26	3,16	0,0025	0,0033	0,0032	32,2	0,00800
25	120	60	2,88	3,57	3,52	0,0029	0,0036	0,0035	33,6	0,00822

Lampiran G.3

Tabel Memen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok MKTS

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	5	2,5	0,14	0	0,12	0,0001	0,0000	0,0001	1,40	0,00289
3	10	5	0,2	0	0,18	0,0002	0,0000	0,0002	2,80	0,00422
4	15	7,5	0,23	0,01	0,22	0,0002	0,0000	0,0002	4,20	0,00440
5	20	10	0,27	0,05	0,28	0,0003	0,0001	0,0003	5,60	0,00450
6	25	12,5	0,34	0,12	0,34	0,0003	0,0001	0,0003	7,00	0,00451
7	30	15	0,41	0,19	0,43	0,0004	0,0002	0,0004	8,40	0,00456
8	35	17,5	0,47	0,25	0,49	0,0005	0,0003	0,0005	9,80	0,00463
9	40	20	0,55	0,36	0,59	0,0006	0,0004	0,0006	11,20	0,00467
10	45	22,5	0,66	0,48	0,71	0,0007	0,0005	0,0007	12,60	0,00478
11	50	25	0,82	0,69	0,95	0,0008	0,0007	0,0010	14,00	0,00489
12	55	27,5	0,91	0,82	1,07	0,0009	0,0008	0,0011	15,40	0,00490
13	60	30	1,03	0,98	1,22	0,0010	0,0010	0,0012	16,80	0,00492
14	65	32,5	1,13	1,14	1,38	0,0011	0,0011	0,0014	18,20	0,00493
15	70	35	1,29	1,35	1,56	0,0013	0,0014	0,0016	19,60	0,00495
16	75	37,5	1,46	1,58	1,77	0,0015	0,0016	0,0018	21,00	0,00496
17	80	40	1,61	1,77	1,95	0,0016	0,0018	0,0020	22,40	0,00497
18	85	42,5	1,73	1,93	2,09	0,0017	0,0019	0,0021	23,80	0,00498
19	90	45	1,83	2,07	2,22	0,0018	0,0021	0,0022	25,20	0,00512
20	95	47,5	1,94	2,22	2,36	0,0019	0,0022	0,0024	26,60	0,00515
21	100	50	2,09	2,42	2,56	0,0021	0,0024	0,0026	28,00	0,00516
22	105	52,5	2,23	2,6	2,72	0,0022	0,0026	0,0027	29,40	0,00517
23	110	55	2,36	2,77	2,89	0,0024	0,0028	0,0029	30,80	0,00519
24	115	57,5	2,5	2,94	3,04	0,0025	0,0029	0,0030	32,20	0,00520
25	120	60	2,64	3,12	3,18	0,0026	0,0031	0,0032	33,60	0,00521

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
26	125	62,5	2,76	3,28	3,33	0,0028	0,0033	0,0033	35,00	0,00522
27	130	65	2,88	3,43	3,48	0,0029	0,0034	0,0035	36,40	0,00556
28	135	67,5	2,98	3,57	3,61	0,0030	0,0036	0,0036	37,80	0,00611
29	140	70	3,15	3,79	3,8	0,0032	0,0038	0,0038	39,20	0,00700
30	145	72,5	3,76	4,35	4,22	0,0038	0,0044	0,0042	40,60	0,00800
31	150	75	3,92	4,48	4,36	0,0039	0,0045	0,0044	42,00	0,00821
32	155	77,5	4,08	4,69	4,56	0,0041	0,0047	0,0046	43,40	0,00822
33	160	80	4,3	4,99	4,83	0,0043	0,0050	0,0048	44,80	0,00944
34	165	82,5	4,45	5,16	5,02	0,0045	0,0052	0,0050	46,20	0,00944
35	170	85	4,66	5,45	5,29	0,0047	0,0055	0,0053	47,60	0,01056
36	175	87,5	4,83	5,69	5,56	0,0048	0,0057	0,0056	49,00	0,01100
37	180	90	6,11	7,93	8,18	0,0061	0,0079	0,0082	50,40	0,01744
38	185	92,5	7,69	10,37	10,17	0,0077	0,0104	0,0102	51,80	0,03200
39	190	95	9,16	12,7	12,21	0,0092	0,0127	0,0122	53,20	0,04478

## Lampiran G.4

### Tabel Memen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok MKGTS

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			$y_{i-1}$ (m)	$y_i$ (m)	$y_{i+1}$ (m)	Momen kN-m	$\Phi$ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	5	2,5	0,04	0,03	0,01	0,00004	0,00003	0,00001	1,40	0,00011
3	10	5	0,07	0,07	0,03	0,00007	0,00007	0,00003	2,80	0,00044
4	15	7,5	0,12	0,11	0,07	0,00012	0,00011	0,00007	4,20	0,00033
5	20	10	0,17	0,18	0,12	0,00017	0,00018	0,00012	5,60	0,00078
6	25	12,5	0,21	0,21	0,15	0,00021	0,00021	0,00015	7,00	0,00067
7	30	15	0,24	0,25	0,19	0,00024	0,00025	0,00019	8,40	0,00078
8	35	17,5	0,3	0,3	0,23	0,0003	0,0003	0,00023	9,80	0,00078
9	40	20	0,34	0,35	0,27	0,00034	0,00035	0,00027	11,20	0,00100
10	45	22,5	0,4	0,42	0,32	0,0004	0,00042	0,00032	12,60	0,00133
11	50	25	0,5	0,53	0,4	0,0005	0,00053	0,0004	14,00	0,00178
12	55	27,5	0,67	0,7	0,53	0,00067	0,0007	0,00053	15,40	0,00222
13	60	30	0,84	0,91	0,69	0,00084	0,00091	0,00069	16,80	0,00322
14	65	32,5	0,99	1,09	0,83	0,00099	0,00109	0,00083	18,20	0,00400
15	70	35	1,11	1,25	0,95	0,00111	0,00125	0,00095	19,60	0,00489
16	75	37,5	1,21	1,38	1,05	0,00121	0,00138	0,00105	21,00	0,00556
17	80	40	1,34	1,55	1,23	0,00134	0,00155	0,00123	22,40	0,00589
18	85	42,5	1,46	1,7	1,38	0,00146	0,0017	0,00138	23,80	0,00622
19	90	45	1,6	1,87	1,51	0,0016	0,00187	0,00151	25,20	0,00700
20	95	47,5	1,74	2,03	1,66	0,00174	0,00203	0,00166	26,60	0,00733
21	100	50	1,87	2,19	1,77	0,00187	0,00219	0,00177	28,00	0,00822
22	105	52,5	2,01	2,36	1,87	0,00201	0,00236	0,00187	29,40	0,00933
23	110	55	2,16	2,86	1,88	0,00216	0,00286	0,00188	30,80	0,00957
24	115	57,5	2,28	2,72	1,81	0,00228	0,00272	0,00181	32,20	0,00970
25	120	60	2,4	2,91	0,37	0,0024	0,00291	0,00037	33,60	0,00972



No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
26	125	62,5	2,47	3,07	0,37	0,00247	0,00307	0,00037	35,00	0,00940
27	130	65	3,14	3,32	3,26	0,00314	0,00332	0,00326	36,40	0,00978
28	135	67,5	3,15	3,48	3,27	0,00315	0,00348	0,00327	37,80	0,00981
29	140	70	3,18	3,68	3,26	0,00318	0,00368	0,00326	39,20	0,01022
30	145	72,5	3,2	3,89	3,27	0,0032	0,00389	0,00327	40,60	0,01456
31	150	75	3,07	4,2	4,01	0,00307	0,0042	0,00401	42,00	0,01467
32	155	77,5	4,44	4,45	4,05	0,00444	0,00445	0,00405	43,40	0,01480
33	160	80	4,65	4,82	4,83	0,00465	0,00482	0,00483	44,80	0,01495
34	165	82,5	4,88	5,16	4,45	0,00488	0,00516	0,00445	46,20	0,01570
35	170	85	5,17	5,6	4,58	0,00517	0,0056	0,00458	47,60	0,01611
36	175	87,5	5,69	6,18	5,07	0,00569	0,00618	0,00507	49,00	0,01778
37	178	89	6,75	7,7	5,88	0,00675	0,0077	0,00588	49,84	0,03078
38	179	89,5	7,92	9,51	7,88	0,00792	0,00951	0,00788	50,12	0,03578
39	180	90	8,21	10,16	7,91	0,00821	0,01016	0,00791	50,40	0,04667
40	184	92	11,91	13,84	9,5	0,01191	0,01384	0,0095	51,52	0,06967

### Lampiran G.5

**Tabel Memen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok MSKP**

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			Y <sub>i-1</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	Y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0.00000
2	5	2,5	0	0,15	0,01	0,0000	0,0002	0,0000	1,40	0.00322
3	10	5	0	0,24	0,03	0,0000	0,0002	0,0000	2,80	0.00500
4	15	7,5	0,01	0,35	0,08	0,0000	0,0004	0,0001	4,20	0.00678
5	20	10	0,05	0,47	0,12	0,0001	0,0005	0,0001	5,60	0.00856
6	25	12,5	0,12	0,62	0,22	0,0001	0,0006	0,0002	7,00	0.01000
7	30	15	0,19	0,75	0,25	0,0002	0,0008	0,0003	8,40	0.01178
8	35	17,5	0,25	0,87	0,27	0,0003	0,0009	0,0003	9,80	0.01356
9	40	20	1,01	1,01	0,29	0,0010	0,0010	0,0003	11,20	0.01567
10	45	22,5	1,15	1,15	0,31	0,0012	0,0012	0,0003	12,60	0.01898
11	50	25	1,33	4,29	0,33	0,0013	0,0043	0,0003	14,00	0.01912
12	55	27,5	1,45	5,2	0,49	0,0015	0,0052	0,0005	15,40	0.01945
13	60	30	1,62	5,29	0,68	0,0016	0,0053	0,0007	16,80	0.01957
14	65	32,5	1,69	5,28	0,84	0,0017	0,0053	0,0008	18,20	0.01968
15	70	35	1,88	5,39	2,08	0,0019	0,0054	0,0021	19,60	0.01987
16	75	37,5	2,06	5,51	2,21	0,0021	0,0055	0,0022	21,00	0.02134
17	80	40	2,29	5,68	2,35	0,0023	0,0057	0,0024	22,40	0.02670
18	85	42,5	2,49	5,83	2,43	0,0025	0,0058	0,0024	23,80	0.02689
19	90	45	2,68	5,96	2,49	0,0027	0,0060	0,0025	25,20	0.02987
20	95	47,5	2,87	6,1	2,59	0,0029	0,0061	0,0026	26,60	0.03230
21	100	50	3,05	6,23	2,7	0,0031	0,0062	0,0027	28,00	0.03565
22	105	52,5	3,24	6,37	2,83	0,0032	0,0064	0,0028	29,40	0.03788
23	110	55	3,51	6,57	3,03	0,0035	0,0066	0,0030	30,80	0.03880
24	115	57,5	3,63	6,65	3,09	0,0036	0,0067	0,0031	32,20	0.04120

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
25	120	60	3,76	6,74	3,98	0,0038	0,0067	0,0040	33,60	0,04340
26	125	62,5	3,87	6,83	4,08	0,0039	0,0068	0,0041	35,00	0,04676
27	130	65	4,03	6,98	4,22	0,0040	0,0070	0,0042	36,40	0,04980
28	135	67,5	4,17	7,08	4,35	0,0042	0,0071	0,0044	37,80	0,05143
29	140	70	4,39	7,25	4,57	0,0044	0,0073	0,0046	39,20	0,05450
30	145	72,5	4,59	7,42	4,76	0,0046	0,0074	0,0048	40,60	0,05670
31	150	75	4,78	7,59	4,94	0,0048	0,0076	0,0049	42,00	0,05824
32	155	77,5	4,97	7,77	5,12	0,0050	0,0078	0,0051	43,40	0,05920
33	160	80	5,19	7,96	5,3	0,0052	0,0080	0,0053	44,80	0,06210
34	165	82,5	5,4	8,8	5,48	0,0054	0,0088	0,0055	46,20	0,06454
35	170	85	5,7	8,43	5,73	0,0057	0,0084	0,0057	47,60	0,06874
36	175	87,5	6,76	9,24	6,75	0,0068	0,0092	0,0068	49,00	0,06930
37	180	90	7,67	9,9	7,62	0,0077	0,0099	0,0076	50,40	0,07120
38	185	92,5	9,52	11,25	9,04	0,0093	0,0113	0,0090	51,80	0,07340
39	185	92,5	10,85	12,46	10,38	0,0109	0,0125	0,0104	51,80	0,07676
40	185	92,5	11,78	13,19	11,13	0,0118	0,0132	0,0111	51,80	0,07980
41	184	92	12,95	14,12	12,05	0,0130	0,0141	0,0121	51,52	0,08430
42	182	91	13,93	14,79	12,77	0,0139	0,0148	0,0128	50,96	0,08700
43	184	92	15,1	15,78	13,61	0,0151	0,0158	0,0136	51,52	0,09123

## Lampiran G.6

### Tabel Memen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok MSKG

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	5	2,5	0	0,06	0,06	0	0,00006	0,00006	1,40	0,00067
3	10	5	0,02	0,1	0,12	0,00002	0,0001	0,00012	2,80	0,00067
4	15	7,5	0,05	0,16	0,18	0,00005	0,00016	0,00018	4,20	0,00100
5	20	10	0,1	0,23	0,25	0,0001	0,00023	0,00025	5,60	0,00122
6	25	12,5	0,18	0,31	0,33	0,00018	0,00031	0,00033	7,00	0,00122
7	30	15	0,28	0,43	0,43	0,00028	0,00043	0,00043	8,40	0,00167
8	35	17,5	0,44	0,61	0,6	0,00044	0,00061	0,0006	9,80	0,00200
9	40	20	0,56	0,77	0,74	0,00056	0,00077	0,00074	11,20	0,00267
10	45	22,5	0,7	0,92	0,88	0,0007	0,00092	0,00088	12,60	0,00289
11	50	25	0,87	1,11	1,06	0,00087	0,00111	0,00106	14,00	0,00322
12	55	27,5	1,08	1,32	1,25	0,00108	0,00132	0,00125	15,40	0,00344
13	60	30	1,23	1,49	1,41	0,00123	0,00149	0,00141	16,80	0,00378
14	65	32,5	1,37	1,64	1,54	0,00137	0,00164	0,00154	18,20	0,00411
15	70	35	1,53	1,82	1,71	0,00153	0,00182	0,00171	19,60	0,00444
16	75	37,5	1,68	1,98	1,86	0,00168	0,00198	0,00186	21,00	0,00467
17	80	40	1,88	2,19	2,05	0,00188	0,00219	0,00205	22,40	0,00500
18	85	42,5	2,07	2,38	2,23	0,00207	0,00238	0,00223	23,80	0,00511
19	90	45	2,23	2,56	2,41	0,00223	0,00256	0,00241	25,20	0,00533
20	95	47,5	2,37	2,73	2,56	0,00237	0,00273	0,00256	26,60	0,00589
21	100	50	2,54	2,94	2,73	0,00254	0,00294	0,00273	28,00	0,00678
22	105	52,5	2,7	3,11	2,88	0,0027	0,00311	0,00288	29,40	0,00711
23	110	55	2,88	3,32	3,08	0,00288	0,00332	0,00308	30,80	0,00756
24	115	57,5	3,08	3,53	3,29	0,00308	0,00353	0,00329	32,20	0,00767
25	120	60	3,26	3,73	3,5	0,00326	0,00373	0,0035	33,60	0,00778

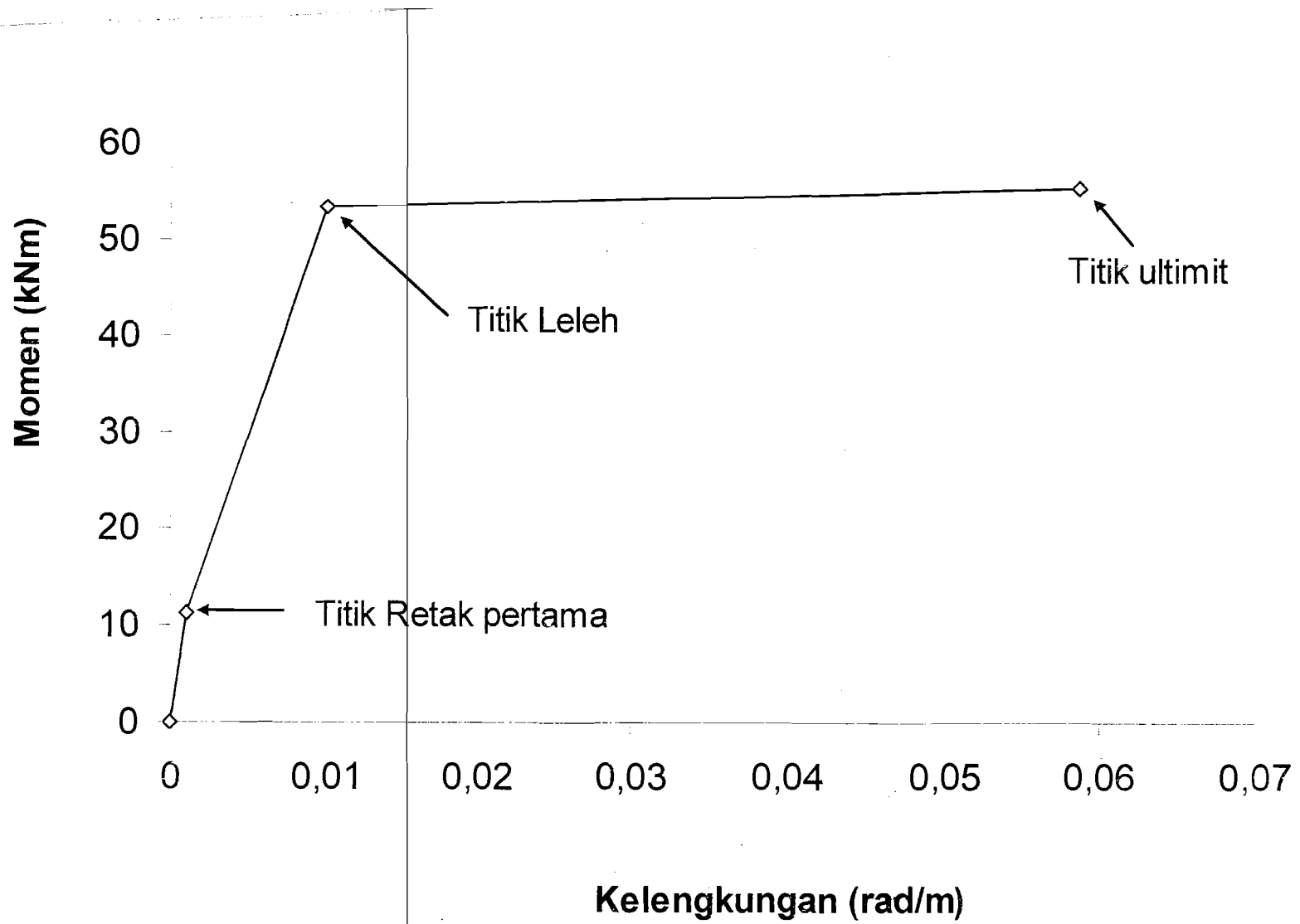
No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			$y_{i-1}$ (m)	$y_i$ (m)	$y_{i+1}$ (m)	Momen kN-m	$\Phi$ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
26	125	62,5	3,42	3,91	3,68	0,00342	0,00391	0,00368	35,00	0,00800
27	130	65	3,63	4,15	3,92	0,00363	0,00415	0,00392	36,40	0,00833
28	135	67,5	3,79	4,34	4,69	0,00379	0,00434	0,00469	37,80	0,00867
29	140	70	4	4,57	4,32	0,004	0,00457	0,00432	39,20	0,00911
30	145	72,5	4,2	4,8	4,53	0,0042	0,0048	0,00453	40,60	0,00967
31	150	75	5,98	7,5	6,76	0,00598	0,0075	0,00676	42,00	0,02511
32	155	77,5	7,68	10,03	8,82	0,00768	0,01003	0,00882	43,40	0,03956
33	160	80	8,43	11,07	9,66	0,00843	0,01107	0,00966	44,80	0,04500
34	162	81	12,37	15,08	12,42	0,01237	0,01508	0,01242	45,36	0,05967
35	161	80,5	15,06	17,45	14	0,01506	0,01745	0,014	45,08	0,06489

### Lampiran G.7

**Tabel Memen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok MS50KG**

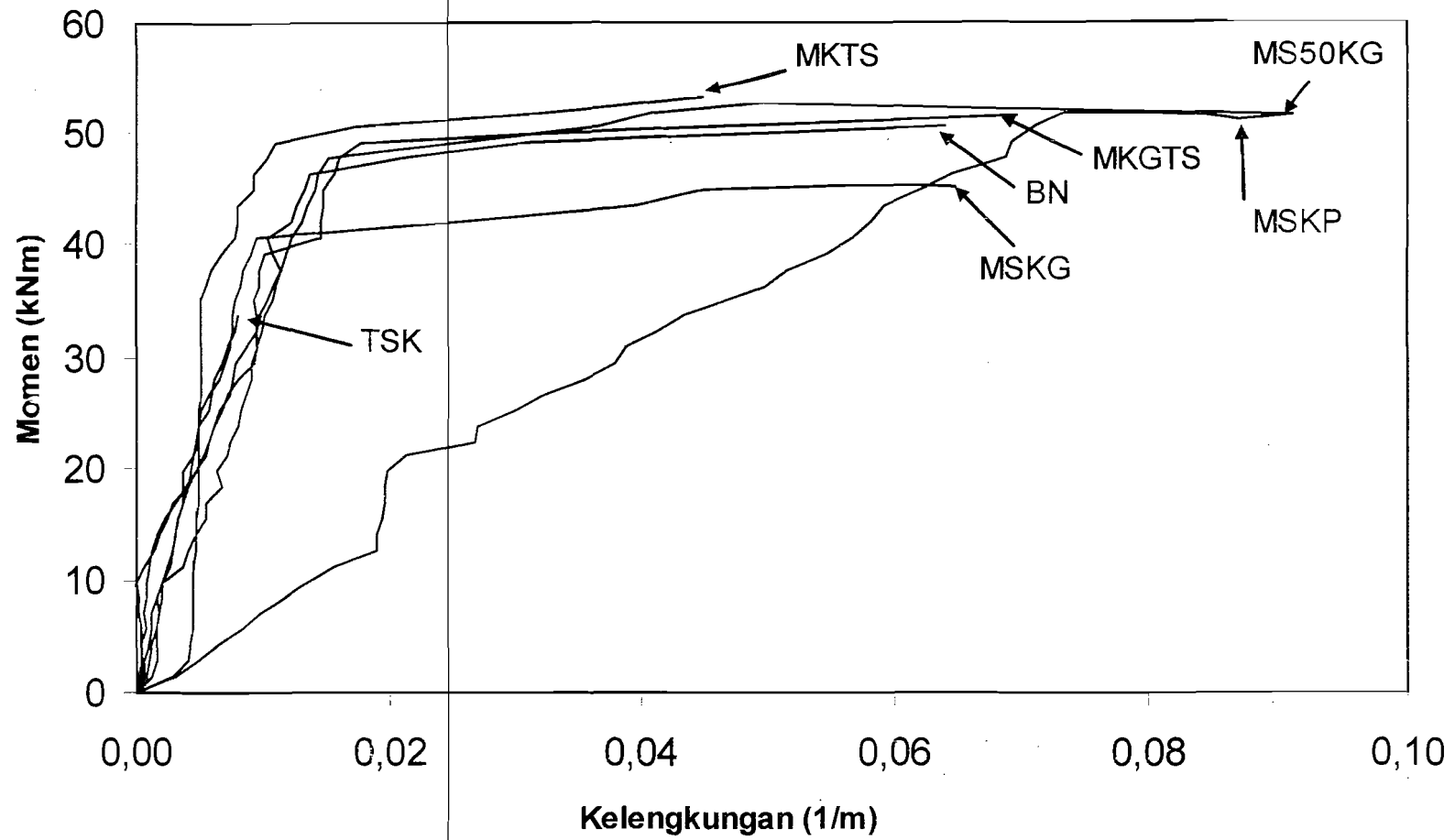
No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y <sub>i-1</sub> (m)	y <sub>i</sub> (m)	y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0
2	5	2,5	0	0,01	0,06	0	0,00001	0,00006	1,40	0,00044
3	10	5	0,01	0,07	0,17	0,00001	0,00007	0,00017	2,80	0,00044
4	15	7,5	0,05	0,13	0,25	0,00005	0,00013	0,00025	4,20	0,00044
5	20	10	0,12	0,22	0,35	0,00012	0,00022	0,00035	5,60	0,00033
6	25	12,5	0,22	0,36	0,48	0,00022	0,00036	0,00048	7,00	0,00022
7	30	15	0,28	0,42	0,55	0,00028	0,00042	0,00055	8,40	0,00011
8	35	17,5	0,4	0,53	0,66	0,0004	0,00053	0,00066	9,80	0,00000
9	40	20	0,48	0,66	0,78	0,00048	0,00066	0,00078	11,20	0,00067
10	45	22,5	0,63	0,86	0,96	0,00063	0,00086	0,00096	12,60	0,00144
11	50	25	0,76	1,02	1,11	0,00076	0,00102	0,00111	14,00	0,00189
12	55	27,5	0,9	1,2	1,27	0,0009	0,0012	0,00127	15,40	0,00256
13	60	30	1,06	1,39	1,45	0,00106	0,00139	0,00145	16,80	0,00300
14	65	32,5	1,28	1,68	1,71	0,00128	0,00168	0,00171	18,20	0,00411
15	70	35	1,44	1,87	1,87	0,00144	0,00187	0,00187	19,60	0,00478
16	75	37,5	1,6	2,08	2,07	0,0016	0,00208	0,00207	21,00	0,00544
17	80	40	1,74	2,24	2,22	0,00174	0,00224	0,00222	22,40	0,00578
18	85	42,5	1,87	2,4	2,37	0,00187	0,0024	0,00237	23,80	0,00622
19	90	45	2,05	2,61	2,56	0,00205	0,00261	0,00256	25,20	0,00678
20	95	47,5	2,21	2,82	2,75	0,00221	0,00282	0,00275	26,60	0,00756
21	100	50	2,37	2,99	2,91	0,00237	0,00299	0,00291	28,00	0,00778
22	105	52,5	2,54	3,19	3,12	0,00254	0,00319	0,00312	29,40	0,00800
23	110	55	2,77	3,46	3,35	0,00277	0,00346	0,00335	30,80	0,00889
24	115	57,5	2,94	3,67	3,54	0,00294	0,00367	0,00354	32,20	0,00956
25	120	60	3,08	3,83	3,7	0,00308	0,00383	0,0037	33,60	0,00978

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			Y <sub>i-1</sub> (m)	Y <sub>i</sub> (m)	Y <sub>i+1</sub> (m)	Momen kN-m	Φ 1/m
			LVDT 1	(m)	(m)					
26	125	62,5	3,24	4,03	3,88	0,00324	0,00403	0,00388	35,00	0,01044
27	130	65	3,37	4,19	4,03	0,00337	0,00419	0,00403	36,40	0,01089
28	135	67,5	3,53	4,39	4,22	0,00353	0,00439	0,00422	37,80	0,01144
29	140	70	3,67	4,56	4,38	0,00367	0,00456	0,00438	39,20	0,01189
30	145	72,5	3,94	4,88	4,71	0,00394	0,00488	0,00471	40,60	0,01233
31	150	75	4,05	5,02	4,81	0,00405	0,00502	0,00481	42,00	0,01311
32	155	77,5	4,2	5,21	4,99	0,0042	0,00521	0,00499	43,40	0,01367
33	160	80	4,32	5,36	5,12	0,00432	0,00536	0,00512	44,80	0,01422
34	165	82,5	4,48	5,54	5,3	0,00448	0,00554	0,0053	46,20	0,01444
35	170	85	4,66	5,77	5,51	0,00466	0,00577	0,00551	47,60	0,01522
36	175	87,5	4,84	6	6,71	0,00484	0,006	0,00671	49,00	0,02540
37	180	90	6,81	9,24	8,37	0,00681	0,00924	0,00837	50,40	0,03667
38	185	92,5	7,38	10,06	9,06	0,00738	0,01006	0,00906	51,80	0,04089
39	188	94	9,25	12,18	10,65	0,00925	0,01218	0,01065	52,64	0,04956
40	184	92	9,93	14,64	11,22	0,00993	0,01464	0,01122	51,52	0,09033



Gambar Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis





Gambar Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian

## Perhitungan Momen-Kelengkungan secara Teoritis

$$b = 150 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$d = 280 \text{ mm}$$

$$f_y = 359,556 \text{ MPa}$$

$$f_c' = 30,908 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{30,908} = 26129,633 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus rasio, } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{26129,633} = 7,654 \text{ MPa}$$

Jumlah tulangan tarik (n) = 3 buah, dengan diameter 16 mm

$$A_s = 603,186 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tarik (n) = 2 buah, dengan diameter 6 mm

$$A_s' = 56,549 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{603,186}{150.280} = 0,01436$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b.d} = \frac{56,549}{150.280} = 0,00135$$

### 1. Sebelum Retak

$$A = b.h + [(n-1).(A_s + A_s')]$$

$$150.300 + [(7,654 - 1).(603,186 + 56,549)] = 49389,9687 \text{ mm}^2$$

Statis Momen

$$y_a = \frac{[(b.h.b) + ((n-1).A_s.d) + ((n-1).A_s'.d')]}{[(b.h) + ((n-1).(A_s + A_s'))]}$$

$$= \frac{[(150.300.150) + ((7,654 - 1).603,186.280) + ((7,654 - 1).56,549.20)]}{[(300.150) + ((7,654).(603,186 + 56,549))]}$$

$$= 159,574 \text{ mm}$$

$$y_b = h - y_a$$

$$= 300 - 159,574$$

$$= 140,425 \text{ mm}$$

Momen Inersia (I)

I

=

$$\left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right) + \left( b \cdot h \cdot \left( y_a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot (n-1) \cdot (y_b - d')^2) + (A_s' \cdot (n-1) \cdot (y_a - d')^2) \right]$$

$$= \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 300^3 \right) + \left( 150 \cdot 300 \cdot \left( 159,574 - \frac{300}{2} \right)^2 \right) \right] + (603,186 \cdot (7,654 -$$

$$1) \cdot (140,425 - 20)^2) + (56,549 \cdot (7,654 - 1) \cdot (159,574 - 20)^2) -$$

$$= 407163261 \text{ mm}^4$$

Modulus retak (fr)

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 0,7 \sqrt{30,908} = 3,892 \text{ MPa}$$

$$M_{\text{retak}} = \frac{f_r \cdot I}{y_b} = \frac{3,892 \cdot 407163261}{140,425} = 11283783 \text{ Nmm} = 11,283783 \text{ kNm}$$

$$\phi_{\text{retak}} = \frac{f_r / E_c}{y_b} = \frac{3,892 / 26129,633}{140,425} = 1,0606 \cdot 10^{-6} / \text{mm} = 0,0010606 \text{ 1/m}$$

## 2. Setelah Retak Pada Saat Leleh Pertama

Dengan menganggap beban elastis, maka.

$$k = \sqrt{\left[ (\rho + \rho')^2 \cdot n^2 + 2 \cdot \left( \rho + \frac{\rho' \cdot d'}{d} \right) \cdot n \right] - (\rho + \rho') \cdot n}$$

$$= \sqrt{\left[ (0,01436 + 0,00135)^2 \cdot 7,654^2 + 2 \cdot \left( 0,01436 + \frac{(0,00135 \cdot 20)}{280} \right) \cdot 7,654 \right]}$$

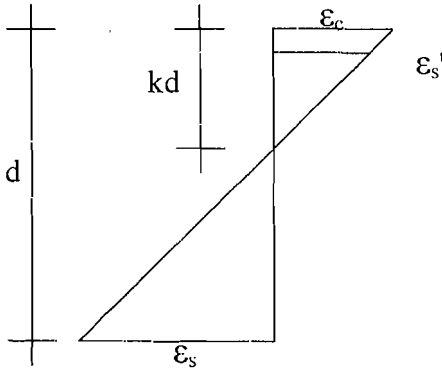
$$- (0,01436 + 0,00135) \cdot 7,654$$

$$= 0,365$$

Maka,  $kd = 0,365 \cdot 280 = 102,295 \text{ mm}$

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s} = \frac{359,556}{200000} = 0,001798$$

Dari diagram  
didapat:



$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \cdot \frac{kd}{d - kd} = 0,001798 \cdot \frac{102,295}{280 - 102,295} = 0,0010348$$

Jadi:

$$f_c = \varepsilon_c \cdot E_c = 0,0010348 \cdot 26129,633 = 27,041 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c \cdot \frac{kd - d'}{kd} = 0,0010348 \cdot \frac{102,295 - 20}{102,295} = 0,000832$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,000832 \cdot 200000 = 166,51 \text{ MPa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot b \cdot kd = \frac{1}{2} \cdot 27,041 \cdot 150 \cdot 102,295 = 207463,14 \text{ N} = 207,463 \text{ kN}$$

$$C_s' = A_s' \cdot f_s' = 56,549 \cdot 166,51 = 9415,9293 \text{ N} = 9,416 \text{ kN}$$

Jadi gaya tekan total yang bekerja pada kd dari serat atas adalah:

$$N_d = C_c + C_s' = 207,463 + 9,416 = 216,879 \text{ kN}$$

Jadi

$$J_d = d - (kd/3) = 280 - (102,295/3) = 245,902 \text{ mm}$$

Maka:

$$M_y = A_s \cdot f_y \cdot j_d = 603,186 \cdot 359,556 \cdot 245,902 = 53330920,3 \text{ Nmm} = 53,331 \text{ kNm}$$

$$\varphi_y = \frac{f_y/E_s}{d - kd} = \frac{359,556/200000}{280 - 102,295} = 1,0117 \cdot 10^{-5} 1/mm = 0,010116 1/m$$

### 3. Setelah leleh pada saat beban maksimum (ultimit)

Dianggap tulangan tekan telah leleh

$$a = \frac{f_y(A_s - A_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{359,556(603,186 - 56,549)}{0,85 \cdot 30,908 \cdot 150} = 49,875 mm$$

jadi

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{49,875}{0,85} = 58,676 mm$$

$$\varepsilon_s' = 0,003 \cdot \frac{c - d'}{c} = 0,003 \cdot \frac{58,676 - 20}{58,676} = 0,00197$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s' \cdot \frac{kd}{d - kd} = 0,00197 \cdot \frac{102,295}{280 - 102,295} = 0,001138$$

Karena  $f_y/E_s = 359,556/200000 = 0,001797$  berarti baja tulangan telah leleh

Jadi  $f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,00197 \cdot 200000 = 395,489 \text{ MPa} > f_y = 359,556 \text{ MPa}$

Maka:

$$M_u = \left[ (0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a) \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \right] + (A_s' \cdot f_s') \cdot (d - d')$$

$$= \left[ (0,85 \cdot 30,908 \cdot 150 \cdot 49,875) \cdot \left( 280 - \frac{49,875}{2} \right) \right] + ((56,549 \cdot 395,556) \cdot (280 - 20))$$

$$= 55418090,2 \text{ Nmm} = 55,418 \text{ kNm}$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0,001138}{58,676} = 1,94 \cdot 10^{-5} 1/mm = 0,0194 1/m$$

# **LAMPIRAN H**

**DATA DAN GRAFIK HUBUNGAN  
MOMEN-PANJANG RETAK DAN  
MOMEN-LEBAR RETAK**

---

Lampiran H.1

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok BN

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0	0				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80	0,02	0,02		3,20
40	20,0	11,20			1,8	11,40
45	22,5	12,60	0,03	0,04	1,8	11,40
50	25,0	14,00			1,8	12,70
55	27,5	15,40	0,04	0,08	4	12,70
60	30,0	16,80			6,1	20,70
65	32,5	18,20	0,05	0,1	6,9	20,70
70	35,0	19,60			6,9	20,70
75	37,5	21,00	0,06	0,12	6,9	23,90
80	40,0	22,40			15,7	23,90
85	42,5	23,80	0,1	0,14	21	23,90
90	45,0	25,20			21	26,00
95	47,5	26,60	0,12	0,14	21	26,00
100	50,0	28,00			21	26,00
105	52,5	29,40	0,12	0,16	21	26,00
110	55,0	30,80			21	26,00
115	57,5	32,20	0,14	0,17	21	26,00
120	60,0	33,60			21	26,00
125	62,5	35,00	0,2	0,17	21	26,00
130	65,0	36,40			21	27,40
135	67,5	37,80	0,2	0,2	21	27,40
140	70,0	39,20			21	27,40
145	72,5	40,60	0,22	0,2	21	27,40
150	75,0	42,00			21	27,40
155	77,5	43,40	0,24	0,22	21	27,40

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
160	80,0	44,80			21	27,40
165	82,5	46,20	0,25	0,24	21	27,40
170	85,0	47,60			21	27,40
175	87,5	49,00	0,32	2	21	27,40
180	90,0	50,40	0,32	2	26,9	27,40



## Lampiran H.2

**Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok TSK**

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0	0				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20	0,02	0,02	7,6	
20	10,0	5,60			13,9	22
25	12,5	7,00	0,04	0,04	16,2	22,7
30	15,0	8,40			16,2	26
35	17,5	9,80	0,06	0,04	16,2	30,4
40	20,0	11,20			16,2	30,4
45	22,5	12,60	0,08	0,08	16,2	30,4
50	25,0	14,00			16,2	30,4
55	27,5	15,40	0,1	0,12	16,2	30,4
60	30,0	16,80			16,2	30,4
65	32,5	18,20	0,12	0,13	16,2	30,4
70	35,0	19,60			16,2	30,4
75	37,5	21,00	0,14	0,14	16,2	30,4
80	40,0	22,40			16,2	30,4
85	42,5	23,80	0,16	0,2	16,2	30,4
90	45,0	25,20			16,2	30,4
95	47,5	26,60	0,2	0,22	16,2	30,4
100	50,0	28,00			16,2	30,4
105	52,5	29,40	0,3	0,22	16,2	30,4
110	55,0	30,80			16,2	30,4
115	57,5	32,20	0,3	0,22	16,2	30,4
120	60,0	33,60	4	0,22	16,2	30,4

Lampiran H.3

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok MKTS

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20				
45	22,5	12,60	0,02		7,5	
50	25,0	14,00			7,5	
55	27,5	15,40	0,04		7,5	11,75
60	30,0	16,80			7,5	15
65	32,5	18,20	0,06	0,04	12,5	15
70	35,0	19,60			12,5	18,125
75	37,5	21,00	0,2	0,04	12,5	18,125
80	40,0	22,40			13,75	23,75
85	42,5	23,80	0,2	0,1	13,75	23,75
90	45,0	25,20			13,75	23,75
95	47,5	26,60	0,22	0,24	13,75	25
100	50,0	28,00			13,75	28,125
105	52,5	29,40	0,26	0,26	13,75	28,125
110	55,0	30,80			13,75	28,125
115	57,5	32,20	0,27	0,26	13,75	28,125
120	60,0	33,60			13,75	30,875
125	62,5	35,00	0,3	0,28	13,75	30,875
130	65,0	36,40			13,75	30,875
135	67,5	37,80	0,32	0,3	13,75	30,875
140	70,0	39,20			17,5	31,875
145	72,5	40,60	0,4	0,32	17,5	31,875
150	75,0	42,00			17,5	31,875
155	77,5	43,40	0,42	0,34	17,5	33,125
160	80,0	44,80			18,75	33,125

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
165	82,5	46,20	0,44	0,4	20	33,125
170	85,0	47,60			20	33,125
175	87,5	49,00	0,5	0,64	22,5	33,125
180	90,0	50,40			22,5	33,125
185	92,5	51,80	1	2,2	22,5	33,125
190	95,0	53,20			22,5	33,125

Lampiran H.4

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok MKGTS

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0	0				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20				
45	22,5	12,60	0,02			
50	25,0	14,00				10
55	27,5	15,40	0,02		11	15,125
60	30,0	16,80			14,875	15,125
65	32,5	18,20	0,02	0,02	14,875	15,125
70	35,0	19,60			14,875	16,625
75	37,5	21,00	0,12	0,02	14,875	16,625
80	40,0	22,40			15,75	16,625
85	42,5	23,80	0,16	0,02	15,75	16,625
90	45,0	25,20			15,75	16,625
95	47,5	26,60	0,2	0,1	15,75	16,625
100	50,0	28,00			15,75	16,625
105	52,5	29,40	0,24	0,2	15,75	16,625
110	55,0	30,80			15,75	16,625
115	57,5	32,20	0,3	0,24	15,75	16,625
120	60,0	33,60			15,75	16,625
125	62,5	35,00	0,36	0,3	15,75	16,625
130	65,0	36,40			16,875	16,625
135	67,5	37,80	0,42	0,4	17,75	16,625
140	70,0	39,20			17,75	16,625
145	72,5	40,60	0,48	0,46	17,75	16,625
150	75,0	42,00			17,75	16,625
155	77,5	43,40	0,5	0,6	17,75	16,625

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
160	80,0	44,80			17,75	16,625
165	82,5	46,20	0,6	0,64	18,879	16,625
170	85,0	47,60			18,879	16,625
175	87,5	49,00	0,7	1,44	18,879	16,625
178	89,0	49,84			18,879	16,625
179	89,5	50,12	0,74	1,54	18,879	16,625
180	90,0	50,40	1,6	1,64	18,879	16,625
184	92,0	51,52	1,7	1,84	18,879	16,625

Lampiran H.5

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok MSKP

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0	0				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20				
45	22,5	12,60	0,02		8,75	
50	25,0	14,00			8,75	
55	27,5	15,40	0,04	0,03	8,75	17,5
60	30,0	16,80			8,75	19,375
65	32,5	18,20	0,06	0,04	8,75	19,375
70	35,0	19,60			8,75	21,25
75	37,5	21,00	0,08	0,04	8,75	21,25
80	40,0	22,40			13,75	21,25
85	42,5	23,80	0,08	0,1	13,75	21,25
90	45,0	25,20			13,75	21,25
95	47,5	26,60	0,12	0,12	13,75	24,375
100	50,0	28,00			13,75	24,375
105	52,5	29,40	0,16	0,14	13,75	24,375
110	55,0	30,80			13,75	24,375
115	57,5	32,20	0,14	0,08	13,75	24,375
120	60,0	33,60			13,75	24,375
125	62,5	35,00	0,14	0,12	13,75	24,375
130	65,0	36,40			13,75	26,875
135	67,5	37,80	0,15	0,12	13,75	26,875
140	70,0	39,20			13,75	26,875
145	72,5	40,60	0,16	0,14	13,75	26,875
150	75,0	42,00			13,75	26,875
155	77,5	43,40	0,18	0,14	13,75	26,875
160	80,0	44,80			13,75	26,875

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
165	82,5	46,20	0,2	0,15	13,75	26,875
170	85,0	47,60			13,75	26,875
175	87,5	49,00	0,22	0,2	13,75	29,375
180	90,0	50,40			13,75	29,375
185	92,5	51,80	0,7	0,26	13,75	32,5
185	92,5	51,80	1,7		13,75	32,5
185	92,5	51,80	2,7	0,28	13,75	32,5
184	92,0	51,52	3,7	0,32	13,75	32,5
182	91,0	50,96	4,7	0,34	13,75	32,5
184	92,0	51,52	5,7	0,4	13,75	32,5

Lampiran H.6

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok MSKG

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80		0,02	5,250	6,250
40	20,0	11,20			5,250	12,250
45	22,5	12,60	0,04	0,004	17,375	12,250
50	25,0	14,00			21,500	17,875
55	27,5	15,40	0,14	0,12	21,500	21,750
60	30,0	16,80			23,875	21,750
65	32,5	18,20	0,22	0,2	23,875	21,750
70	35,0	19,60			23,875	21,750
75	37,5	21,00	0,22	0,2	23,875	23,125
80	40,0	22,40			23,875	23,125
85	42,5	23,80	0,22	0,24	23,875	24,500
90	45,0	25,20			23,875	24,500
95	47,5	26,60	0,24	0,25	25,250	24,500
100	50,0	28,00			25,250	24,500
105	52,5	29,40	0,28	0,34	25,250	24,500
110	55,0	30,80			25,250	24,500
115	57,5	32,20	0,36	0,34	25,250	25,500
120	60,0	33,60			25,250	25,500
125	62,5	35,00	0,38	0,38	25,250	25,500
130	65,0	36,40			25,250	25,500
135	67,5	37,80	0,44	0,4	25,250	25,500
140	70,0	39,20			25,250	25,500
145	72,5	40,60	0,46	0,4	25,250	25,500
150	75,0	42,00			33,125	25,500



Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
155	77,5	43,40	0,5	2,5	33,125	25,500
160	80,0	44,80			3,400	25,500
162	81,0	45,36	0,5	4,2	3,400	25,500
161	80,5	45,08			3,400	25,500

Lampiran H.7

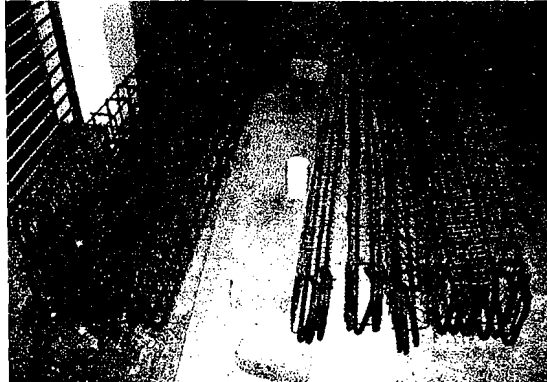
Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak  
Pada Balok MS50KG

Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20	0,02		1,375	
45	22,5	12,60			8	7,875
50	25,0	14,00	0,02		10	10,5
55	27,5	15,40			10	14,625
60	30,0	16,80	0,025		14,25	14,625
65	32,5	18,20			14,25	14,625
70	35,0	19,60	0,03	0,01	17,375	22,75
75	37,5	21,00			17,375	22,75
80	40,0	22,40	0,04	0,03	17,375	22,75
85	42,5	23,80			17,375	22,75
90	45,0	25,20	0,1	0,06	18,875	22,75
95	47,5	26,60			18,875	22,75
100	50,0	28,00	0,1	0,06	18,875	22,75
105	52,5	29,40			18,875	22,75
110	55,0	30,80	0,1	0,06	18,875	22,75
115	57,5	32,20			18,875	22,75
120	60,0	33,60	0,12	0,1	18,875	22,75
125	62,5	35,00			18,875	22,75
130	65,0	36,40	0,14	0,16	18,875	22,75
135	67,5	37,80			18,875	22,75
140	70,0	39,20	0,18	0,2	18,875	22,75
145	72,5	40,60			18,875	22,75
150	75,0	42,00	0,2	0,22	18,875	22,75
155	77,5	43,40			18,875	22,75
160	80,0	44,80	0,22	0,24	18,875	22,75

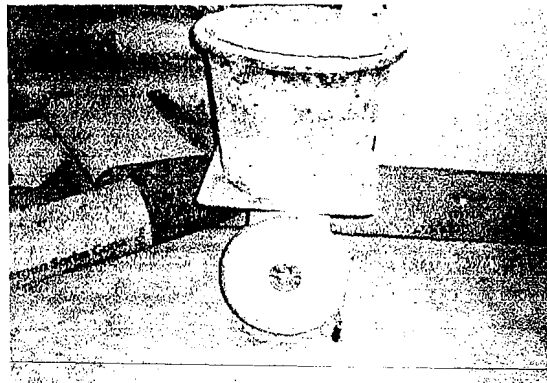
Beban (P) KN	Beban (1/2P) KN	Momen (M) KNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
165	82,5	46,20			23,125	22,75
170	85,0	47,60	0,24	0,26	23,125	22,75
175	87,5	49,00			23,125	22,75
180	90,0	50,40	2,6	0,26	23,125	22,75
185	92,5	51,80			23,125	22,75
188	94,0	52,64	3,6	0,5	23,125	22,75
184	92,0	51,52	4	0,7	23,125	22,75



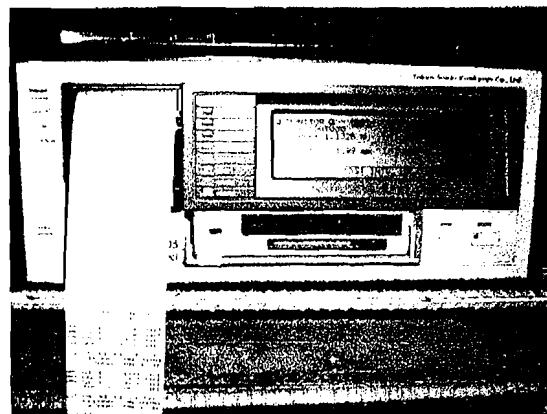
Agregat, Semen dan Air



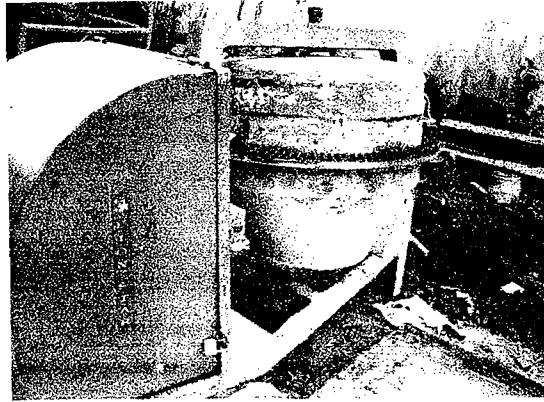
Rangkaian Tulangan dan *Wiremesh*



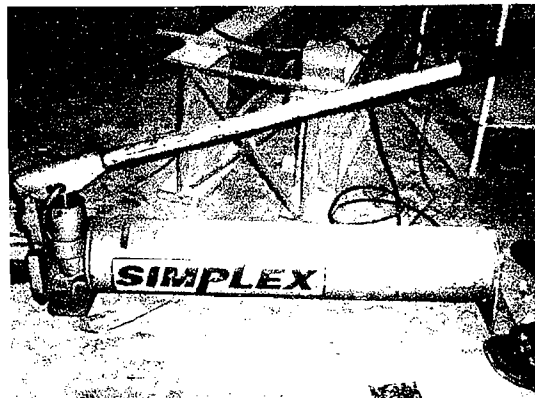
Timbangan



*Data Logger*



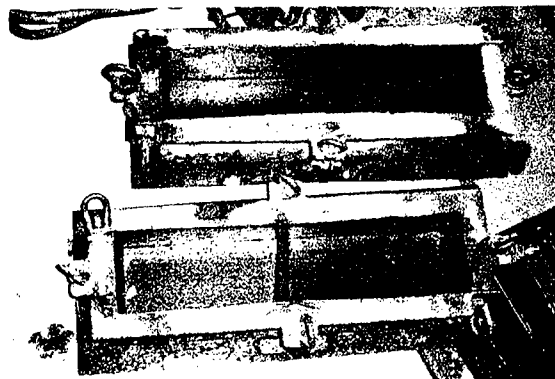
Molen



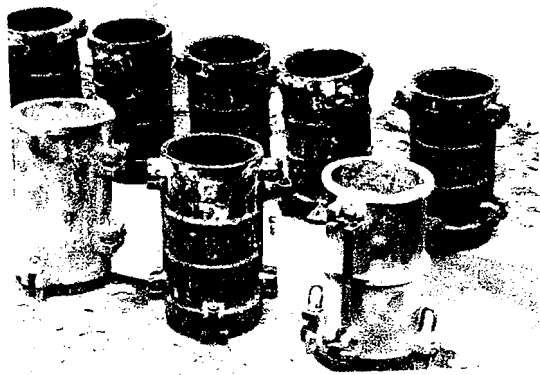
*Hydraulic Jack*



Bekisting Balok



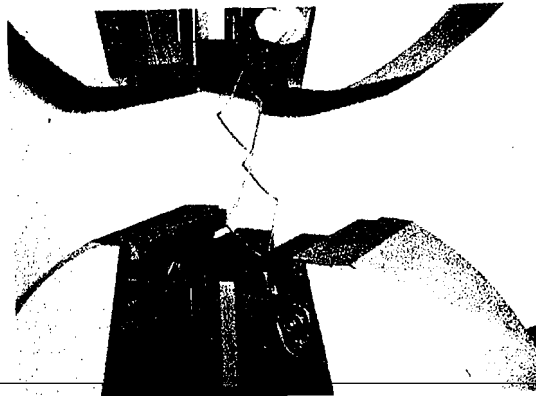
Cetakan Balok Geser



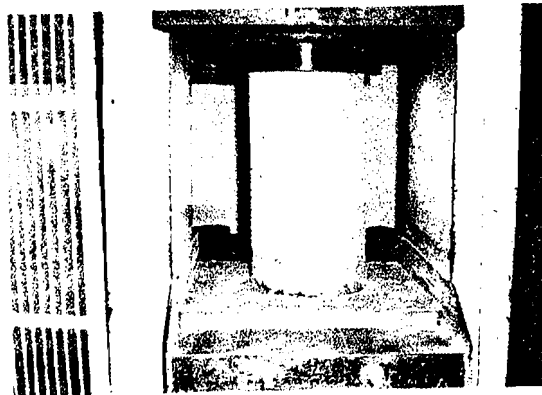
Cetakan Silinder



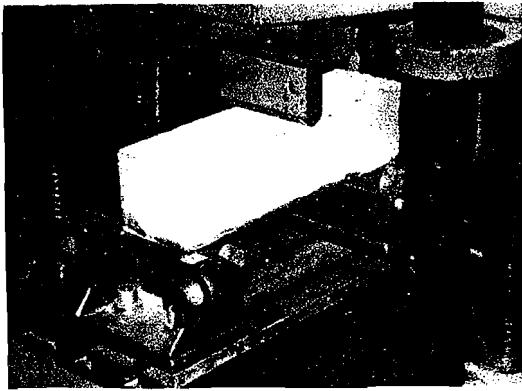
Pengujian *Slump*



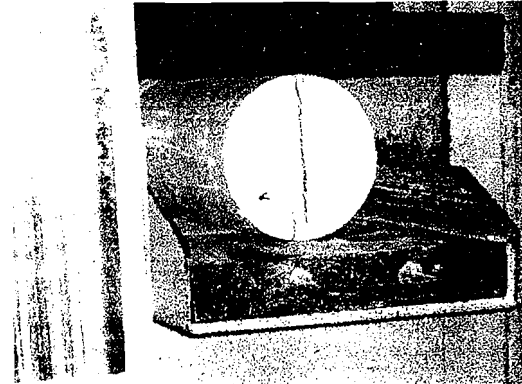
Pengujian Kuat Tarik Kawat



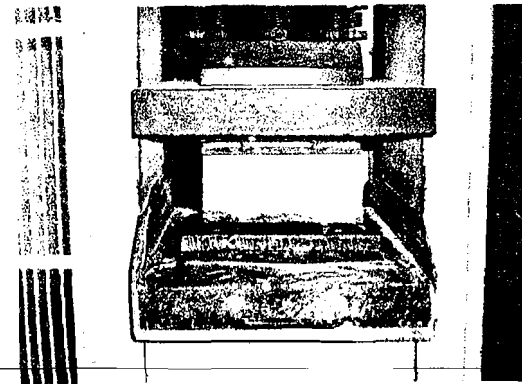
Pengujian Kuat Desak



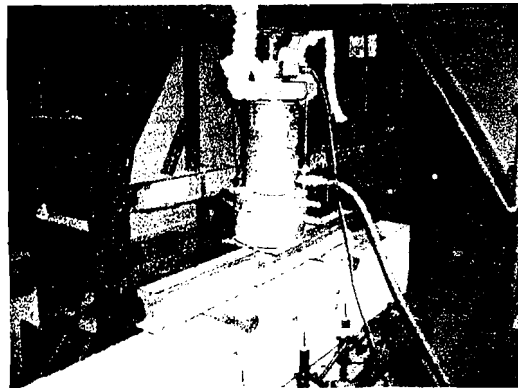
Pengujian Kuat Lentur



Pengujian Kuat Tarik Belah



Pengujian Kuat Geser

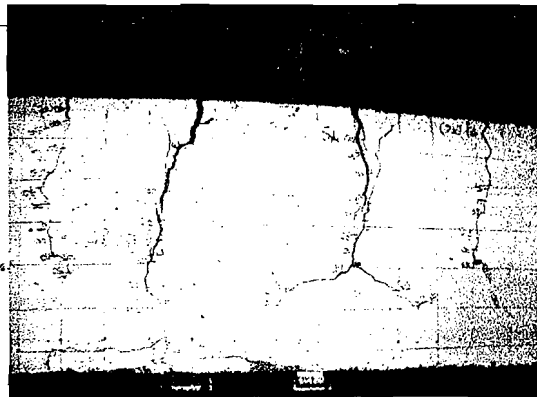


Pengujian Balok

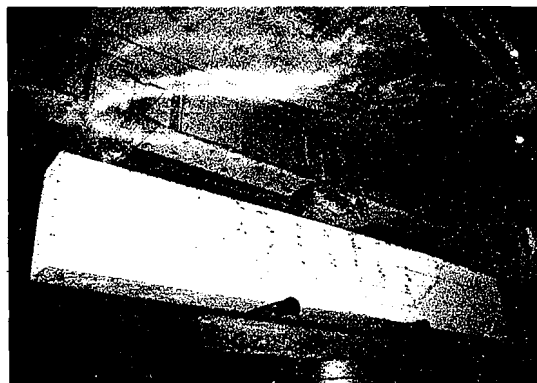
Balok MKGTS



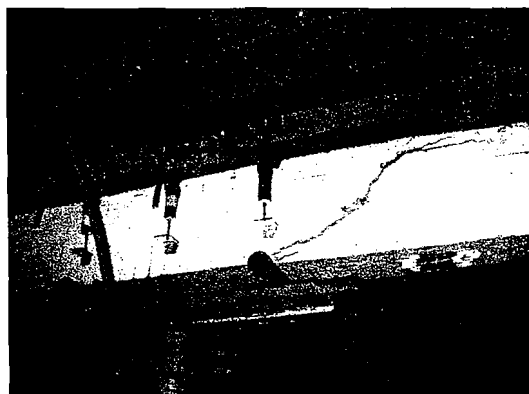
Balok MKTS



Balok Normal

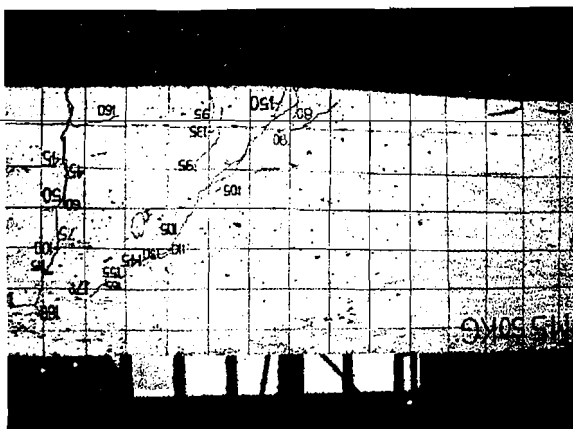


Balok TSK





Balok MS50KG



Balok MSKG



Balok MSKP

