

PERPUSTAKAAN FTSP UII
 HADIAN/SELLI
 TGL. TERIMA : 15 Februari 2007
 NO. JUDUL : 00297
 NO. INV. : 020002197001
 NO. INDIK. :

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENEMPATAN KAWAT STRIMIN DIAMOND
 DUA LAPIS TERHADAP PERILAKU LENTUR DAN GESER
 PADA BALOK BETON BERTULANG**



1
 653 5072
 Wrie
 P
 1



Oleh:

Nama : HAQUL WICAKSONO

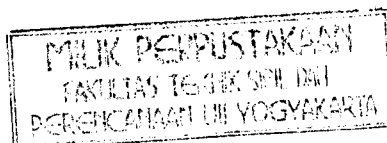
No. Mhs : 00 511 189

Nama : ANTON YUDI PRANOTO

No. Mhs : 00 511 197

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

2006



Handwritten notes and signatures in the bottom right corner.

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENEMPATAN KAWAT STRIMIN DIAMOND DUA LAPIS
TERHADAP PERILAKU LENTUR DAN GESER PADA BALOK BETON
BERTULANG**

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta

Oleh:

Nama : HAQUL WICAKSONO

No. Mhs : 00 511 189

Nama : ANTON YUDI PRANOTO

No. Mhs : 00 511 197

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

2006

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENEMPATAN KAWAT STRIMIN DIAMOND DUA LAPIS
TERHADAP PERILAKU LENTUR DAN GESER PADA BALOK BETON
BERTULANG**

Oleh:

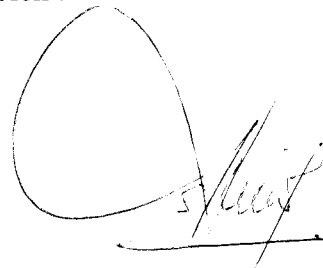
Nama : HAQUL WICAKSONO

No. Mhs : 00 511 189

Nama : ANTON YUDI PRANOTO

No. Mhs : 00 511 197

Telah diperiksa dan disetujui oleh :



DR. Ir. Ade Ilham, MT
Dosen Pembimbing

Tanggal : 26/06/06

KATA PENGANTAR



Assalamu'alikum Wr.Wb

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menempuh jenjang pendidikan Strata Satu (S-1). Penyusun melaksanakan Tugas Akhir ini selama satu tahun, dengan judul “PENGARUH PENEMPATAN KAWAT STRIMIN *DIAMOND* DUA LAPIS TERHADAP PERILAKU LENTUR DAN GESER PADA BALOK BETON BERTULANG”. Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP Universitas Islam Indonesia.

Maksud dan tujuan dari Tugas Akhir ini adalah Mempelajari perilaku lentur dan geser balok beton bertulang dengan memberikan kawat strimin di sekeliling inti balok. Selama melaksanakan penelitian Tugas Akhir dan penyusunan laporan Tugas Akhir, penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. DR. Edy Suandi Hamid, MM, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. DR. Ir. Ruzardi, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Ir. Faisol AM, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. DR. Ir. Ade Ilham, MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Ir. Fatkhurrohman Nursodik, MT, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran-saran dan pengarahan dalam Tugas Akhir ini.
6. Ir. Susastrawan, MS, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran-saran dan pengarahan dalam Tugas Akhir ini.
7. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE, selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
8. Prof. DR. Heri Morisco, selaku Kepala Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Gajah Mada beserta para karyawannya yang telah membantu dalam penelitian Tugas Akhir ini.
9. *Research Grant* TPSDP, yang sudah memberikan bantuan dana untuk penelitian kali ini.
10. Salam ta'zim dan bakti kami sampaikan kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta, beserta keluarga besar atas doa, kasih sayang, bimbingan, kesabaran serta dorongan semangat yang telah diberikan kepada kami selama ini.
11. Rekan-rekan tim peneliti, Hery, Indra Danang, Dayat, Bambang, Sigit, makasih bantuannya selama pengujian dan pengerjaan laporan.

Penyusun menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Dan akhirnya penyusun berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semuanya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Jogjakarta, Juni 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI	xii
ABSTRAKSI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Balok Beton Bertulang	5
2.2 Kawat Strimin.....	6
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1 Balok Beton Bertulang	8
3.2 Sifat-sifat Mekanika Beton.....	9
3.3 Analisa Lentur	12
3.4 Analisa Geser	15
3.4.1 Jenis – Jenis Kegagalan Balok Tanpa Tulangan Tarik.....	15
3.4.2 Gaya Geser yang Disumbangkan beton	20

3.4.3 Gaya Geser yang Disumbangkan Tulangan Geser.....	20
3.5 Kelengkungan pada Balok.....	22
3.6 Lendutan pada Balok.....	26
3.7 Daktilitas Balok.....	29
3.8 Kekakuan Balok	30
3.9 Momen –Kelengkungan Kondisi Retak	30
3.10 Kawat Strimin.....	31
BAB IV METODE PENELITIAN.....	33
4.1 Umum.....	33
4.2 Bahan dan Alat	33
4.2.1 Bahan.....	33
4.2.2 Alat.....	35
4.3 Perencanaan Benda Uji Balok.....	39
4.4 Pemodelan dan Prosedur Penelitian	41
4.4.1 Pemodelan	41
4.4.2 Prosedur Penelitian.....	45
4.5 Pelaksanaan Penelitian	46
4.5.1 Persiapan Bahan dan Alat.....	46
4.5.2 Pembuatan Benda Uji.....	46
4.5.3 Perawatan Benda Uji.....	47
4.6 Proses Pengujian.....	48
4.6.1 Pengujian KuatTarik Kawat Strimin	48
4.6.2 Pengujian KuatTarik Baja Tulangan	48
4.6.3 Pengujian Sifat Mekanis Beton	49
4.6.4 Pengujian Balok	49
4.6.5 Penyetelan Pembebanan pada Balok	50
4.7 Pengamatan	51
4.7.1 Pembebanan.....	51
4.7.2 Lendutan.....	51
4.7.3 Retak	45

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	52
5.1 Uji Material	52
5.1.1 Agregat Halus dan Kasar.....	52
5.1.2 Baja.....	53
5.1.3 Kawat Strimin.....	54
5.2 Slump.....	55
5.3 Uji Sifa -sifat Mekanik Beton.....	55
5.4 Uji Balok	55
5.7.1 Hubungan Beban-Lendutan.....	57
5.7.2 Hubungan Momen Dan Kelengkungan.....	65
5.7.3 Analisa balok Terhadap Kuat Lenturnya.....	72
5.7.6 Analisa Geser Balok.....	76
5.8.2 Pola Runtuh dan Retak pada Balok.....	82
5.8.3 Hubungan Panjang Retak Dengan Momen	86
5.8.4 Hubungan Lebar Retak Dengan momen	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	92
6.1 Kesimpulan	92
6.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Hasil pengujian Agregat.....	53
Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik baja.....	53
Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin.....	55
Tabel 5.4 Hasil pengujian beton.....	55
Tabel 5.5 Analisa data pembebanan balok.....	58
Tabel 5.6 Analisa data lendutan balok	58
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Kelengkungan teoritis.....	65
Tabel 5.8 Analisa kekakuan balok	73
Tabel 5.9 Analisa daktilitas balok	74
Tabel 5.10 Kapasitas momen	75
Tabel 5.11 Kapasitas geser retak miring pertama	77
Tabel 5.12 Momen retak miring pertama.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Uji desak.....	10
Gambar 3.2 Uji tarik belah.....	10
Gambar 3.3 Uji lentur.....	11
Gambar 3.4 Uji geser	12
Gambar 3.5 Penampang beton bertulang dengan diagram regangan dan tegangan (Dipohusodo, 1994).....	13
Gambar 3.6 Pengaruh a/d dan tebal balok terhadap perlawanan geser (Ferguson, 1986)	15
Gambar 3.7a Pola keretakan lentur.....	16
Gambar 3.7b Pola keretakan tarik diagonal	16
Gambar 3.8 Pola keretakan tekan geser	16
Gambar 3.9 Distribusi tegangan geser berbentuk parabolis pada penampanghomogen (Vis dan Gideon, 1993).....	18
Gambar 3.10 Retakan, trayektori tekan dan trayektori tekan.....	19
Gambar 3.11 Menentukan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan (Dipohusodo, 1994).....	21
Gambar 3.12 Kelengkungan balok (Park dan Paulay,1975).....	22
Gambar 3.13 Lendutan pada tampang memanjang balok	24
Gambar 3.14 Grafik momen kelengkungan (Park dan Paulay,1975)	25
Gambar 3.15 Lendutan pada balok	26
Gambar 3.16 Kurva Elastis (Singer dan Pytel, 1985)	26
Gambar 3.17 Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok.....	28
Gambar 3.18 Kawat jala heksagonal.....	26
Gambar 3.19 Kawat Jala Bentuk <i>Diamond</i>	32
Gambar 4.1 Penampang melintang balok uji	39
Gambar 4.2 Penampang memanjang balok uji.....	40
Gambar 4.3 Balok tanpa menggunakan sengkang	41
Gambar 4.4 Balok dengan menggunakan sengkang	42

Gambar 4.5	Balok dengan menggunakan kawat strimin.....	42
Gambar 4.6	Balok dengan menggunakan kawat strimin pada daerah geser .	43
Gambar 4.7	Balok dengan menggunakan kawat strimin dan sengkang.....	43
Gambar 4.8	Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan sengkang.....	44
Gambar 4.9	Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan 50 % sengkang.....	44
Gambar 4.11	Flow chart.....	45
Gambar 4.11	Penyetelan pembebanan balok	50
Gambar 5.1	Grafik defleksi balok MSK2P	59
Gambar 5.2	Grafik defleksi balok MSK2G	60
Gambar 5.3	Grafik defleksi balok MS50K2G	61
Gambar 5.4	Grafik defleksi balok MK2TS.....	62
Gambar 5.5	Grafik defleksi balok MK2GTS.....	63
Gambar 5.6	Grafik defleksi semua balok variasi	64
Gambar 5.7	Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis.....	66
Gambar 5.8	Grafik momen balok MSK2P.....	66
Gambar 5.9	Grafik momen balok MSK2G	67
Gambar 5.10	Grafik momen balok MS50K2G	68
Gambar 5.11	Grafik momen balok MK2TS.....	69
Gambar 5.12	Grafik momen balok MK2GTS.....	70
Gambar 5.13	Grafik momen semua balok variasi.....	70
Gambar 5.14	Pola kerusakan balok kontrol (BN).....	82
Gambar 5.15	Pola kerusakan balok kontrol tanpa sengkang (TSK).....	82
Gambar 5.16	Pola kerusakan balok MSK2P.....	83
Gambar 5.17	Pola kerusakan balok MSK2G	83
Gambar 5.18	Pola kerusakan balok MS50K2G	84
Gambar 5.19	Pola kerusakan balok MK2TS.....	84
Gambar 5.20	Pola kerusakan balok MK2GTS.....	85
Gambar 5.21	Grafik panjang retak lentur.....	86
Gambar 5.22	Grafik regresi panjang retak lentur.....	87

Gambar 5.23	Grafik panjang retak geser	87
Gambar 5.24	Grafik regresi panjang retak geser.....	88
Gambar 5.25	Grafik lebar retak lentur	89
Gambar 5.26	Grafik regresi momen-lebar retak lentur	90
Gambar 5.27	Grafik momen-lebar retak geser	90
Gambar 5.28	Grafik regresi lebar retak geser	91

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran A : Kartu peserta tugas akhir.
2. Lampiran B : Data hasil pemeriksaan bahan.
3. Lampiran C : Hitungan perencanaan adukan beton metode DOE.
4. Lampiran D : Data hasil pengujian sifat mekanis beton.
5. Lampiran E : Data hasil perhitungan momen kapasitas balok.
6. Lampiran F : Data hubungan beban-lendutan pengujian.
7. Lampiran G : Data hubungan momen-kelengkungan pengujian dan teoritis
8. Lampiran H : Data hubungan momen-panjang retak dan momen-lebar retak.
6. Lampiran I : Foto-foto penelitian

DAFTAR NOTASI

ACI	: American Concrete Institute
DOE	: Department of Environment
f'_c	: Kuat desak beton (MPa)
f'_{cr}	: Kuat desak beton rata-rata (MPa)
f_t	: Kuat tarik belah beton (MPa)
f_l	: Kuat lentur beton (MPa)
f_{sh}	: Kuat geser beton (MPa)
MHB	: Modulus Halus Butir
ϕ	: Diameter benda uji
M_n	: Momen nominal (kNm)
β_1	: konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton
φ	: kelengkungan (rad/m)
D	: Daktilitas balok
BN	: Balok kontrol normal
TSK	: Balok kontrol tanpa sengkang
MSK2P	: Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang (MSK2P)
MSK2G	: Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang pada daerah geser (MSK2G)
MS50K2G	: Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang 50 % daerah geser (MS50K2G)
MK2TS	: Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin 2 lapis sebagai pengganti sengkang (MK2TS)
MK2TS	: Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis pada daerah geser (MK2GTS)

ABSTRAKSI

Kawat strimin merupakan jaringan kawat baja atau baja tulangan yang saling silang. Dalam penelitian ini, kawat strimin dari kawat baja dipakai arah diagonal sebanyak dua lapis sebagai pengganti sengkang untuk perkuatan daerah geser pada balok, dimensi balok 192cm x 30cm x 15cm. Tujuannya untuk memperkecil resiko retak akibat gaya geser, yang cenderung terjadi tiba-tiba. Selain itu, sifat dan perilaku balok menjadi lebih baik. Parameter dalam pengujian balok, selain kuat desak, lentur, geser, tarik dan tarik belah beton. Desain campuran beton dengan metode Departement of Environment dengan SK SNI T-15-1991-03 (1991). Hasil dari pengujian ini mendapatkan perbedaan nilai kekuatan lentur maupun geser, kekakuan, daktilitas antara sengkang dengan tulangan baja dan kawat strimin serta pola retak. Variasi serta pola perletakan kawat strimin pada balok yaitu BN, TSK, MSK2P, MSK2G, MS50K2G, MK2TS, MK2GTS.

Hasil dari pengujian didapat balok MK2GTS memiliki daktilitas paling besar, persentase terhadap BN sebesar 149%, untuk MSK2P, MSK2G, MS50K2G, MK2TS adalah 45%, 172%, 59%, 77%. Pada beban retak miring pertama, balok MSK2G beban retak miringnya paling besar, yaitu 150% dari balok BN, sedangkan balok MSK2P, MS50K2G, MK2TS memiliki nilai yang sama, sebesar 116,67% dari balok BN. Pada balok yang menggunakan sengkang ataupun kawat strimin di sepanjang badan balok, saat terjadi keruntuhan kawat strimin belum efektif menahan beban, karena pada saat kekuatan beton sudah maksimum, kawat strimin baru bekerja menahan gaya tarik.

Pada pembebanan balok, kawat strimin yang dipasang pada daerah lentur mempunyai pengaruh yang cukup besar dengan prosentase terhadap balok normal, pada model MSK2P atau model balok dengan sengkang dan strimin dua lapis penuh pada seluruh daerah geser dan daerah lentur, sebesar 17,5% lebih tinggi terhadap prosentase balok normal, sedang pada balok model sengkang penuh dan memakai kawat strimin dua lapis hanya pada daerah geser atau balok MSK2G dengan prosentase pertambahannya sebesar 4,5%, dikarenakan hanya pada daerah geser namun tetap memberikan kontribusi pada kekuatan lentur, balok MK2TS yaitu balok tanpa sengkang tetapi memakai strimin dua lapis penuh pada daerah geser dan daerah lentur, mempunyai nilai yang sama dengan balok normal, sehingga kawat strimin dan sengkang mempunyai kekuatan yang sama dalam menahan beban dalam penelitian ini, sedangkan balok yang menggunakan strimin dua lapis hanya pada daerah geser dan pengurangan sengkang pada daerah geser sebanyak 50% dari balok normal atau disebut balok MS50K2G, terjadi pengurangan sebesar 4,6%, sama halnya dengan MK2GTS atau balok memakai strimin dua lapis pada daerah geser dan tanpa pemakaian sengkang baik daerah geser maupun daerah lentur mengalami penurunan sebesar 6,8% terhadap prosentase balok normal, sedang lentur terkecil terjadi pada balok yang tidak menggunakan sengkang maupun strimin yaitu 32% lebih kecil terhadap prosentase balok normal.

Kata kunci: *strimin, variasi, retak*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik sipil, berbagai cara dan metodologi digunakan para ilmuwan melakukan penelitian sebagai upaya meningkatkan sifat-sifat mekanis beton (Nilson, A.H, 1985). Pada konsep perencanaan balok beton bertulang untuk menahan gaya tarik di daerah geser digunakan sengkang berupa baja tulangan yang dibentuk mengelilingi tulangan memanjang pada badan balok. Konsep seperti ini untuk masa yang akan datang ada kemungkinan akan berubah seiring dengan hasil riset oleh ilmuwan di bidang teknik sipil, perubahan ini bisa berupa inovasi pengganti sengkang ataupun divariasikan dengan sengkang.

Di Indonesia jenis kawat strimin mudah didapatkan dan harganya relative murah, sehingga banyak masyarakat menggunakan untuk berbagai keperluan, contoh yang paling banyak dijumpai adalah penggunaannya untuk ayakan kerikil dan kandang ayam, akan tetapi dalam penggunaannya dalam penelitian bidang teknik sipil masih sangat jarang, penelitian yang pernah ada sebatas penggunaan tulangan baja diameter 3 mm sebagai pengganti sengkang yang dirangkai dengan cara dilas (wiremesh), karena harga baja yang relatif mahal maka sebagai alternatif bisa digunakan kawat strimin.

Penggunaan strimin bertujuan untuk mengurangi tingkat keruntuhan pada balok, kawat ini dipasang di luar tulangan sengkang dengan cara dibalut kemudian diikat pada titik pertemuan dengan tulangan. Hasil dari penelitian Abdullah (1999), menunjukkan bahwa jika pada beton yang jumlah tulangan gesernya sedikit/kurang tetapi diberi penguat berupa selubung (*jacket*) yang terbuat dari kawat jala pada bagian luarnya, kekuatan kolom tersebut akan meningkat, dan yang paling penting adalah daktilitasnya juga meningkat.

Dalam penelitian ini kawat strimin akan digunakan sebagai pengganti sebagian atau seluruh peran tulangan sengkang baik pada daerah geser maupun lentur. Kawat strimin diselimutkan pada tulangan pokok sebanyak 2 lapis. Pemberian kawat strimin pada balok diperkirakan akan menambah sifat daktail balok, karena kawat-kawat yang diberikan di sekeliling badan balok akan turut berfungsi menahan beban yang bekerja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut ini :

“Bagaimana pengaruh variasi penggunaan kawat *strimin* terhadap perilaku balok beton pada daerah lentur dan geser serta bagaimana pola kerusakan retak yang dapat terjadi akibat pembebanan pada balok beton tersebut”.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditentukan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Mempelajari perilaku lentur dan geser balok beton bertulang dengan memberikan kawat strimin di sekeliling inti balok.
2. Mempelajari perambatan retak lentur dan geser balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin sebanyak 2 lapis
3. Mempelajari mekanisme runtuh balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin.
4. Menentukan seberapa besar pengaruh pemberian kawat strimin terhadap kekuatan balok beton bertulang.
5. Memperoleh hubungan beban-difleksi (*load-deflection*) balok.
6. Memperoleh hubungan momen-kelengkungan balok.
7. Mengetahui tingkat kekakuan dan daktalitas balok sebelum dan sesudah pemberian kawat strimin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dengan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh beban lentur pada balok dengan beberapa variasi pemasangan kawat strimin 2 lapis.
2. Mengetahui pola kerusakan yang terjadi karena beban yang bekerja.
3. Sebagai bahan alternatif dalam pengganti sengkang atau dengan kombinasi sengkang.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini agar terarah sesuai dengan tujuan penelitian sehingga perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Balok dibuat 7 model, yaitu 2 balok kontrol dan 5 balok variasi sengkang dan kawat strimin 2 lapis
2. Penampang balok adalah panjang 1920 cm, lebar 150 cm, dan tinggi 300 cm.
3. 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
4. Mutu bahan yang direncanakan dalam penelitian ini adalah beton dengan $f'_c = 30,47$ MPa dan dipakai baja tulangan mutu BJTP 24 dengan diameter 6 mm digunakan untuk tulangan desak sedangkan diameter 16 mm digunakan untuk tulangan tarik serta dipakai sengkang diameter 6 mm,
5. Kawat strimin yang digunakan berbentuk wajik berdiameter 1,57 mm.
6. Bahan yang dipakai pada campuran beton yaitu agregat halus mempergunakan pasir dari kali Boyong, Sleman dengan diameter maksimum 4,8 mm, dan agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari Clereng, Kulon Progo dengan diameter maksimum 20 mm

7. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium BKT Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
8. Komposisi campuran beton menggunakan metode DOE (*Departement Of Environment*) dan pembuatan campuran beton berpedoman pada SK-SNI T28-1991-03
9. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement* type I merk Nusantara berat 50 kg.
10. Nilai *slump* direncanakan 12 cm
12. Sampel untuk pengujian balok dilakukan setelah 28 hari, dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta dan pengujian terhadap silinder.
13. Sampel untuk pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari dilaksanakan di Laboratorium Struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Balok Beton Bertulang

Kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda pada keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa peringatan terlebih dahulu. Pada balok yang mengalami keruntuhan lentur, retak terjadi pada sepertiga tengah bentang dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama, sedangkan retak yang terjadi pada pada runtuh karena geser retak-retak yang terjadi ditengah bentang, berarah vertical, yang berupa retak halus, dan diakibatkan oleh lentur dan di ikuti oleh rusaknya lekatan antar baja tulangan beton di sekitarnya pada perlekatan (Edward G Nawy, 1990).

Perilaku geser tidak sama untuk setiap struktur. Dalam usaha untuk mengetahui perilaku geser pada struktur beton bertulang, pemahaman perilaku geser pada struktur yang bermaterial homogen, isotropic, dan linear sangat diperlukan. Dengan sedikit modifikasi, pendekatan berdasarkan asumsi tersebut dapat diterapkan guna memberikan gambaran yang cukup baik terhadap formasi retak dan kekuatan geser beton bertulang (Wahyudi dan Rahim, 1997).

Retak akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami ratk lentur dinamakan sebagai retak geser badan (Dipohusodo, 1994).

Kerusakan pada struktur beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser . Lentur pada beton ditahan oleh tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser pada beton umumnya ditahan oleh tulangan geser yang biasanya berupa sengkang. Tulangan geser yang terlalu sedikit jumlahnya akan meleleh segera setelah terbentuknya retak miring, dan kemudian balok runtuh. Jika jumlah tulangan geser terlalu banyak, balok kuat terhadap geser dan berperilaku daktail

serta akan terjadi keruntuhan lentur sebelum tulangan geser leleh (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986).

Menurut Dipohusodo (1994), perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihan atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser.

Menurut SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.4.5, untuk komponen struktur yang dibebani oleh gaya tarik aksial yang cukup besar, tulangan geser harus direncanakan untuk memikul geser total yang terjadi.

PBI 1971 N.I-2 Bab 8 Sub 8.17, tulangan geser lentur terdiri sengkang-sengkang rapat atau lilitan spiral dengan jarak lilitan yang kecil, disertai dengan tulangan-tulangan memanjang.

2.3. Kawat Strimin

Ferosemen sebagai bahan alternatif untuk selubung penguat kolom adalah sangat mungkin. Dengan memasang selubung ferosemen yang hanya diperkuat oleh dua lapis jaringan kawat, kekuatan, kekakuan, dan daktilitas kolom meningkat secara signifikan (Abdullah, 1999). Sifat mekanika ferosemen sangat tergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan daripada kawat jala dan baja tulangan.

Teknik inovatif menggunakan suatu jaringan kawat baja sebagai pengganti sengkang. Bentuk jaringan adalah *preplaced* untuk penyusupan campuran beton untuk menghasilkan suatu gabungan dengan kuat lentur mendekati sepuluh kali beton konvensional. Penggunaan beton ferosemen meliputi lantai jembatan kekuatan tinggi, struktur tahan gempa, aplikasi militer dan lain-lain (Hackman, Dunham, 1991).

Ferosemen merupakan struktur balok yang menggunakan serat baja dan campuran pasta semen. Ferosemen berbeda dengan beton bertulang normal sebab menggunakan serat baja sebagai penguat balok dalam menggantikan sengkang. Serat baja di rangkai dengan cara dilas dan jarak tiap serat baja adalah 12,5 mm dan diameter serat baja 1.2mm (Ducatti, Lintz, Santos, 1995).

BAB III LANDASAN TEORI

Agar penelitian yang dilakukan tidak menyimpang maka diperlukan adanya suatu landasan teori supaya hasil yang dicapai dapat dipertanggungjawabkan dan diselesaikan dengan teori-teori dan rumus yang biasa digunakan.

3.1 Balok Beton Bertulang

Balok merupakan bagian struktural yang fungsi utamanya untuk memikul beban transversal, yang dapat berupa beban lentur, geser maupun torsi (Sudarmoko, 1996).

Menurut Nawy (1990), asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang balok adalah sebagai berikut :

1. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernouli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegaklurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut.

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 kelecakan/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 (Nilson, 1978).

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).

3.2 Sifat-Sifat Mekanik Beton

Beton merupakan suatu material yang menyerupai batu yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan koral atau agregat lainnya (Winter dan Nilson, 1993). Sifat-sifat mekanik beton terdiri dari 4 macam, yaitu: kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser beton.

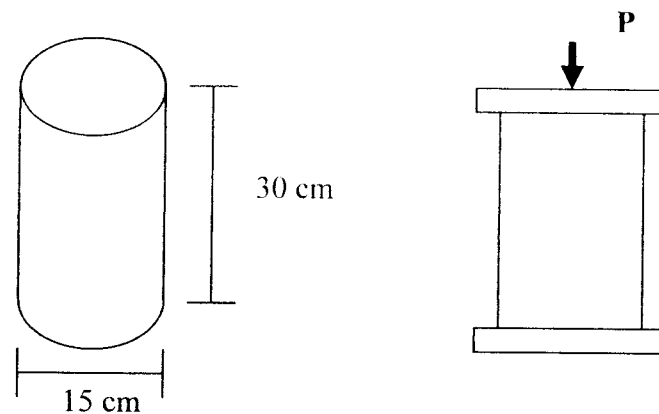
1. Kuat desak beton

Pada umumnya kegunaan yang terbaik dari beton adalah pemanfaatan pada kekuatan tekannya (Winter dan Nilson, 1993). Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Nilai kuat desak beton dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan: P = Beban maksimum (kN)

A = Luas penampang silinder, $\frac{1}{4}\pi.d^2$



Gambar 3.1 Uji desak

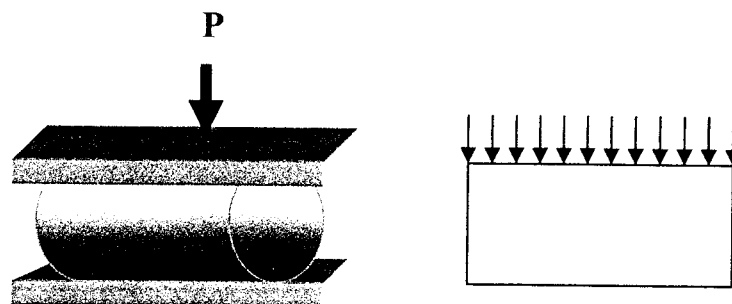
2. Kuat tarik belah beton

Nilai kuat tarik belah beton dihitung dengan persamaan berikut :

$$f_t = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad (3.2)$$

dengan : P = Beban maksimum (kN)
 D = Diameter benda uji (cm)
 L = Tinggi benda uji (cm)

Beton sangat mampu menahan tegangan tekan tetapi, hampir tidak dapat menahan tegangan tarik (Vis dan Kusuma, 1997). Istimawan (1994) mengatakan bahwa nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya.



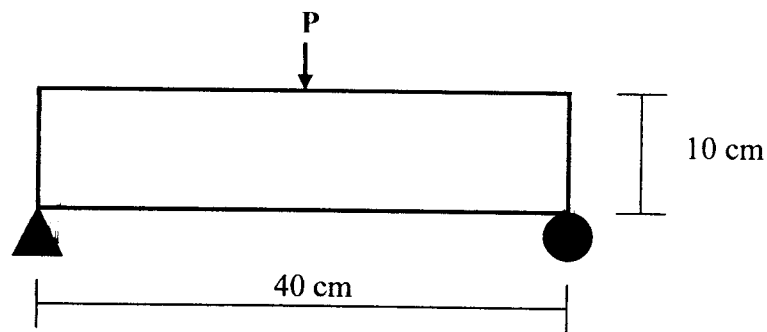
Gambar 3.2 Uji tarik belah

3. Kuat lentur beton

Nilai kuat lentur dihitung dengan persamaan berikut.

$$f_l = \frac{3.P.l}{2.b.h^2} \quad (3.3)$$

dengan: P = Beban maksimum (kg)
 l = Panjang antar tumpuan (cm)
 b = Lebar benda uji (cm)
 h = Tinggi benda uji (cm)



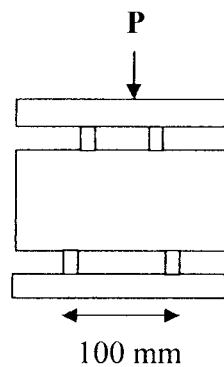
Gambar 3.3 Uji lentur

4. Kuat geser beton

Gaya geser yang terjadi akibat beban P pada balok dapat dieliminir oleh adanya penambahan tulangan geser, namun demikian beton juga ikut serta dalam menahan gaya geser yang terjadi, meskipun kecil beton masih memberikan kontribusi terhadap besarnya nilai kuat geser balok. Nilai kuat geser dihitung dengan persamaan berikut.

$$f_{sh} = \frac{P}{2.L} \quad (3.4)$$

dengan : P = Beban maksimum (kN)
 L = Luas penampang, lebar x tinggi (cm²)



Gambar 3.4 Uji geser

3.3 Analisa Lentur

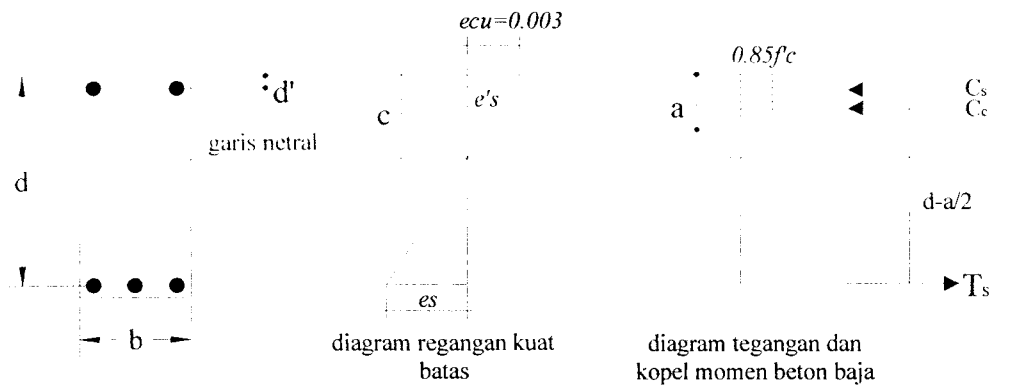
Kuat lentur nominal atau momen tahanan penampang balok adalah kapasitas tegangan-tegangan dalam yang membentuk sebuah momen kopel sebagai perlawanan dari momen lentur luar yang timbul sebagai akibat beban luar (Dipohusodo, 1994). Tegangan didefinisikan sebagai intensitas gaya per satuan luas permukaannya tempatnya bekerja (Timoschenko dan Gere, 1961).

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 $A_s - A_{s2}$,
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 3.5 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.5 Penampang beton bertulang dengan diagram regangan dan tegangan (Dipohusodo, 1994)

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

- Apabila $\epsilon'_s \geq \epsilon_y$ dan $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, maka baja tekan dan tarik leleh.
- Apabila $\epsilon'_s < \epsilon_y < \epsilon_s$, maka baja tarik telah leleh, tetapi baja tekan belum leleh.

dengan : ϵ'_s = regangan baja tekan

ϵ_s = regangan baja tarik

ϵ_y = regangan leleh baja

1. Kondisi Seimbang

Menganggap semua tulangan telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari Gambar 3.5 dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85 f'_c a b \quad (3.5)$$

$$C_s = A'_s f_y \quad (3.6)$$

$$T_s = A_s f_y \quad (3.7)$$

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 balok tegangan

b = lebar balok

A_s = luas baja tarik

A'_s = luas baja desak

Persamaan keseimbangan didapat :

$$C_c + C_s = T_s \quad (3.8)$$

$$0,85 f'_c a b + A'_s f_y = A_s f_y \quad (3.9)$$

sehingga dari persamaan 2.5 didapat nilai a :

$$a = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{0,85 f'_c b} \quad (3.10)$$

sehingga momen nominal untuk tulangan rangkap dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s f_y (d - d') \quad (3.11)$$

dengan : M_n = momen nominal (kNm)

d = tinggi efektif balok (m)

d' = jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan (m)

2. Kondisi patah tesak

Apabila $\epsilon_s' < \epsilon_y < \epsilon_s$, baja tekan belum leleh maka dicari nilai adalah dari persamaan keseimbangan dan diagram tegangan pada Gambar 3.5 sehingga didapat nilai a :

$$(0,85 f'_c \beta_1 b) c^2 + (600 A'_s - A_s f_s) c - (600 \cdot 0,85 d A'_s) = 0 \quad (3.12)$$

nilai dari tegangan baja tekan dicari dengan persamaan :

$$f_s' = \epsilon_s' E_s = 0,003 \left\{ (a - \beta_1 d) / a \right\} E_s \quad (3.13)$$

dengan : f_s' = tegangan baja tekan

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi kelas kuat beton

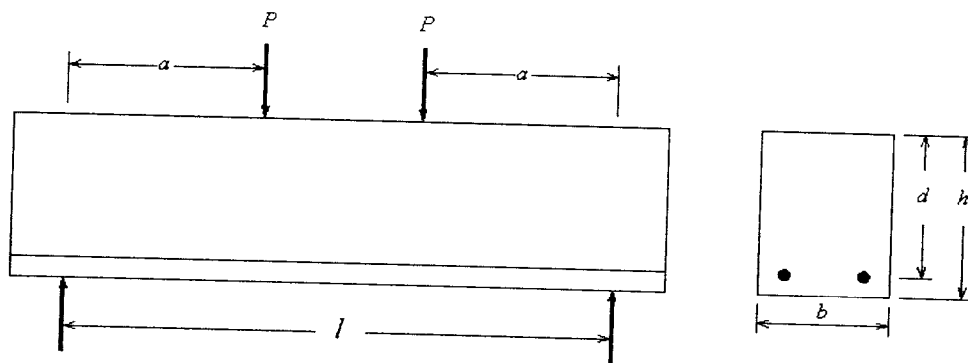
maka momen nominal dapat dicari dengan persamaan :

$$M_n = 0,85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s f_s' (d - d') \quad (3.14)$$

3.4 Analisa Geser

3.4.1 Jenis-jenis kegagalan balok tanpa penulangan tarik diagonal

Pada daerah yang mengalami momen besar, retak yang terjadi dapat disebut retak lentur. Pada daerah yang gesernya besar, akibat tarik diagonal dapat terjadi retak miring sebagai kelanjutan dari retak lentur, dan disebut retak geser lentur (Nawy, 1990).



Gambar 3.6 Pengaruh a/d dan tebal balok terhadap perlawanan geser

Berdasarkan nilai a/d (kelangsingan balok) dimana a dan d sebagaimana Gambar 3.6, cara keruntuhan geser balok dapat diketahui dari tipe-tipe keruntuhannya (Nawy, 1990):

1. Keruntuhan Tarik Diagonal

Keruntuhan ini dapat terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatannya. Perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang adalah menengah, yaitu bervariasi antara 2,5 dan 5,5 untuk beban terpusat. Balok demikian disebut balok dengan kelangsingan menengah. Retak-retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertikal, yang berupa retak halus dan diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti pula dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton di sekitarnya, pada perletakan. Untuk mencapai kestabilan satu retak diagonal ini melebar ke dalam retak tarik diagonal utama, dan diperlihatkan dalam gambar 3.7a dan 3.7b

3. Keruntuhan lentur

Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak akan terjadi terutama pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap tegangan utama. Retak ini disebabkan oleh tegangan geser yang sangat kecil dan tegangan lentur yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal. Dalam keadaan runtuh lentur demikian, beberapa retak halus berarah vertikal terjadi di daerah tengah bentang.

Dan apabila beban bertambah terus maka retak-retak di tengah bentang bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang. Jika balok tersebut under reinforced maka keruntuhan ini merupakan keruntuhan yang daktail yang ditandai dahulu dengan lelehnya tulangan tarik. Perilaku daktail ini memberikan peringatan terlebih dahulu kepada pemakai bangunan sebelum terjadinya kehancuran total balok (*collapse*).

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 distribusi tegangan geser elastis (v) yang berlaku adalah :

$$v = \frac{V.S}{b.I} \quad (3.15)$$

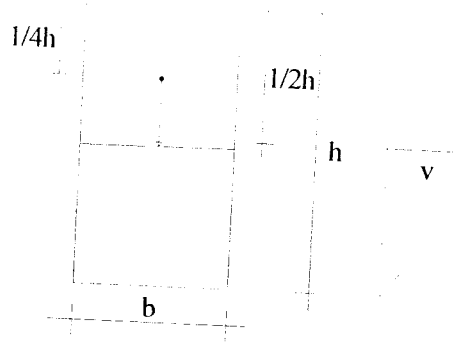
dengan, V = gaya lintang,

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

b = lebar balok,

I = momen inersia penampang.

Menurut Vis dan Gideon (1993) distribusi gaya geser dapat digambarkan sebagai bentuk parabolis pada penampang homogen. Seperti terlihat pada Gambar 3.9 berikut:

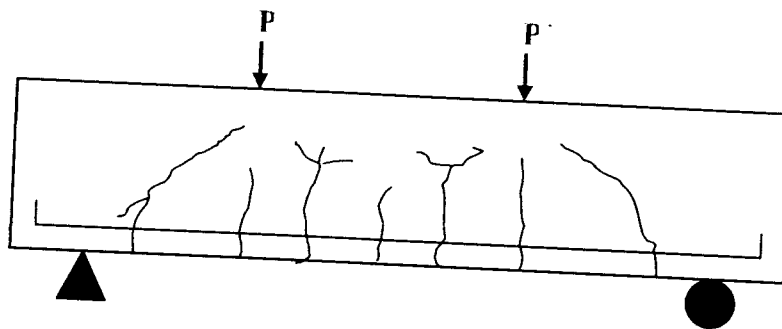


Gambar 3.9 Distribusi tegangan geser berbentuk parabolis pada penampang homogen (Vis dan Gideon, 1993)

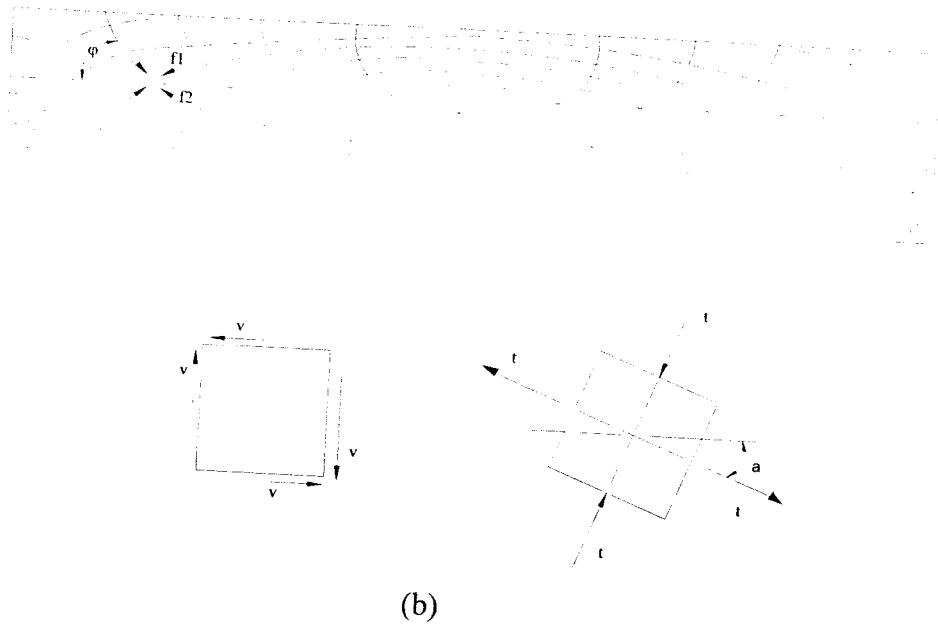
Untuk penampang persegi nilai maksimum tegangan geser :

$$v_{\text{maks}} = \frac{V.S}{b.I} = \frac{V.1/2.b.h.1/4.h}{b.1/12.b.h^3} = \frac{3V}{2.b.h} \quad (3.16)$$

Bila beban P ditingkatkan, maka pada daerah tarik akan terjadi retakan dan perilaku material pun tidak homogen lagi. Dalam balok terbentuk trayektori tekan dengan trayektori tarik. Secara garis besar retakan dapat dilihat pada Gambar 3.10 a, sedangkan trayektori tekan dengan trayektori tarik ditunjukkan pada Gambar 3.10 b.



(a)



Gambar 3.10 Retakan, trayektori tekan dan trayektori tarik

Pola retak yang terjadi setelah diberi beban seperti pada gambar 3.10a, arah rambatannya menuju titik beban dan cenderung membentuk sudut 45° . Hal ini terjadi karena adanya gaya tekan dan tarik pada balok yang arahnya berlawanan arah.

Adanya aksi kombinasi dari tegangan-tegangan geser (horisontal dan vertikal) dan tegangan lentur, maka pada sembarang titik dari suatu gelagar terdapat tegangan-tegangan miring tarik dan tekan, dimana harga terbesarnya membentuk sudut 90° antara satu dengan lainnya (Nilson dan Winter, 1983). Dari Gambar 3.10b dapat analisa tegangan-teganagn yang terjadi dengan Persamaan 3.16.

$$t = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{f^2}{4} + v^2\right)} \quad (3.17)$$

Dengan, t = tegangan utama

f = intensitas tegangan normal

v =intensitas tegangan geser

tegangan miring tersebut membuat sudut α dengan bidang datar, sehingga:

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2v}{f} \quad (3.18)$$

3.4.2 Gaya Geser yang Disumbangkan Beton

Ferguson (1981) menyebutkan pada beton mutu normal dengan atau tanpa sengkang, kekuatan geser nominal yang diberikan beton penampang persegi adalah sebesar:

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\sqrt{f_c}\right).b_w.d \quad (3.19)$$

3.4.3 Gaya Geser yang Disumbangkan Tulangan Geser

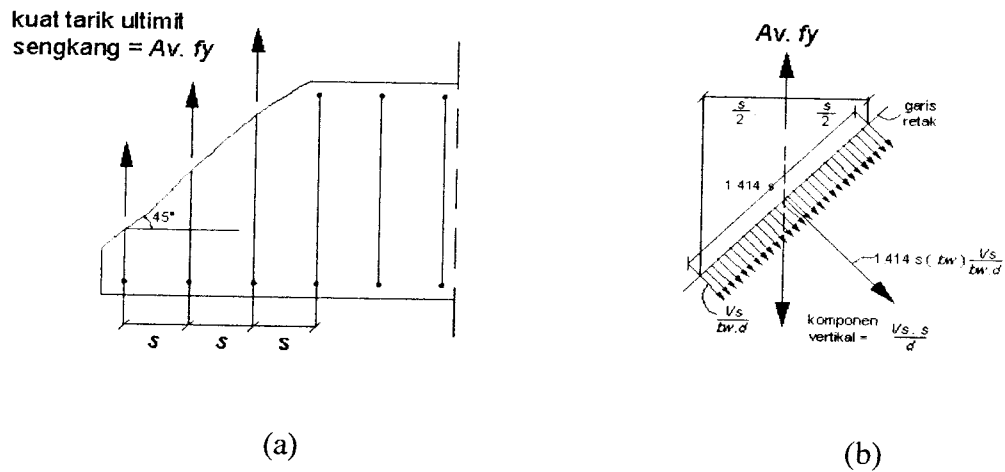
Pengasumsian bahwa semua sengkang leleh saat runtuh, gaya geser yang ditahan oleh sengkang adalah :

$$V_s = \frac{(A_v.f_y.d)}{s} \quad (3.20)$$

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

$$v = \frac{V_u}{\phi b_w d} = \frac{\phi(V_c + V_s)}{\phi b_w d} = \frac{V_c}{b_w d} + \frac{V_s}{b_w d} \quad (3.21)$$

Suku pertama ($V_c/b_w d$) 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.



Gambar 3.11 Menentukan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan (Dipohusodo, 1994)

Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan oleh tulangan geser adalah $1,414 sb_w$ (Gambar 3.11b) sehingga gaya tarik diagonal sebesar:

$$1,414 sb_w \left(\frac{V_s}{b_w \cdot d} \right) \quad (3.22)$$

Komponen vertikal gaya tarik diagonal :

$$0,707 (1,414 sb_w) \frac{V_s}{b_w \cdot d} = sb_w \frac{V_s}{b_w d} = \frac{V_s s}{d} \quad (3.23)$$

$A_v \cdot f_y$ adalah kapasitas tarik ultimit sengkang. Karena ke arah vertikal harus terjadi keseimbangan, maka :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3.24)$$

Jika $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$ sehingga Persamaan 3.25 akan menjadi:

$$\varphi = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.26)$$

Menganggap sebuah elemen kecil panjang dx dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.12, maka rotasi di antara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh:

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (3.27)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.28)$$

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

dari Gambar 3.9b, jika regangan dijumlahkan diperoleh :

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (3.29)$$

dengan :

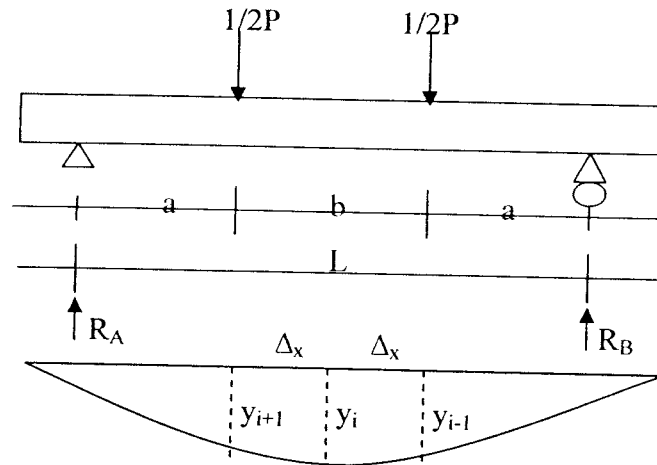
φ = kelengkungan

ε_c = regangan beton

ε_s = regangan baja

d = tinggi efektif penampang

Apabila pengujian dipasang *strain gauge* pada sisi atas balok dan pada sisi bawah balok sehingga nilai regangan dapat diketahui, maka Persamaan 3.26 dapat digunakan untuk menghitung kelengkungan hasil pengujian dengan lebih teliti.



Gambar 3.13 Lentutan pada tampang memanjang balok

Menurut Friedrich Bleich (1952), Persamaan 3.26 dengan mengacu pada Gambar 3.13 dapat diselesaikan secara numerik dengan pendekatan *central difference*, seperti Persamaan 3.28:

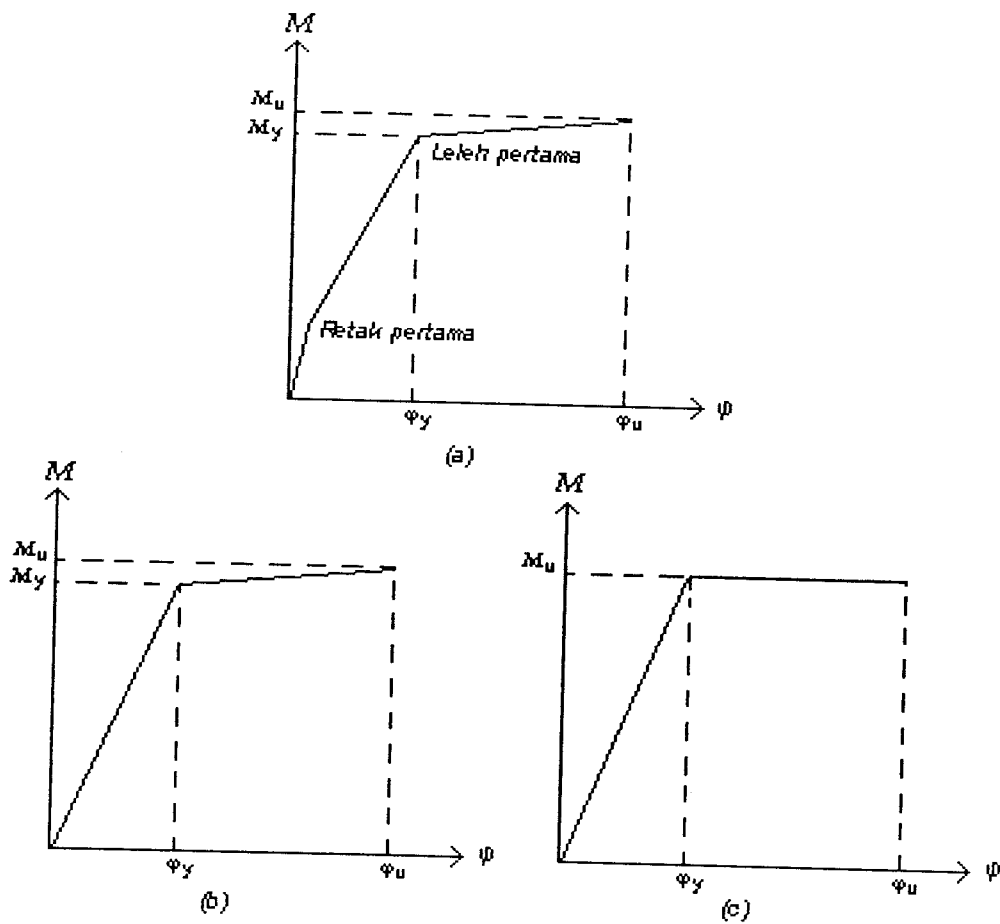
$$\varphi = \frac{y(i+1) - 2y_i + y(i-1)}{\Delta x^2} \quad (3.30)$$

Perhitungan lentutan pada penelitian kali ini menggunakan Persamaan 3.28, karena mudah digunakan dan murah akan tetapi kemungkinan simpangan kesalahan lebih besar jika jarak Δx semakin lebar. Dari Persamaan 3.30 menunjukkan bahwa kelengkungan φ adalah gradien dari regangan dari elemen seperti dalam Gambar 3.13. 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 3.30. Dua grafik yang diperoleh dari penghitungan balok bertulangan rangkap adalah lurus/linear diawal dan hubungan antara momen dan kelengkungan diberikan seperti pada Persamaan 3.31.

$$EI = \frac{M}{\varphi} \quad (3.31)$$

Dimana EI adalah faktor kekakuan dari penampang. Dengan peningkatan momen, retak pada beton akan mengurangi faktor kekakuan (EI) penampang, keadaan ini ditunjukkan pada Gambar 3.14a. 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 3.14b). Dengan menganggap peningkatan momen yang konstan ketika baja sudah leleh, maka dapat digambarkan hubungan $M-\phi$ seperti ditunjukkan pada (Gambar 3.14c).

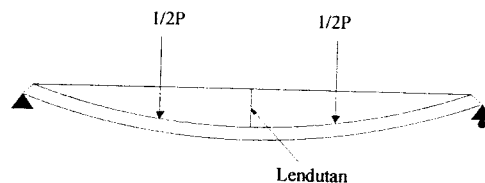


Gambar 3.14. Grafik momen kelengkungan (Park dan Paulay, 1975)

3.6. Lendutan pada Balok

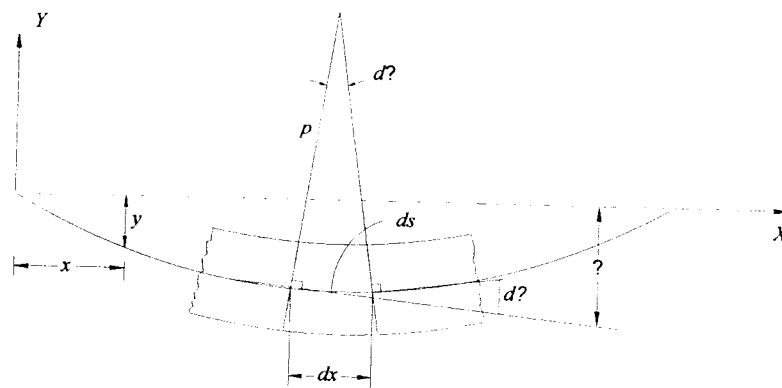
Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti akan mengalami defleksi atau lendutan seperti terlihat pada Gambar 3.15 meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila terlalu fleksibel. Dengan demikian tinjauan defleksi balok merupakan salah satu bagian dari proses desain (Spiegel dan Linbrunner, 1991).

Balok adalah salah satu diantara elemen-elemen struktur yang paling banyak dijumpai pada setiap struktur. Momen lentur timbul pada balok sebagai akibat adanya beban pada balok.



Gambar 3.15 Lendutan pada balok

Apabila balok dengan tumpuan sederhana mengalami dua beban transversal terpusat simetris, balok akan melentur atau mengalami defleksi seperti Gambar 3.15.



Gambar 3. 16 Kurva Elastis (Singer dan Pytel, 1985)

Dari Gambar 3.16 kemudian bisa dianalisa lendutan balok dengan metoda integrasi ganda.

$$ds = \rho d\theta \quad (3.31)$$

dimana ρ adalah jari-jari kurva sepanjang busur ds . Karena kurva elastis sangat datar, ds pada prakteknya sama dengan dx , sehingga:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \approx \frac{d\theta}{dx} \quad (3.32)$$

atau

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2}$$

Dari rumus lentur secara umum yaitu:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (3.33)$$

maka:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3.34)$$

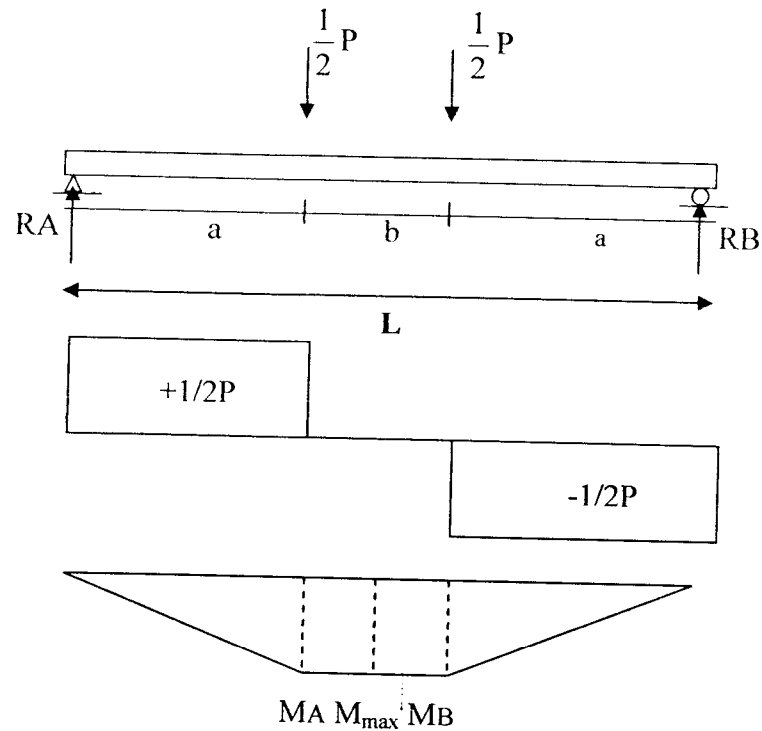
Dari Persamaan 3.34 kemudian diintegalkan, sehingga:

$$EI \frac{d y}{dx} = \int M dx + C_1 \quad (3.35)$$

Persamaan 3.33 adalah persamaan kemiringan yang menunjukkan kemiringan. M menyatakan momen yang dalam terminologi x dan C_1 adalah lonstanta kondisi pembebanan tertentu. Untuk mendapatkan persamaan lendutan maka Persamaan 3.35 dintegralkan, sehingga:

$$EI y = \int \int M dx dx + C_1 x + C_2 \quad (3.36)$$

Menurut Dipohusodo (1996), Lendutan komponen struktur merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung (bentang sederhana, menerus atau jepit), jenis beban (terpusat, merata) dan kekakuan lentur komponen (EI)



Gambar 3. 17 Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok

Gambar 3.17 menggambarkan momen yang terjadi dengan menganggap beban dari balok relatif kecil maka beban balok tidak diperhitungkan.

$$R_A = \frac{(1/2P \cdot (b+a)) + (1/2P \cdot a)}{a+b+a} \quad (3.37)$$

$$R_A = R_B \quad (3.38)$$

$$M_{\max} = M_A = M_B \quad (3.39)$$

$$M_A = \frac{1}{2}P \times a \quad (3.40)$$

Lendutan ditengah bentang akibat beban titik :

$$\Delta = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (3.41)$$

Lendutan pada jarak $x < a$ dari tepi balok:

$$\Delta = \frac{Px}{6EI} (3La - 3a^2 - x^2) \quad (3.42)$$

dimana:

$$E = 4700 \times \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \quad (3.43)$$

Momen Inersia dihitung dengan persamaan berikut:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (3.44)$$

3.7 Daktilitas balok

Dari data beban dan lendutan kemudian bisa dianalisa daktilitas dan kelengkungannya. Daktilitas pada hakekatnya adalah perbandingan antara simpangan maksimum dengan simpangan pada saat luluh awal pada komponen struktur yang ditinjau (Dipohusodo, 1991). Daktilitas dihitung menurut Persamaan 3.45 berikut:

$$D = \frac{\Phi u}{\Phi y} \quad (3.45)$$

Dengan, D = Daktilitas kelengkungan balok

Φu = Kelengkungan balok saat beban ultimit (1/m).

Φy = Kelengkungan balok saat beban luluh pertama (1/m)

Daktilitas pada balok dapat juga dicari dari lendutan yang terjadi yang merupakan simpangan saat lendutan ultimit dan pada saat leleh pertama, seperti dijabarkan dalam Persamaan 3.46 berikut

$$D = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (3.46)$$

Dengan, D = Daktilitas simpangan balok

Δu = Lendutan balok saat beban ultimit (1/m).

Δy = Lendutan balok saat beban luluh pertama (1/m)

3.8 Kekakuan Balok

Kekakuan adalah gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit deformasi, semakin kaku suatu elemen struktur maka semakin besar sudut kemiringannya (Dipohusodo, 1991). Kekakuan pada balok biasa ditinjau dari hubungan beban dengan lendutan.

$$k = \frac{Py}{\Delta y} \quad (3.47)$$

Dengan, k = Kekakuan balok

Py = Beban luluh pertama (kN).

Δy = Lendutan balok saat beban luluh pertama (mm)

3.9 Momen – Kelengkungan Kondisi Retak (M_{cr} , κ_{cr})

Menurut Wang dan Salmon (1992) momen retak untuk balok normal (M_{cr}) dimana terjadinya retak yang pertama kali dihitung menurut Persamaan 3.48:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t} \quad (3.48)$$

Dengan, 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, $I_g = \frac{1}{12} b h^3$.

Untuk mendapatkan kelengkungan saat kondisi retak untuk balok normal (κ_{cr}) digunakan pendekatan menurut persamaan (3.49) yang diberikan Warner dkk (1998).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah suatu rangkaian atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas suatu permasalahan yang diuraikan menurut suatu tahapan yang sistematis. Waktu dilaksanakan penelitian dimulai pada bulan Mei, pelaksanaannya selama 6 bulan. Pelaksanaan pengujian benda uji bertempat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia, dan Laboratorium Struktur Universitas Gadjah Mada Jogjakarta.

4.2 Bahan dan Alat

4.2.1 Bahan

1. Semen

Dipakai semen portland jenis I merk Gresik. Dalam penelitian ini semen dipakai sebagai bahan perekat adukan beton. Pemilihan semen jenis ini dilakukan karena paling umum dipakai sebagai perekat adukan beton dan tidak memerlukan persyaratan khusus. Penilaian kualitas semen jenis ini hanya dilakukan secara visual, dilihat dari kemasan 50 kg, kehalusan butiran, serta tidak terjadi penggumpalan.

2. 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.

3. Agregat

Dalam penelitian ini digunakan 2 macam agregat, yaitu:

a. Agregat halus (pasir)

Agregat halus yang digunakan adalah Pasir yang diambil dari Kali Boyong, Sleman, Yogyakarta 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 Celereng, Kulon Progo, Jogjakarta. Batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm. Agregat kasar yang digunakan adalah batuan pecah dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Memperhatikan ukuran penampang model balok dan jarak bukaan strimin 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 untuk menghilangkan kotoran yang terkandung di dalam butiran-butiran kerikil tersebut

4. Besi (baja 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 95 mm untuk daerah tumpuan/geser dan 140 mm untuk

daerah lapangan/lentur sesuai dengan hasil hitungan (lihat lampiran). 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 mengikat tulangan pokok dan tulangan sengkang, sehingga terbentuk rangka balok.

6. kawat strimin

Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa kawat strimin yang berbentuk diagonal segi empat diameter 1,52 mm, yang umum disebut kawat harmonika.

7. Multiplek

Digunakan untuk membuat bekisting balok. Dalam pembuatan sampel agar didapat ukuran yang tepat dan permukaan yang rata sesuai dengan apa yang telah direncanakan menggunakan cetakan dari multiplek dengan ketebalan 12 mm.

4.2.2 Alat

1. *Data Logger*

Alat yang digunakan untuk membaca besarnya lendutan yang terjadi dari *LVDT* dan besarnya beban yang diberikan pada balok dari *Load cell*.

2. *Load cell*

Alat ini berfungsi sebagai penerima beban pada balok, untuk mengetahui besar beban yang bekerja dan dihubungkan ke *Data Logger*, dengan kapasitas 60 ton.

3. LVDT (Longitudinal Vertikal Displacement Transducer)

Alat yang digunakan untuk mengukur besar lendutan yang terjadi dan dihubungkan ke *Data Logger*.

4. Hydraulic Jack

Alat ini digunakan sebagai alat untuk memberikan beban pada balok, dengan kapasitas 60 ton.

5. Mesin uji kuat desak

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.

6. Mesin uji kuat tarik

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

7. 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.

8. Hydraulic Jack

Alat ini digunakan sebagai alat untuk memberikan beban pada balok, dengan kapasitas 60 ton.

9. Saringan

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

10. Timbangan

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

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

11. Mistar dan Kaliper

Mistar digunakan untuk mengukur dimensi benda uji dan nilai *slump*, sedangkan kaliper untuk mengukur diameter tulangan benda uji.

12. 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 cc.

13. Kerucut Abrams

Kerucut ini digunakan untuk mengukur kelecakan 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.

menjamin agar *loading frame* tetap stabil, pelat dasar dibuat ke lantai beton dan kedua kolomnya dihubungkan oleh balok WF 450 x 200 x 9 x 14.

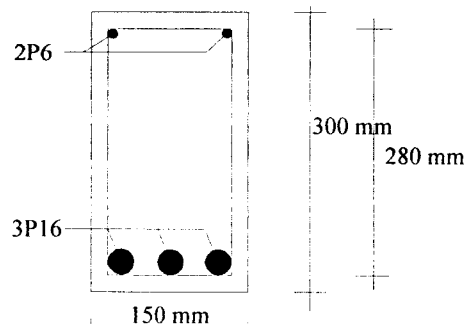
Diantara dua kolom portal, arah melintang terdapat dua balok profil WF450 x 200 x 9 x 14 dengan panjang 6 meter dan langsung dibaut ke lantai beton sehingga memperkuat kedudukan *loading frame*. Fungsi utama kedua balok ini yaitu untuk menempatkan model yang akan diuji.

4.3 Perencanaan benda uji

Perencanaan benda uji dibagi menjadi tiga kegiatan, sebaagai berikut :

1. Dimensi Penampang

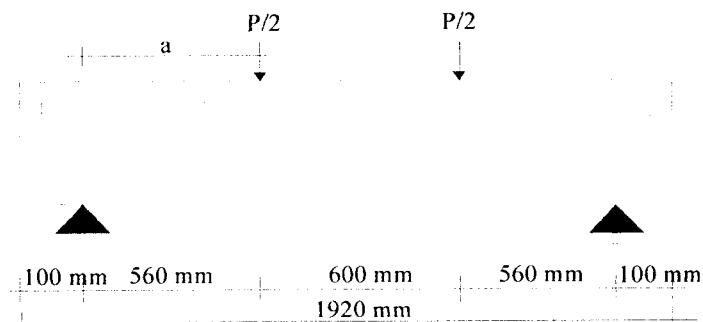
Dalam perencanaan balok ini dikehendaki gagal dalam geser. Jika ditentukan jarak titik beban terhadap dukungan, a sebesar 560 mm dan $\frac{a}{d} = 2$ dengan $d =$ tinggi balok, maka $d = \frac{560}{2} = 280$ mm seperti terlihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Penampang melintang balok uji

2. Panjang Bentang

Dalam perencanaan bentang balok dikehendaki gagal dalam lentur dan geser, dengan $a/d = 2$. 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 1920 mm seperti terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Penampang memanjang balok uji

3. Jumlah Tulangan

Dalam perencanaan balok menggunakan BJTP yang terdiri dari :

- Tulangan memanjang atas (tulangan tekan) memakai 2 BJTP 24 dengan diameter 6 mm.
- Tulangan memanjang bawah (tulangan tarik) memakai 3 BJTP 35 dengan diameter 16 mm.
- Tulangan sengkang P 6, dengan jarak sengkang antara dukungan dengan titik beban sebesar 95 mm sedangkan jarak sengkang antar titik beban memakai jarak 140 mm.

4. Kapasitas Momen

Dalam perencanaan balok menggunakan persamaan pada analisis lentur dan geser sebagai dasar perhitungan beban balok sehingga hasil/data kapasitas momen dihitung dengan persamaan 3.14, dan kapasitas geser dihitung dengan persamaan 3.22 yang kemudian diperoleh sebagai berikut :

$$M_n = 54.955 \text{ kNm}$$

$$P = 196,268 \text{ kN}$$

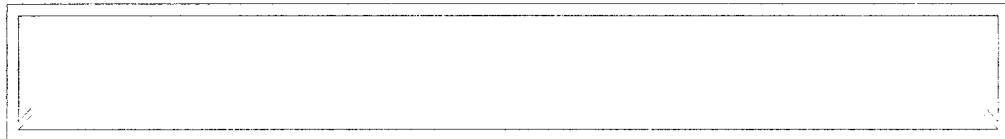
4.4 Pemodelan dan Prosedur Penelitian

4.4.1. Pemodelan

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

1. Balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang (TSK)

Variasi benda uji yang pertama dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur dan geser yang dapat ditahan oleh balok tulangan rangkap. Pertimbangan pengujian benda uji ini adalah sebagai kontrol terhadap benda uji lain yang menggunakan variasi tulangan geser, seperti terlihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Balok tanpa menggunakan sengkang

2. Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang (BN)

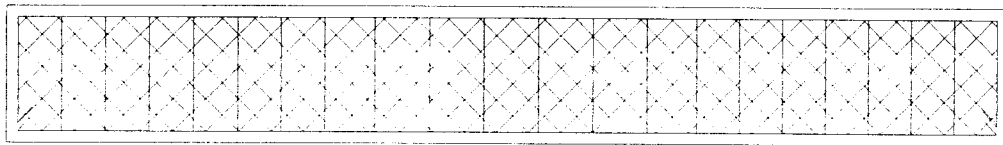
Benda uji ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan geser yang mampu ditahan oleh balok tersebut, selain itu juga menambah kekuatan balok, menahan kuat lentur dan menghambat proses peretakan, seperti terlihat pada Gambar 4.4. Benda uji ini juga berfungsi sebagai kontrol terhadap benda uji yang menggunakan dua lapis kawat strimin (jaringan kawat) yang dikombinasikan dengan sengkang.



Gambar 4.4 Balok dengan menggunakan sengkang

3. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang (MSK2P)

Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada Gambar 4.5 adalah untuk mengetahui besarnya beban yang masih dapat ditahan oleh balok, dan memperbaiki kelakuan/kekuatan balok dan meningkatkan tegangan geser yang terjadi setelah diberi kawat strimin.



Gambar 4.5. Balok dengan menggunakan *wire mesh* dan sengkang

4. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang pada daerah geser (MSK2G)

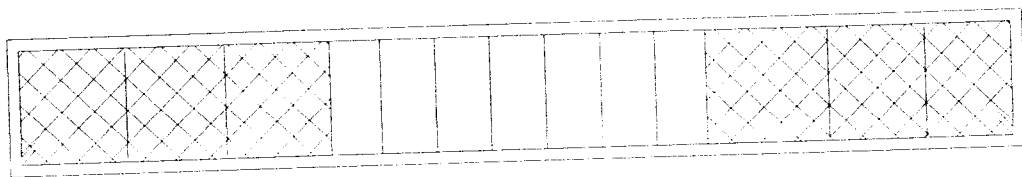
Tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini adalah penggunaan kawat strimin untuk menahan gaya geser pada daerah geser saja dan pada daerah lentur, tegangan lentur yang terjadi dapat ditahan tulangan rangkap balok. Penempatan kawat strimin pada daerah geser seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Balok dengan menggunakan kawat strimin pada daerah geser

5. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis dan sengkang 50 % daerah geser (MS50K2G)

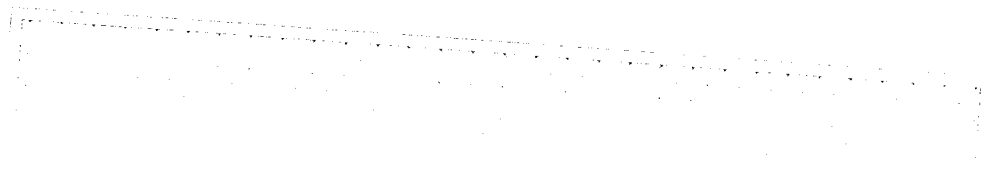
Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada Gambar 4.7 adalah untuk menahan gaya geser pada daerah geser dengan pemakaian kawat strimin geser dan mengurangi pemakaian sengkang sebanyak 50% pada daerah.



Gambar 4.7 Balok dengan menggunakan kawat strimin dan sengkang

6. Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin 2 lapis sebagai pengganti sengkang (MK2TS)

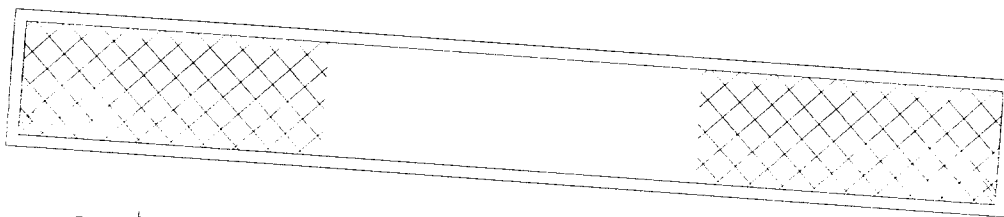
Benda uji ini menggunakan dua lapis kawat strimin sebagai pengganti sengkang, fungsi kawat strimin disini untuk menahan gaya geser dan lentur. Tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini diharapkan dapat memperbaiki kelakuan dan kekuatan balok, seperti terlihat pada Gambar 4.8. Di samping itu, kawat strimin membatasi proses keretakan, memperlambat kegagalan balok sampai pembebanan yang lebih besar.



Gambar 4.8 Balok dengan menggunakan kawat strimin

7. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin 2 lapis pada daerah geser (MK2GTS)

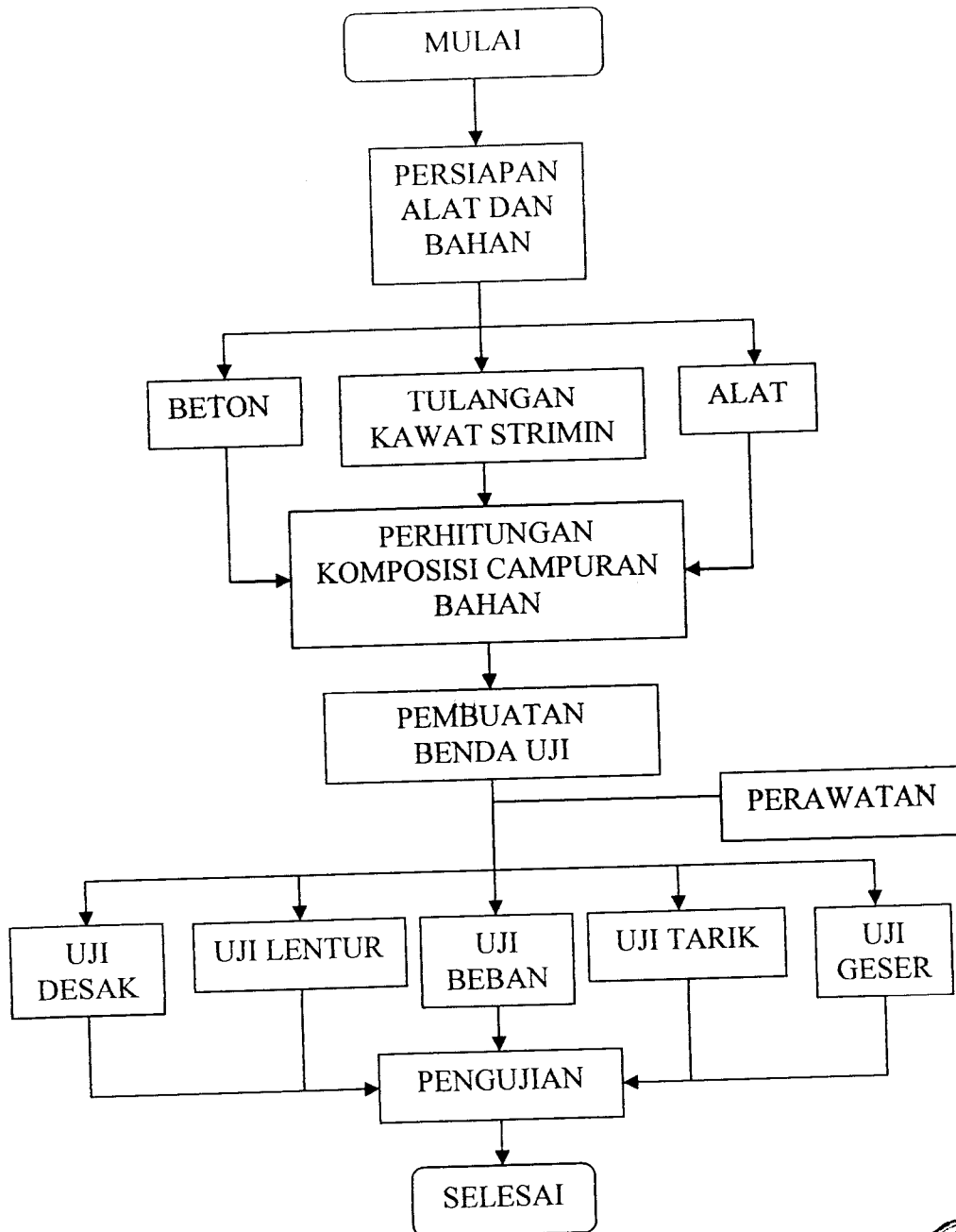
Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada Gambar 4.9 adalah untuk menahan gaya geser pada daerah geser, memperbaiki kelakuan/kekuatan balok dan meningkatkan gaya geser setelah diberi kawat strimin.



Gambar 4.9 Balok menggunakan sengkang dan kawat strimin pada daerah geser

4.4.2. Prosedur Penelitian

Untuk prosedur percobaan/kajian disajikan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*).



Gambar 4.10. Flow Chart



4.5 Pelaksanaan Penelitian

4.5.1 Persiapan Bahan dan Alat

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

4.5.2 Pembuatan Benda Uji.

Langkah-langkah pembuatan benda uji :

- 1) Pembuatan bekisting untuk benda uji balok,
- 2) Mempersiapkan alat timbangan, mistar, cetok, molen, kerucut Abrams, ember, talam baja, serta cetakan-cetakan silinder dan persegi yang akan dipakai untuk mencetak benda uji dengan terlebih dahulu diolesi dengan oli.
- 3) Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti : semen, pasir, kerikil. Pada saat penimbangan, kondisi pasir dan kerikil adalah jenuh kering permukaan (SSD).
- 4) Memasukkan semen, pasir, kerikil, air sedikit demi sedikit ke dalam molen, dilanjutkan dengan menghidupkan molen.
- 5) Pada saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45° , agar terjadi adukan beton yang merata.
- 6) Setelah adukan beton terlihat merata, kemudian dituang secukupnya dan dilakukan pengujian nilai *slump* dengan menggunakan 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/ditahan pada penyokong-penyokong kakinya agar tidak terangkat sambil diisi adukan beton, dibuat tiga lapis adukan, dan tiap lapis

ditumbuk sebanyak ± 25 kali. Bagian atas kerucut adukan diratakan dan didiamkan ± 30 detik, kemudian kerucut Abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus dan di letakkan di samping adukan tersebut, permukaan beton akan runtuh sedikit sehingga terdapat selisih tinggi antara tinggi kerucut Abrams dengan beton atau disebut *Slump*.

- 7) Mengeluarkan adukan beton dari molen, dan ditampung pada talam baja.
- 8) Memasukkan adukan beton ke dalam cetakan dengan memakai cetok, dilakukan sedikit demi sedikit sambil ditusuk-tusuk supaya tidak keropos.
- 9) Adukan yang telah dicetak diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan,
- 10) Untuk benda uji silinder dan persegi cetakan dibuka setelah didiamkan selama 24 jam dengan membubuhkan kode atau keterangan pada beton.
- 11) Untuk balok cetakan dibuka setelah pengerasan berlangsung, yaitu setelah 1 hari,
- 12) Kemudian dilakukan perawatan beton.

4.5.3 Perawatan Benda Uji

Kekuatan akhir beton sangat tergantung pada kondisi kelembaban temperature selama periode kurang lebih 28 hari, pada masa tersebut apabila kelembabannya tidak terus menerus dipertahankan, beton dapat mengalami pembekuan yang bisa mengurangi kekuatan beton sampai 50% (Winter dan Nilson).

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 merendam dalam bak air dan menyelimuti balok dengan karung yang selalu dibasahi sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian. Rawatan yang baik dapat

mempertahankan kualitas beton, seperti kekuatan, ketahanan terhadap cuaca dan juga lebih kedap air.

4.6 Proses Pengujian

Pengujian desak, pengujian lentur dan pengujian geser dilakukan pada umur beton 28 hari.

4.6.1 Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin

Adapun tahapan-tahapan pengujian kuat tarik Kawat Strimin adalah sebagai berikut :

- a. Kawat Strimin diambil satu batang, kemudian diameter Kawat Strimin di ukur 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.

4.6.2 Pengujian Kuat Tarik Baja 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. Langkah-langkah :

- a. Mengukur diameter tulangan,
- b. Tulangan dipotong dengan panjang 60 cm, lalu untuk tulangan diameter 16 dibubut sampai ukuran 11,4 cm,
- c. Diletakkan di alat uji, masing-masing ujung tulangan dijepit,
- d. Baja tulangan ditarik sampai leleh, kuat tarik pada saat leleh pertama dicatat.

4.6.3 Pengujian Sifat Mekanis Beton

Langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya untuk benda uji berbentuk silinder dan panjang, lebar, tinggi untuk benda uji balok.
- b. Menimbang benda uji.
- c. Meletakkan benda uji di atas mesin uji, dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
- d. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai mengalami kehancuran.

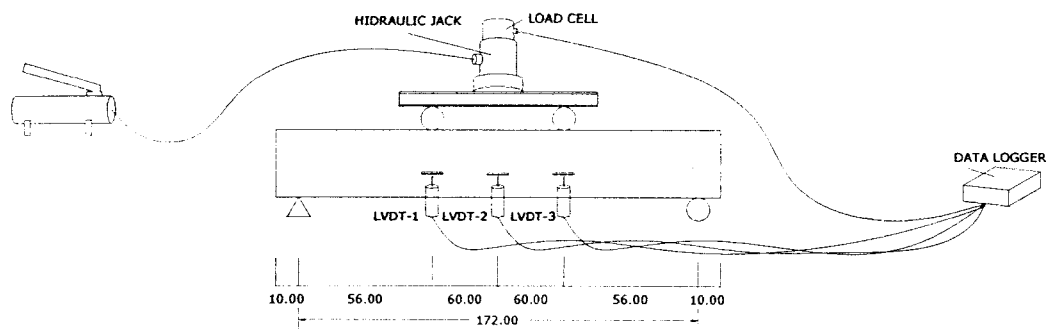
4.6.4 Pengujian Balok

Pelaksanaan pengujian balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Setelah balok mencapai umur 28 hari,
2. Balok dicat dengan kapur, digaris kotak-kotak 5 cm x 5 cm dengan menggunakan spidol untuk mengetahui penambahan retak dan lebar retak yang terjadi.
3. Kemudian diangkat dan diletakkan di atas alat uji dengan letak tumpuan dari ujung balok adalah 100 mm baik dari kiri ataupun kanan,
4. Jumlah titik pembebanan ada dua dengan jarak beban yang membebani dari tepi kiri dan tepi kanan adalah 560 mm dan jarak antar titik pembebanan 600 mm,
5. Pada tengah-tengah bentang dan di bawah titik beban pasang LVDT dan dihubungkan dengan *Data Logger*,
6. Memasang *Load cell* dan menghubungkan kabel ke *Data Logger*,
7. Memasang *Hidraulic jack*, lalu mengesetnya,
8. Mengeset *Data Logger*, dimana satuan pembebanan menggunakan kN, penurunan balok menggunakan mm,

9. Mulai melakukan pembebanan secara bertahap setiap 5 kN, beban konstan dan dinaikkan secara berangsur-angsur,
10. Setiap 5 kN pembebanan di cetak melalui *Data Logger*, dan lebar retak diamati setiap 10 kN,
11. Saat retak pertama (*first crack*) terjadi, mulai diamati lebar retak menggunakan teropong, dan ditandai dengan menggambar atau menggaris retak menggunakan spidol, tiap 10 kN retak pada balok ditulis besar beban yang bekerja, begitu seterusnya,
12. Sampai batas kekuatan tertentu sampai dengan maksimum, benda uji akan mengalami runtuh, dan pengujian dihentikan.

4.6.5 Penyetelan Pembebanan pada Balok



Gambar 411. Penyetelan pembebanan balok

4.7 Pengamatan

4.7.1 Pembebanan

Pada pelaksanaan pembebanan perlu diperhatikan perletakan pada alat uji, sehingga kemungkinan-kemungkinan balok menggeser atau terguling dapat dihindari. Perencanaan besar beban yang diberikan disesuaikan dengan dimensi balok atau disesuaikan dengan perencanaan pembebanan awal. Karena setiap komponen struktur harus memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban yang bekerja pada balok. Beban diberikan setiap 5 kN yang berangsur-angsur sampai beban yang menyebabkan balok runtuh akan menjadi perhatian dalam pembebanan.

4.7.2 Lendutan (Defleksi)

Balok yang telah diberi beban akan diperiksa lendutannya berdasarkan alat uji dengan melihat pada seberapa kuat balok menahan beban. Beban diberikan setiap 5 kN kemudian berhenti untuk membaca lendutan, untuk beban berikutnya diberikan secara berangsur-angsur sampai balok runtuh.

4.7.3 Retak

Beton mempunyai kekuatan baik dalam menahan tekanan 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 perilaku retak dan pengendalian lebar retak, khususnya retak geser. Di dalam memperhatikan retak beton, perhatian lebih diutamakan pada lebar celah retak dan panjang retak. Beban diberikan setiap 5 kN secara berangsur-angsur sampai balok runtuh, arah retaknya dilukis dengan spidol dan lebar retaknya dibaca dengan alat pembaca retak.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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

5.1 Uji Material

5.1.1 Agregat Halus dan Kasar

Besar butiran agregat selalu dibatasi agar tidak terlalu besar sampai besar butir maksimum (Triono, B). Menurut peraturan SK-SNI-T-15-1990-03, kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Uji agregat dimaksudkan untuk mengetahui data awal mengenai agregat yang dipakai seperti pada lampiran B. Pengujian dilakukan untuk mencari besar kandungan lumpur dalam pasir, persentase modulus halus butir, berat jenis, serta persentase banyaknya penyerapan air. Hasil yang didapat dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton. Untuk Pemeriksaan modulus halus butir bertujuan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pemeriksaan berat jenis agregat dan penyerapan air dimaksudkan untuk menentukan berat kering permukaan jenuh (SSD) dan penyerapan dari agregat, berat jenis permukaan jenuh (SSD), yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu, sedangkan penyerapan adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap agregat kering. Hasil pemeriksaan agregat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian agregat

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

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

5.1.2 Baja

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

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

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik baja

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

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

- a) Untuk tulangan diameter 16

1. P16 dengan $\text{Ø}16\text{mm}$, kuat tarik $F_u=484,715$ MPa dan tegangan $F_y = 359,556$ MPa,
 2. nilai F_y sebesar $359,556$ MPa dari hasil penelitian adalah $74,17\%$ dari nilai F_u ,
 3. tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian ini adalah 359 MPa,
 4. sesuai dengan SII 0136-80 dapat digolongkan baja mutu BJTP 35 dengan batas ulur minimum 343 N/mm², dan kuat tarik minimum 490 N/mm².
- b) Untuk tulangan diameter 6
1. P6 kurus dengan $\text{Ø}5$ mm, kuat tarik $F_u=393,431$ MPa dan tegangan $F_y = 277,566$ MPa,
 2. nilai F_y sebesar $277,566$ MPa dari hasil penelitian adalah $70,55\%$ dari nilai F_u ,
 3. tegangan leleh F_y yang digunakan pada penelitian ini adalah 277 MPa,dan
 4. sesuai dengan SII 0136-80 dapat digolongkan baja mutu BJTP 24 dengan batas ulur minimum 235 N/mm², dan kuat tarik minimum 382 N/mm².

5.1.3 Kawat Strimin

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

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin

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

Hasil pengujian kawat, tegangan tarik tunggal yang terjadi di atas baja dengan spesifikasi SII untuk BJTP 35 dengan batas ulur minimum 343 N/mm².

5.2 Slump

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

5.3 Uji Sifat-sifat Mekanis Beton

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

Tabel 5.4 Hasil pengujian beton

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.4. Uji Balok

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

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

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

5.4.1. Hubungan Beban-Lendutan

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

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

Tabel 5.5 Analisa data pembebanan balok

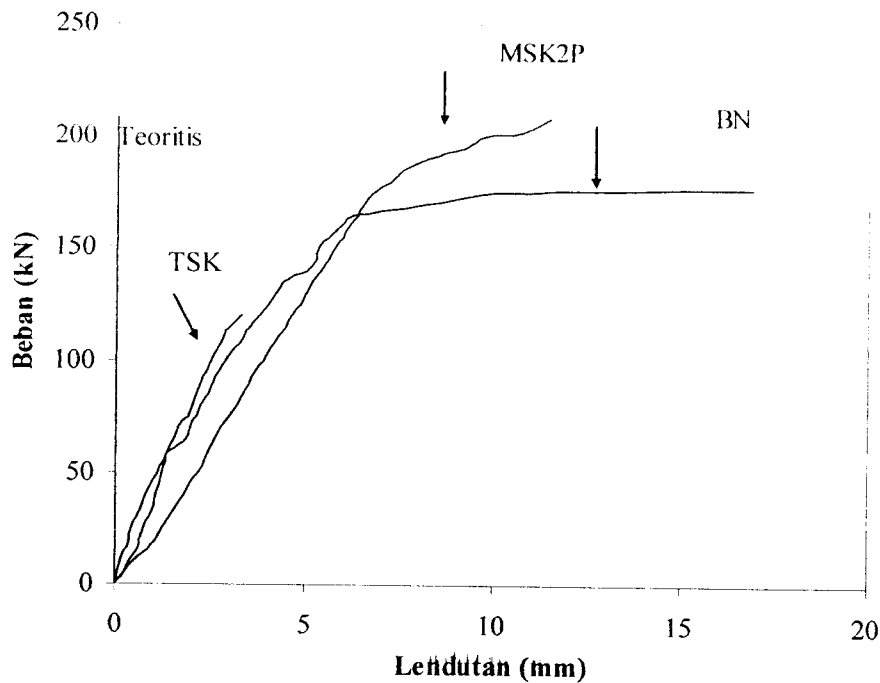
Model	Beban retak awal (Prt) (kN)	Prt BN / Prt variasi	Beban leleh pertama (Py) (kNm)	Py BN / Py variasi	Beban ultimit (Pu) (kNm)	Pu BN / Pu variasi
BN	35	1	165	1	177	1
TSK	60	1,714	70	0,424	120	0,678
MSK2P	40	1,143	175	1,061	208	1,175
MSK2G	50	1,429	175	1,061	185	1,045
MS50K2G	25	0,714	165	1	169	0,955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

Tabel 5.6 Analisa data lendutan balok

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

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

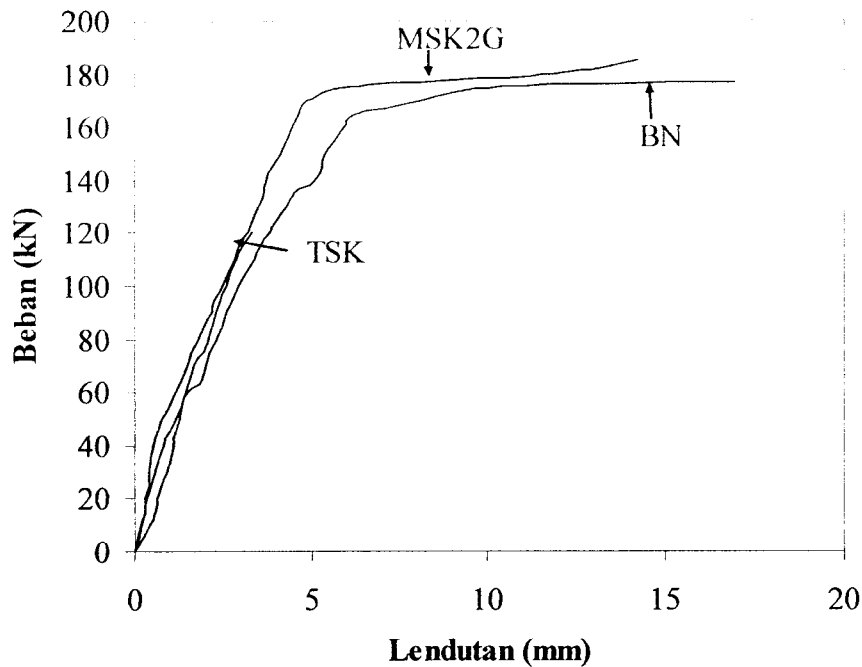
1. Beban dan Lendutan pada Balok MSK2P



Gambar 5.1 Grafik defleksi balok MSK2P

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

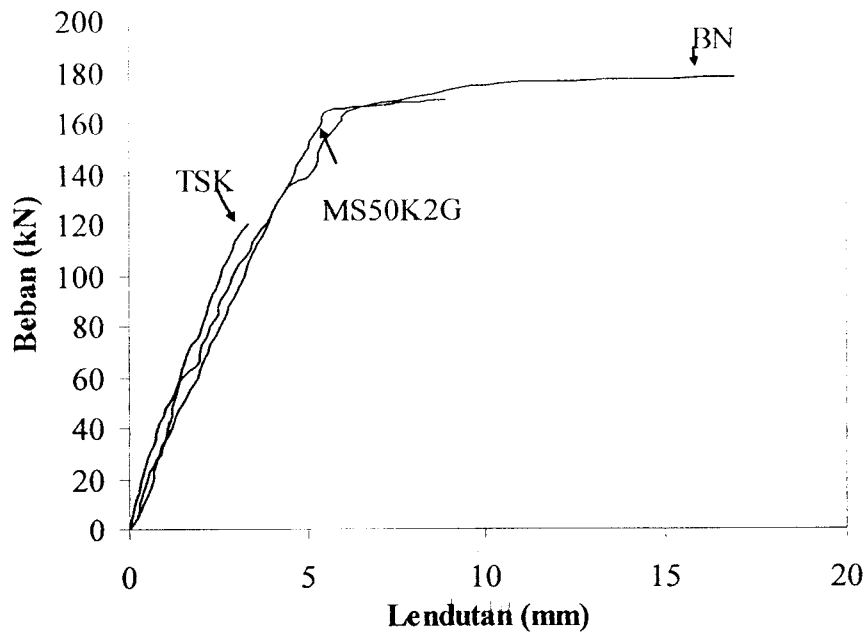
2. Beban dan Lendutan pada Balok MSK2G



Gambar 5.2 Grafik defleksi balok MSK2G

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

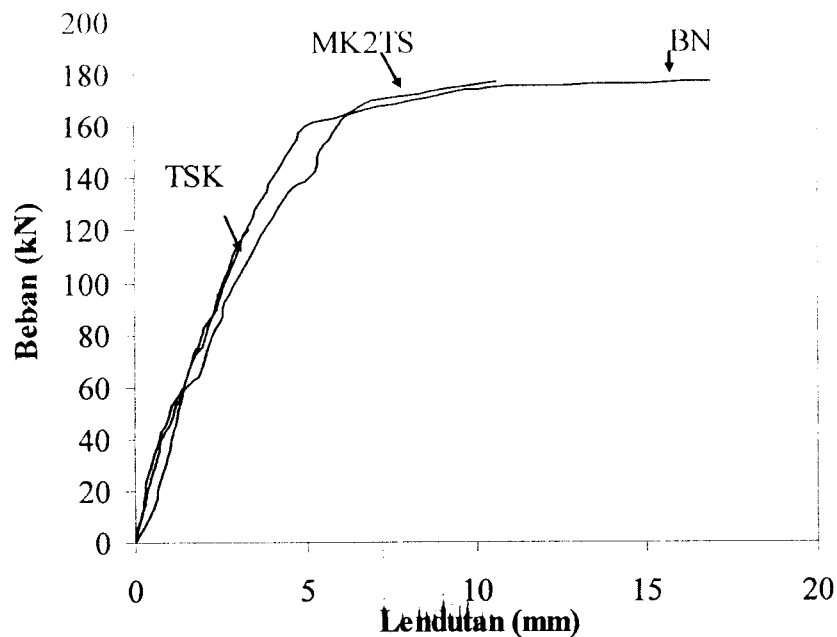
3. Beban dan Lendutan pada Balok MS50K2G



Gambar 5.3 Grafik defleksi balok MS50K2G

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

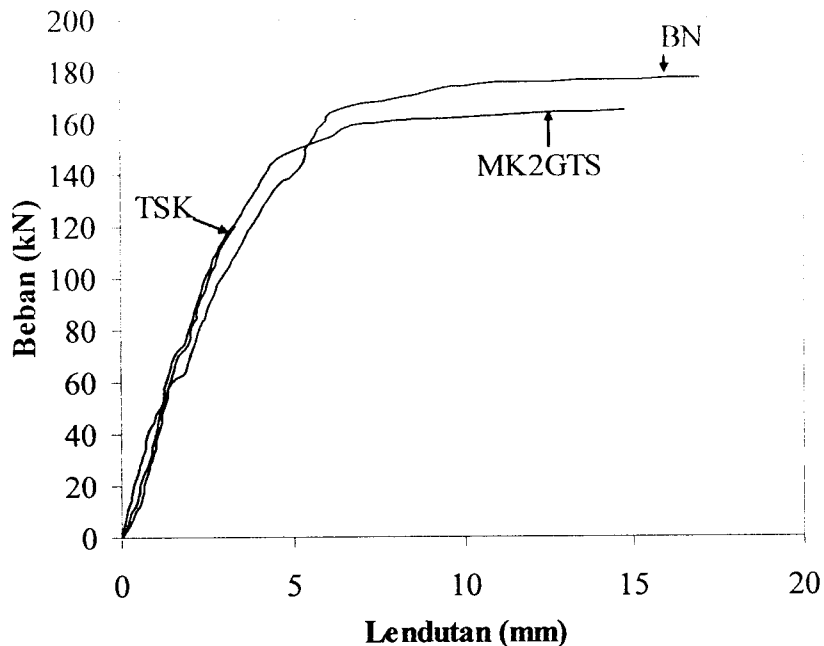
4. Beban dan Lendutan pada Balok MK2TS



Gambar 5.4 Grafik defleksi balok MK2TS

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

5. Beban dan Lendutan pada Balok MK2GTS



Gambar 5.5 Grafik defleksi balok MK2GTS

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

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

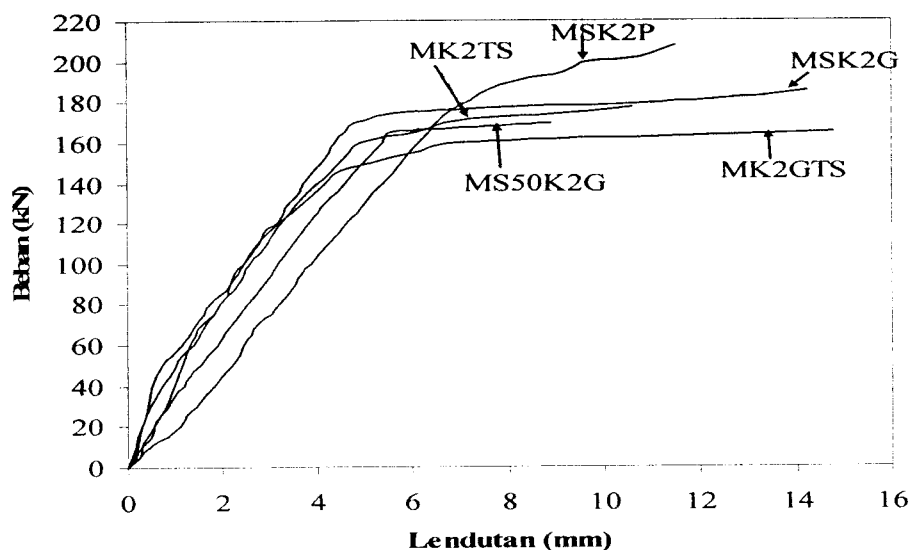
menahan beban 120 kN (Gambar 5.5), balok yang diperkuat kawat strimin ataupun sengkang, beban yang mampu ditahan lebih besar.

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

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

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

6. Beban dan Lendutan Balok Variasi Sengkang dan Kawat Strimin



Gambar 5.6 Grafik defleksi semua balok variasi dan teoritis

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

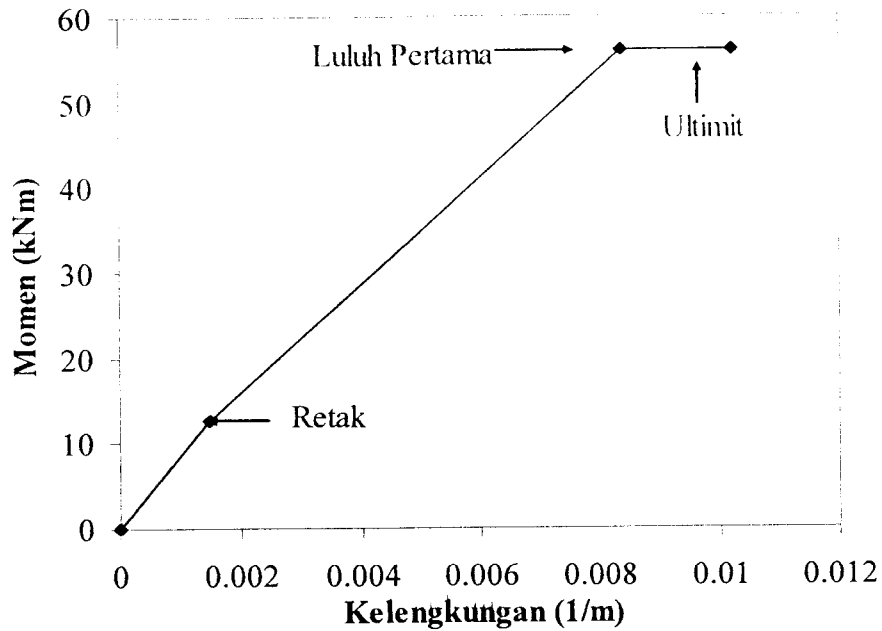
Sama halnya dengan balok variasi sengkang dan strimin, tidak adanya kawat strimin pada bentang lentur grafik bergeser pada waktu beban luluh pertama. Pada balok MK2GTS beban ultimit lebih kecil 7% dari balok MK2TS, tapi lendutannya lebih dari balok MKTS.

5.4.2. Hubungan Momen-Kelengkungan

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

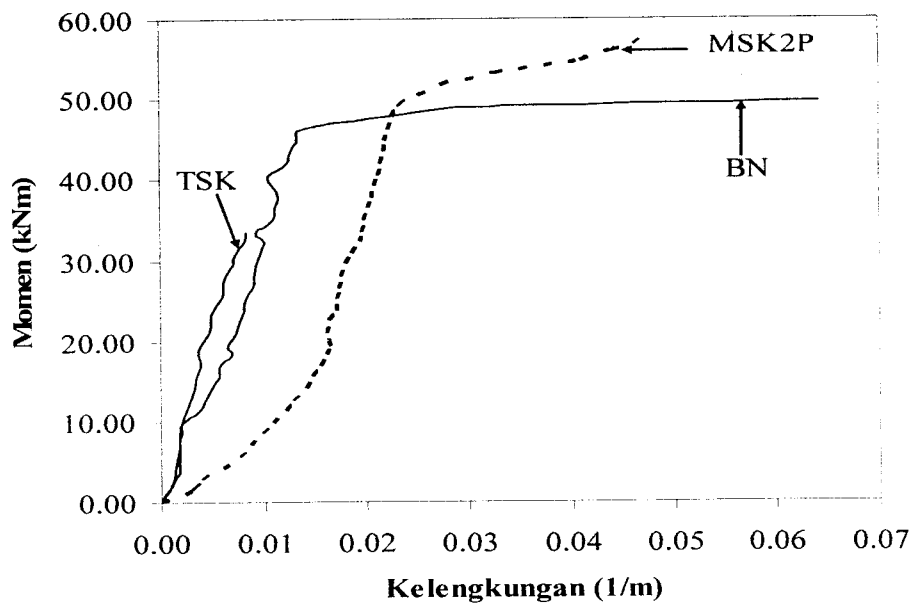
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan kelengkungan teoritis

Model	Mrt (kNm)	Φ_{rt} (1/m)	M_y (kNm)	Φ_y (1/m)	M_u (kNm)	Φ_u (1/m)
BN	12,71503	0,001452	55,98616	0,008384	55,91876	0,010233



Gambar 5.7 Grafik hubungan momen Teoritis

1. Momen-Kelengkungan Balok MSK2P

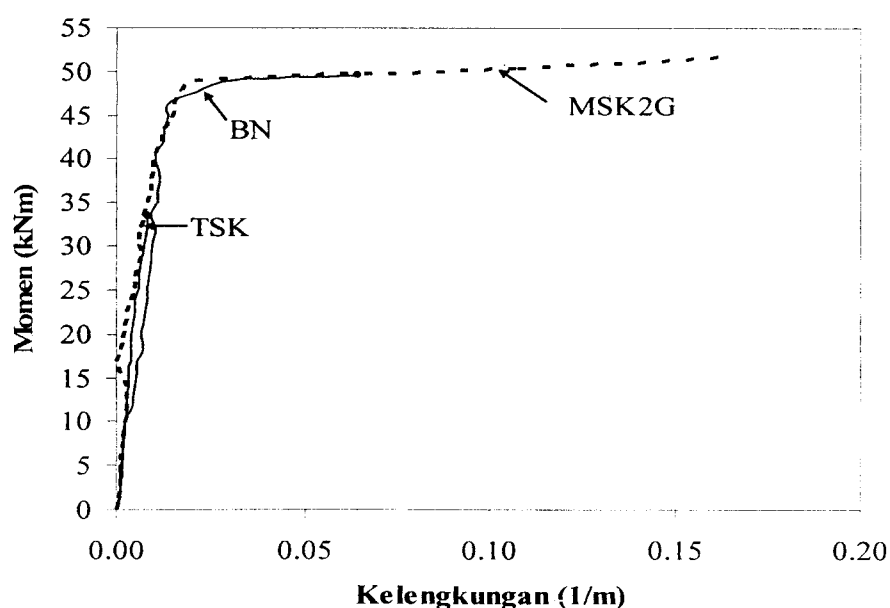


Gambar 5.8 Grafik momen balok MSK2P

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

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

2. Momen-Kelengkungan Balok MSK2G

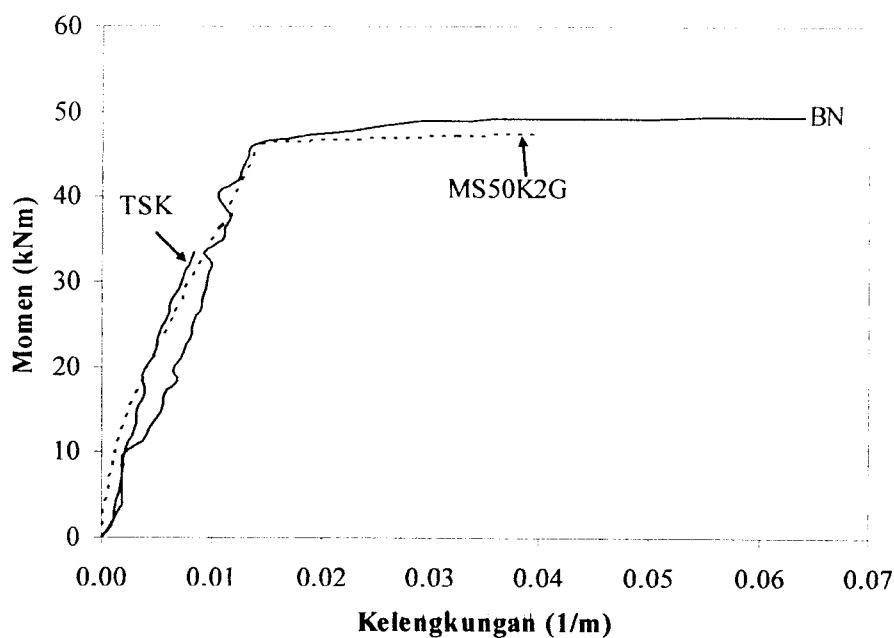


Gambar 5.9 Grafik momen balok MSK2G

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

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

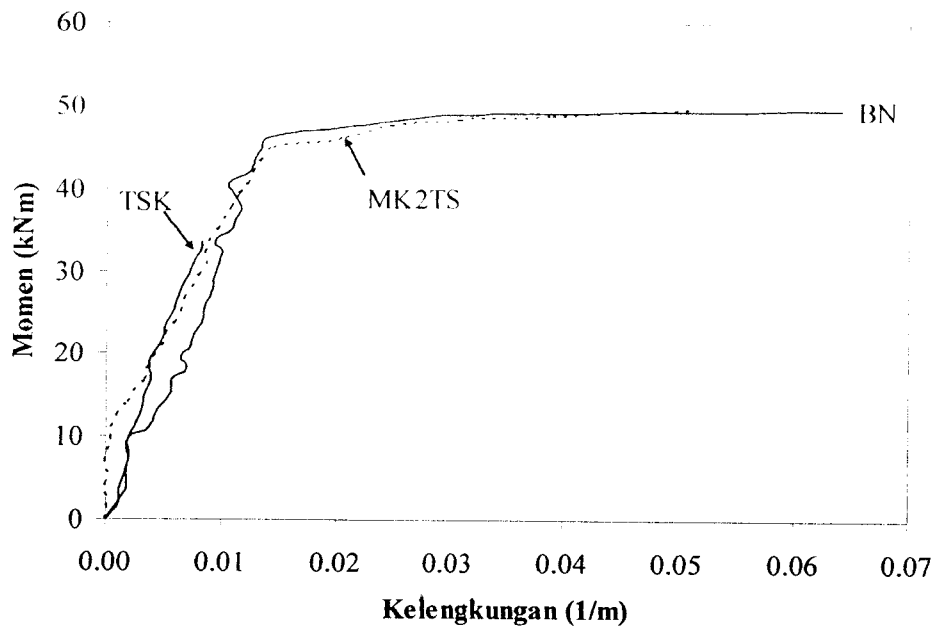
3. Momen-Kelengkungan Balok MS50K2G



Gambar 5.10 Grafik momen balok MS50K2G

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

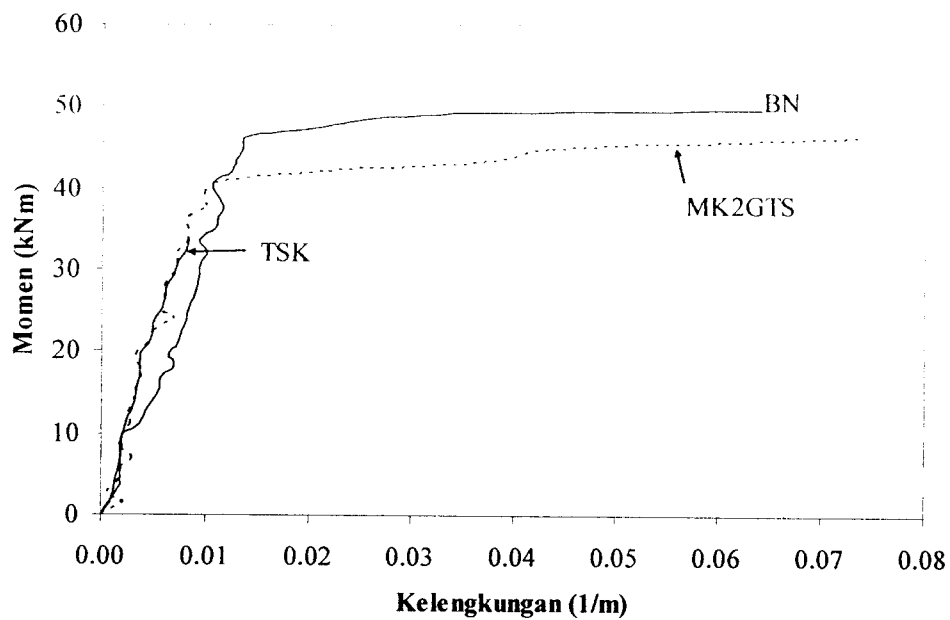
4. Momen-Kelengkungan Balok MK2TS



Gambar 5.11 Grafik momen balok MK2TS

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

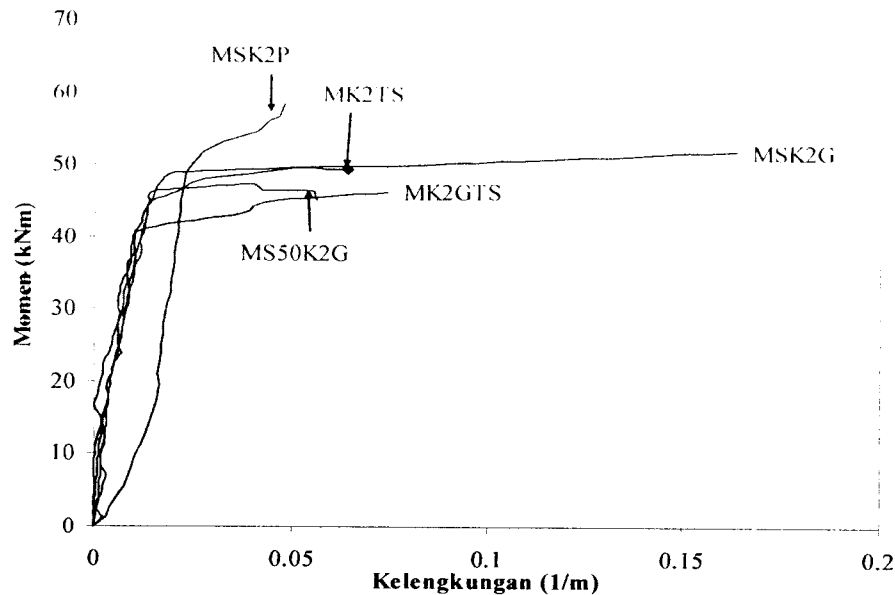
5. Momen-Kelengkungan Balok MK2GTS



Gambar 5.12 Grafik momen balok MK2GTS

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

6. Momen-Kelengkungan Balok Variasi



Gambar 5.13 Grafik momen semua balok variasi

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

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

5.4.3 Analisa Balok Terhadap Kuat Lenturnya

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

1. Analisa Faktor Kekakuan

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

Tabel 5.8Analisa kekakuan

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

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

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

2. Daktilitas Balok

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

Tabel 5.9 Analisa Daktilitas

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

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

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

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

3. Momen Kapasitas Balok

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

Tabel 5.10 Kapasitas Momen

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

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

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

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

5.4.4. Analisa Geser Balok

Kerusakan pada struktur beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada beton ditahan oleh tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser pada beton umumnya ditahan oleh tulangan geser yang biasanya berupa sengkang. Tulangan geser yang terlalu sedikit jumlahnya akan meleleh segera setelah terbentuknya retak miring, dan kemudian balok runtuh. Jika jumlah tulangan geser terlalu banyak, balok kuat terhadap geser dan berperilaku daktail serta akan terjadi keruntuhan lentur sebelum tulangan geser leleh (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986). Untuk penelitian kali ini sebagai perkuatan geser balok diberikan selubung berupa kawat strimin sebanyak 2 lapis, diharapkan penambahan kawat strimin mampu menahan gaya geser yang terjadi. Kemampuan menahan gaya geser yang terjadi kemudian dibandingkan dengan balok kontrol yang terdiri 2 sampel, yaitu balok dengan sengkang penuh (BN) dan balok tanpa sengkang (TSK), dari perbandingan tersebut bisa diamati apakah terjadi peningkatan ataupun penurunan kuat gesernya.

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

1. Kapasitas Geser Balok

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

Tabel 5.11 Kapasitas geser retak miring pertama

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

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

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

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

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

2. Momen Retak Miring Balok

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

Tabel 5.12 Momen retak miring pertama

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

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

5.4.5. Pola Runtuh dan Retak pada Balok

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

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

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

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

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

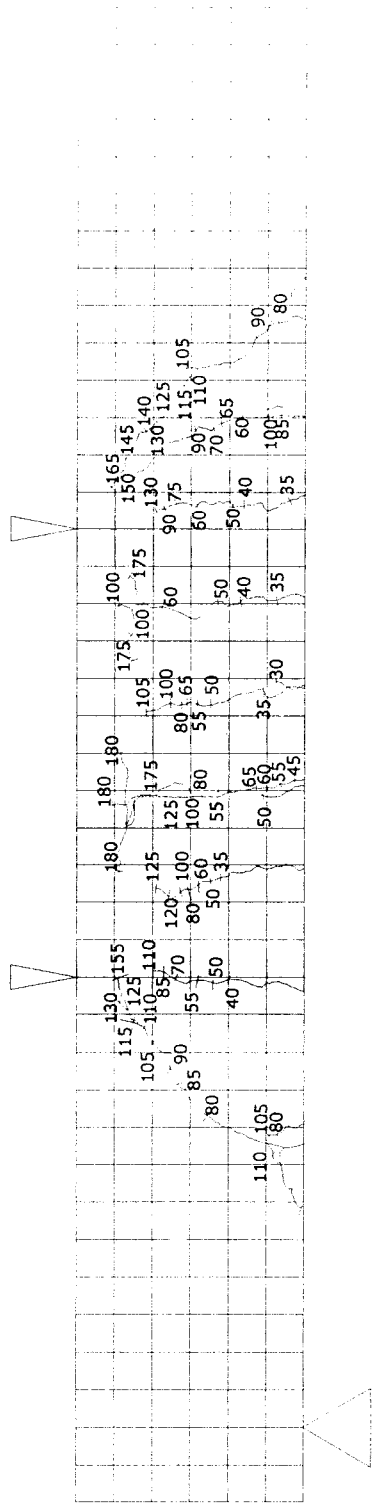
mulai terjadi retakan. Pada pembebanan selanjutnya, yaitu pada beban 105 kN terjadi retak diagonal. Retak diagonal pada balok MSK2P hanya terjadi pada bentang sebelah kanan peninjauan, untuk daerah yang sebelah kiri hanya retakan lentur yang disertai retakan-retakan baru yang berupa serabut.

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

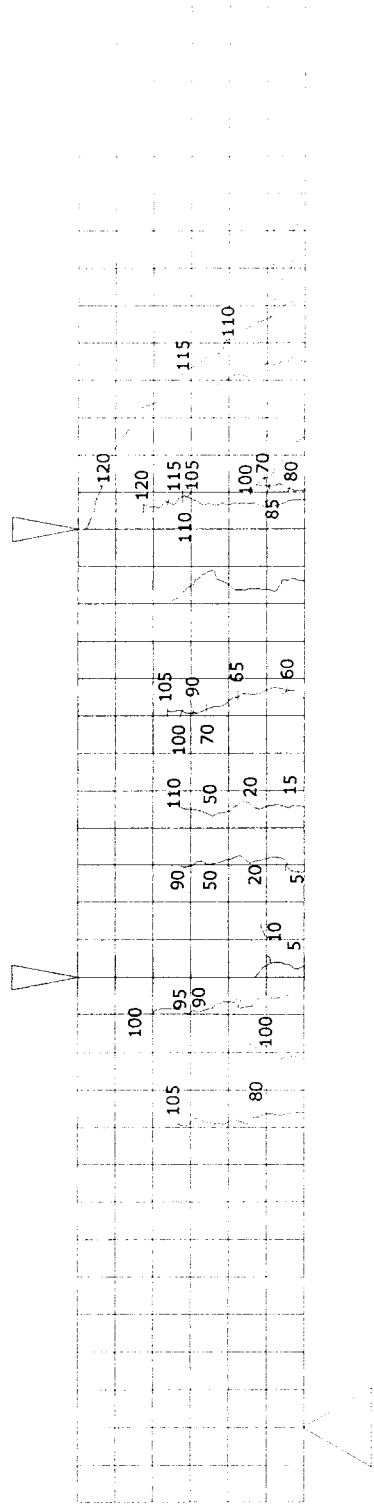
Pada balok MS50K2G retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 25 kN seperti terlihat pada gambar 5.18. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat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

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

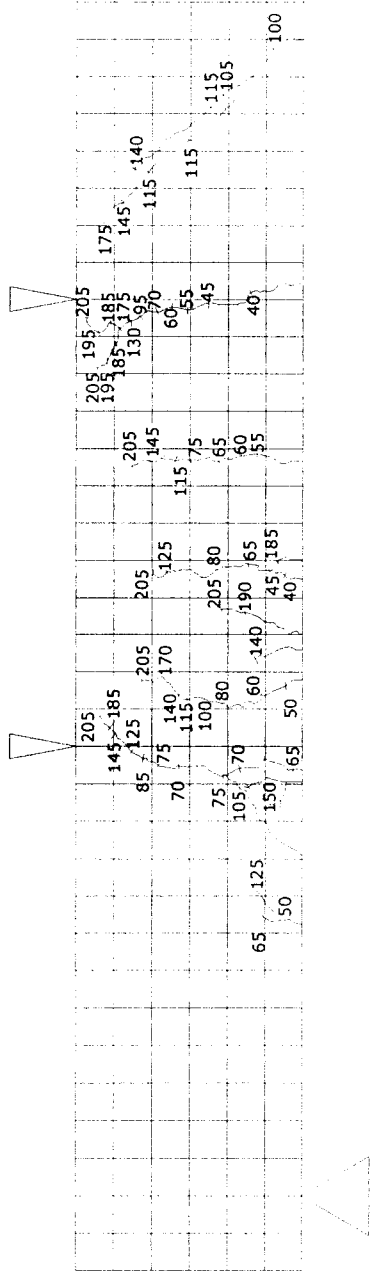
Pada balok MK2GTS retak yang terjadi diawali retak lentur di daerah tengah bentang, pembebanan pada saat retak pertama sebesar 30 kN seperti terlihat pada gambar 5.20. Pada pembebanan lebih lanjut terjadi retak pada daerah bentang geser yang merupakan lanjutan dari retak pertama, kemudian pada saat pembebanan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



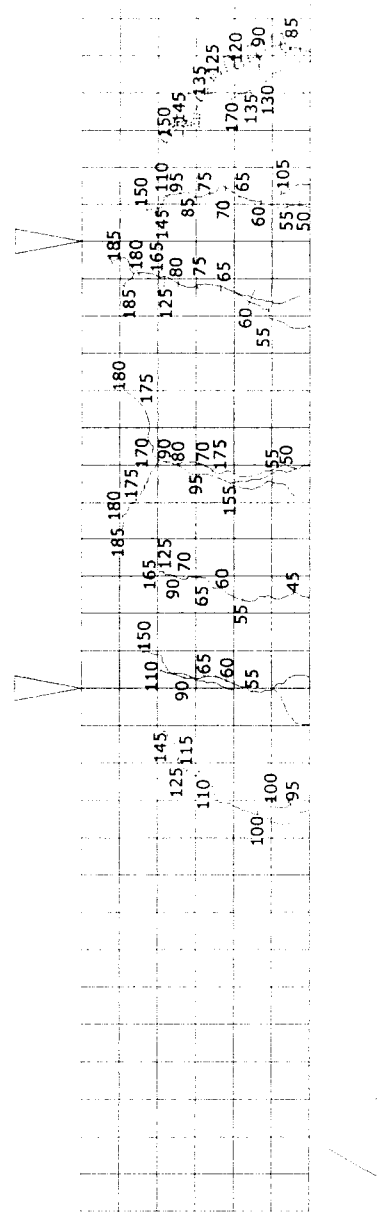
Gambar 5.14 Pola kerusakan balok kontrol (BN)



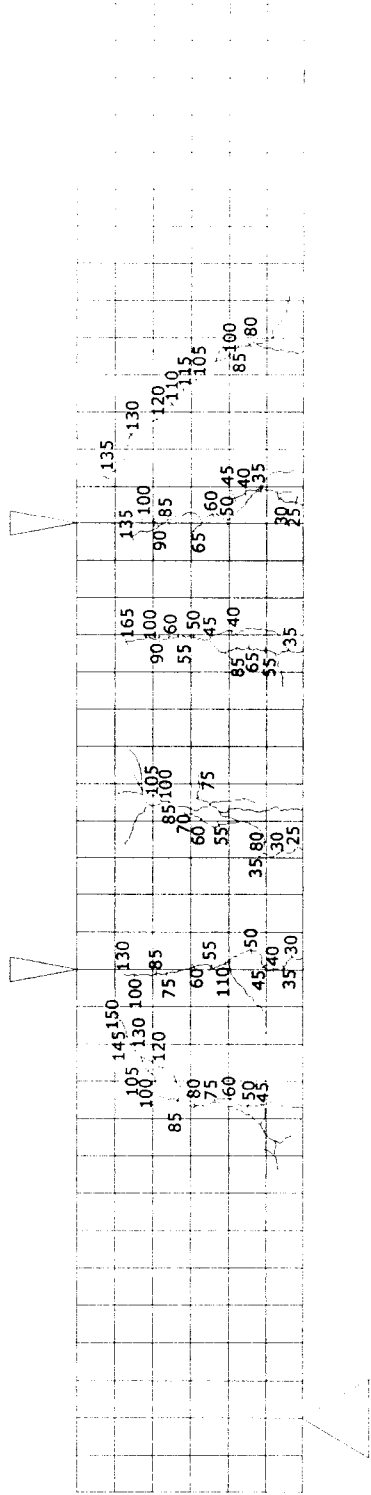
Gambar 5.15 Pola kerusakan balok kontrol tanpa sengkang (TSK)



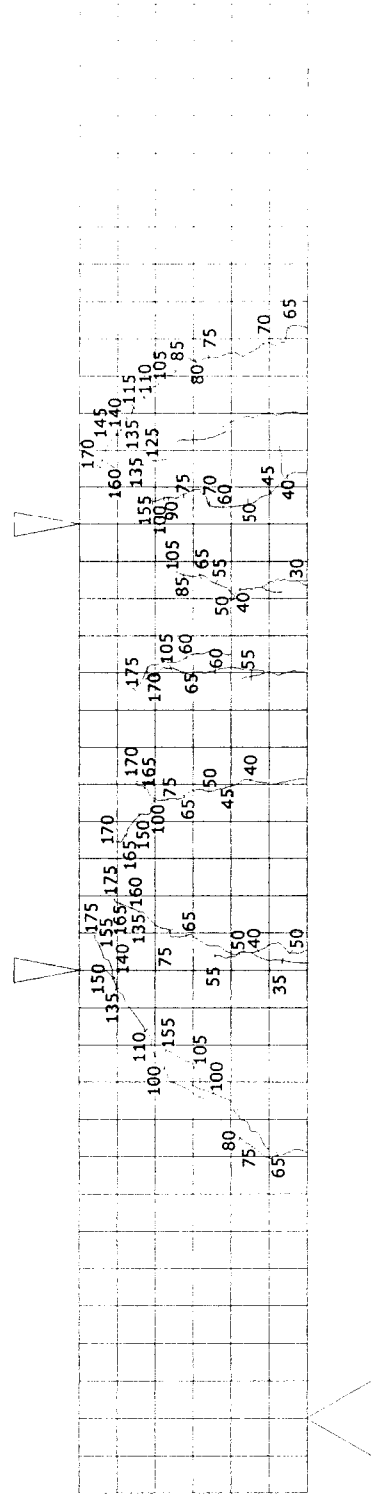
Gambar 5.16 Pola kerusakan balok MSK2P



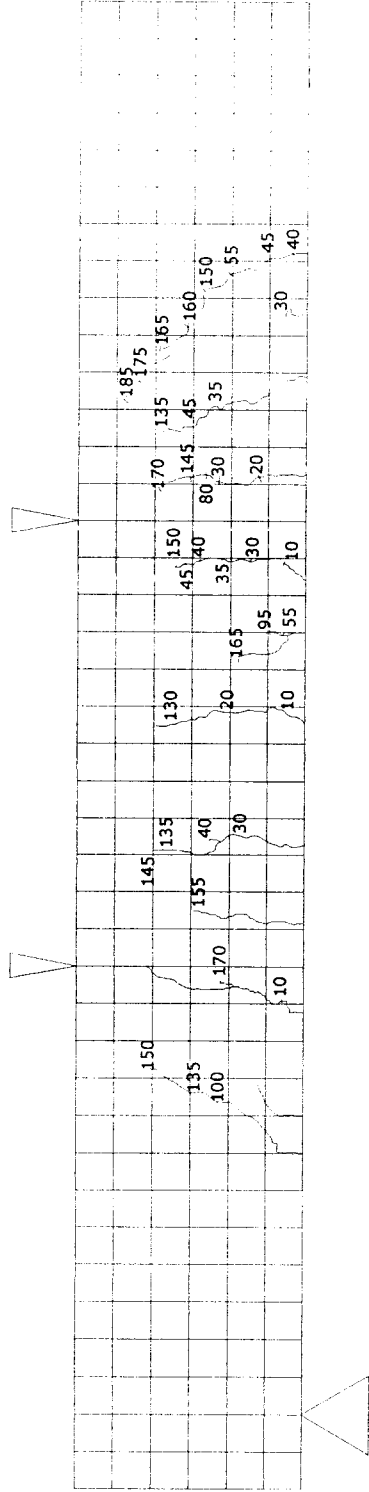
Gambar 5.17 Pola kerusakan balok MSK2G



Gambar 5.18 Pola kerusakan balok MS50K2G



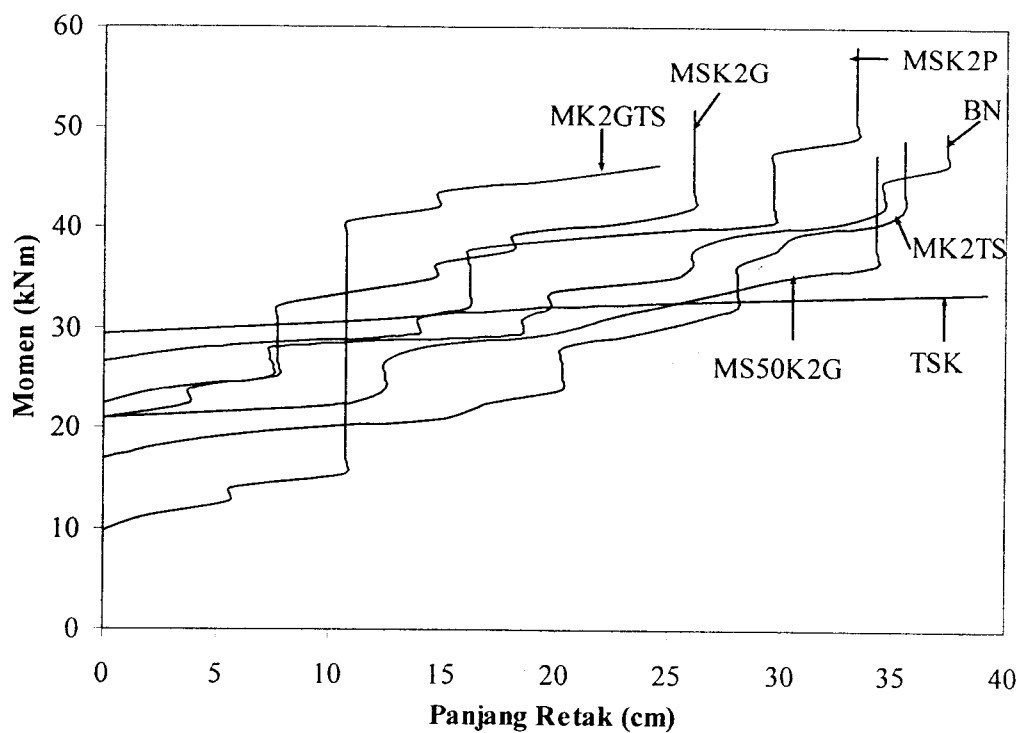
Gambar 5.19 Pola kerusakan balok MK2TS



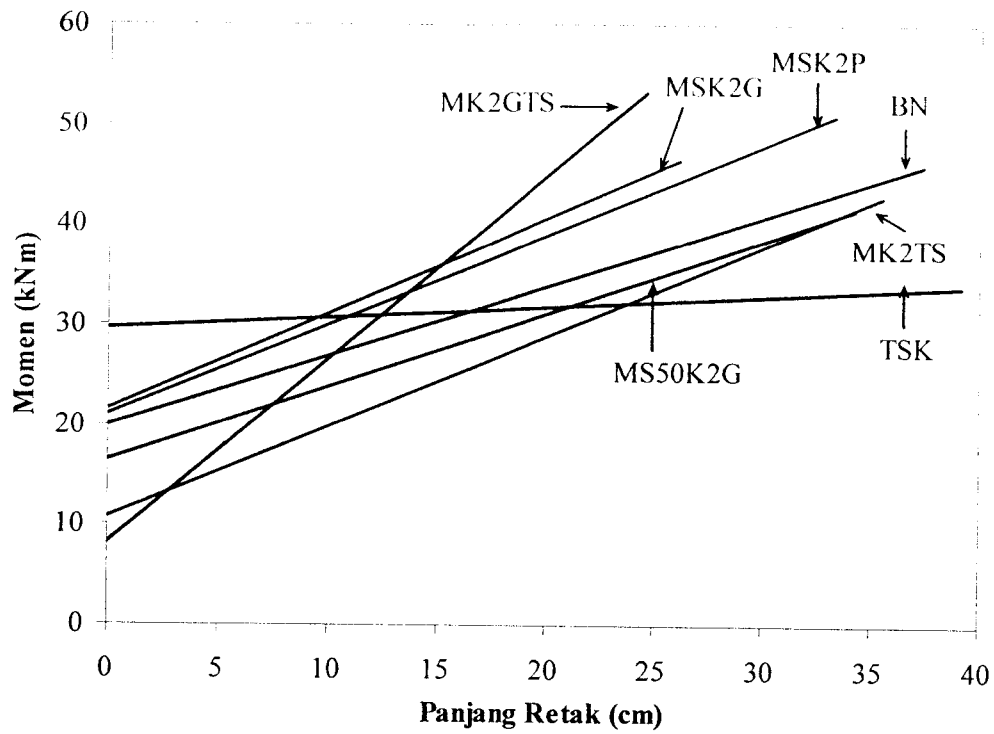
Gambar 5.20 Pola kerusakan balok MK2GTS

5.4.6. Hubungan Panjang Retak dengan Momen

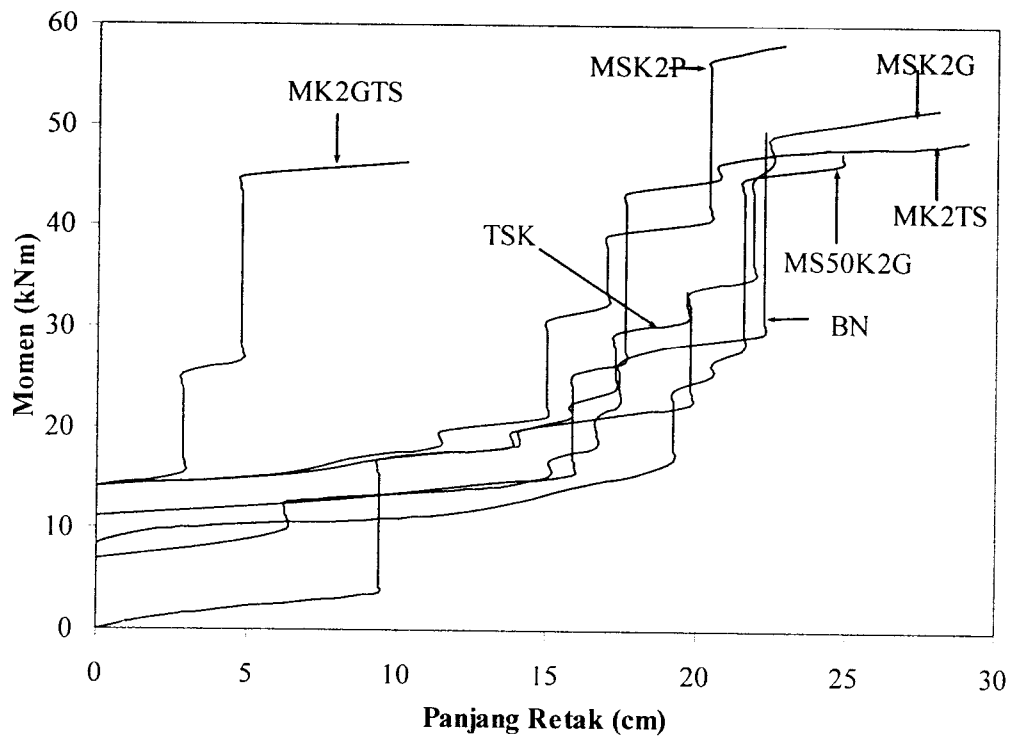
Pertambahan panjang retak pada balok seiring dengan peningkatan pembebanan yang terjadi, Pada balok yang mengalami retak lentur pertambahan panjang tegak lurus terhadap bentang balok, sedangkan retak gesernya membentuk sudut $< 45^\circ$ terhadap sumbu arah panjang bentang balok. Untuk memudahkan pengamatan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



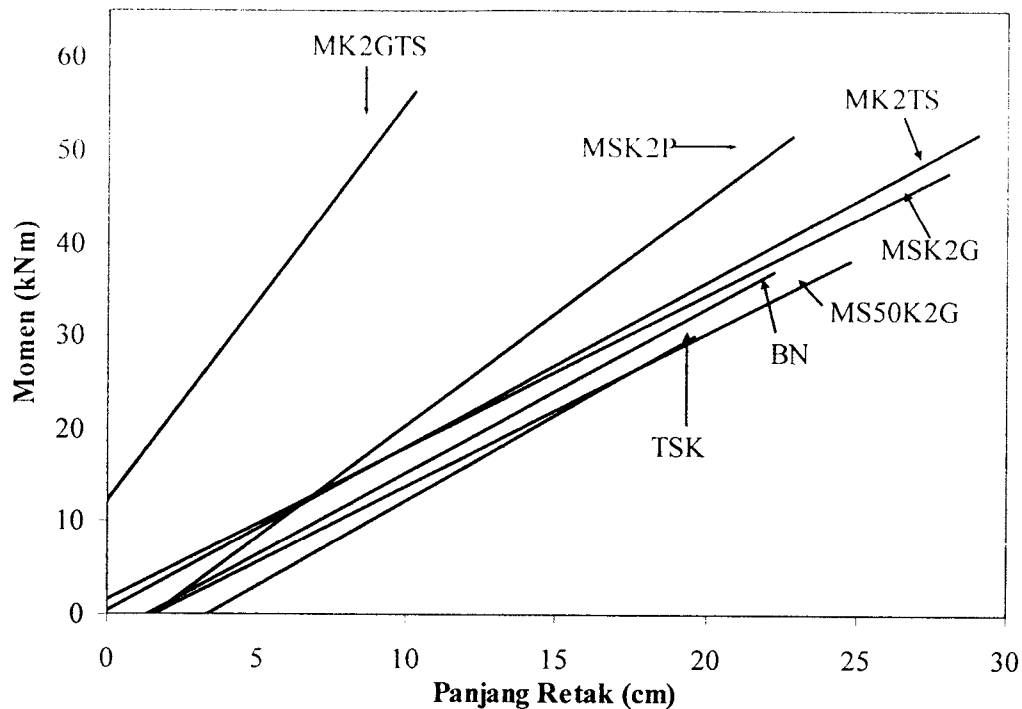
Gambar 5.21 Grafik panjang retak lentur



Gambar 5.22 Grafik regresi panjang retak lentur



Gambar 5.23 Grafik panjang retak geser



Gambar 5.24 Grafik regresi panjang retak geser

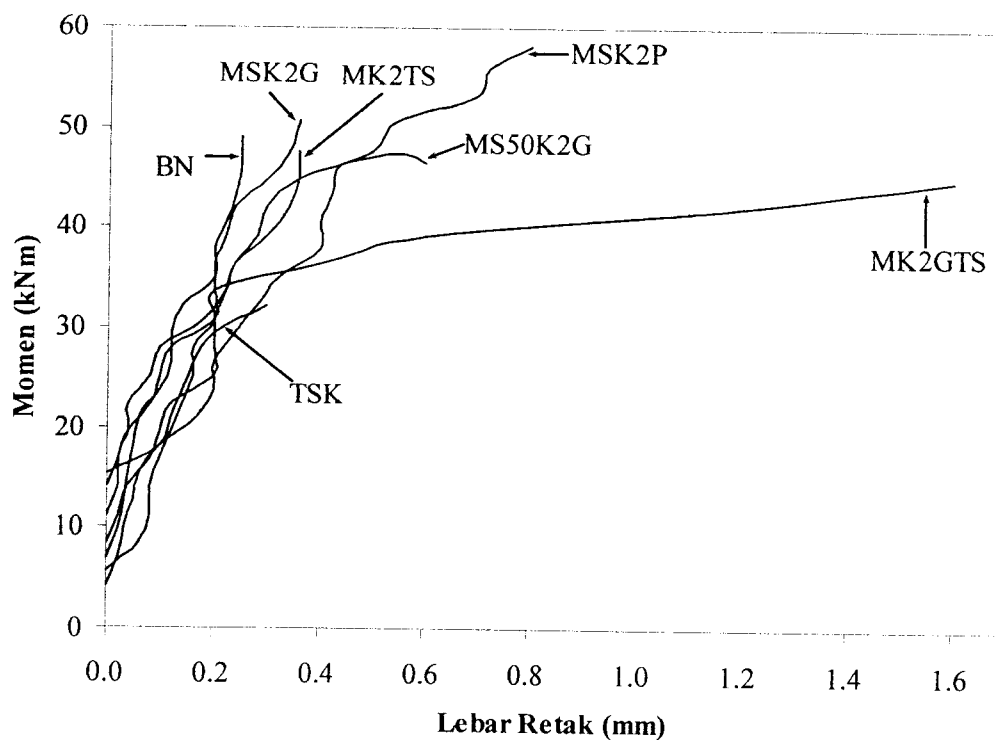
Dari gambar 5.21 dan 5.23 dapat dilihat perambatan retak seiring momen yang diterima oleh balok, untuk memudahkan pengamatan grafik dibuat grafik regresi liniernya, seperti pada gambar 5.22 dan 5.24.

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

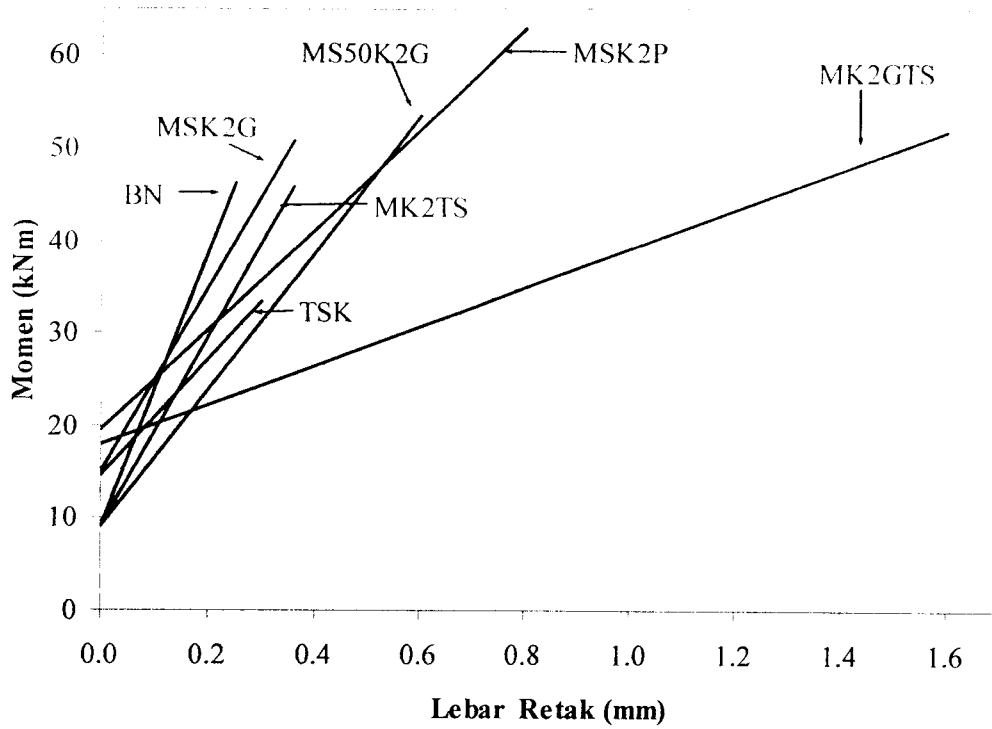
Pada retak geser seperti terlihat pada gambar 5.23, pemasangan kawat strimin sebanyak 2 lapis lebih efektif memperlambat rambatan retak daripada hanya dipasang sengkang, seperti yang terlihat pada grafik linier antara balok MKTS dengan balok kontrol BN.

5.4.7. Hubungan lebar retak dengan momen

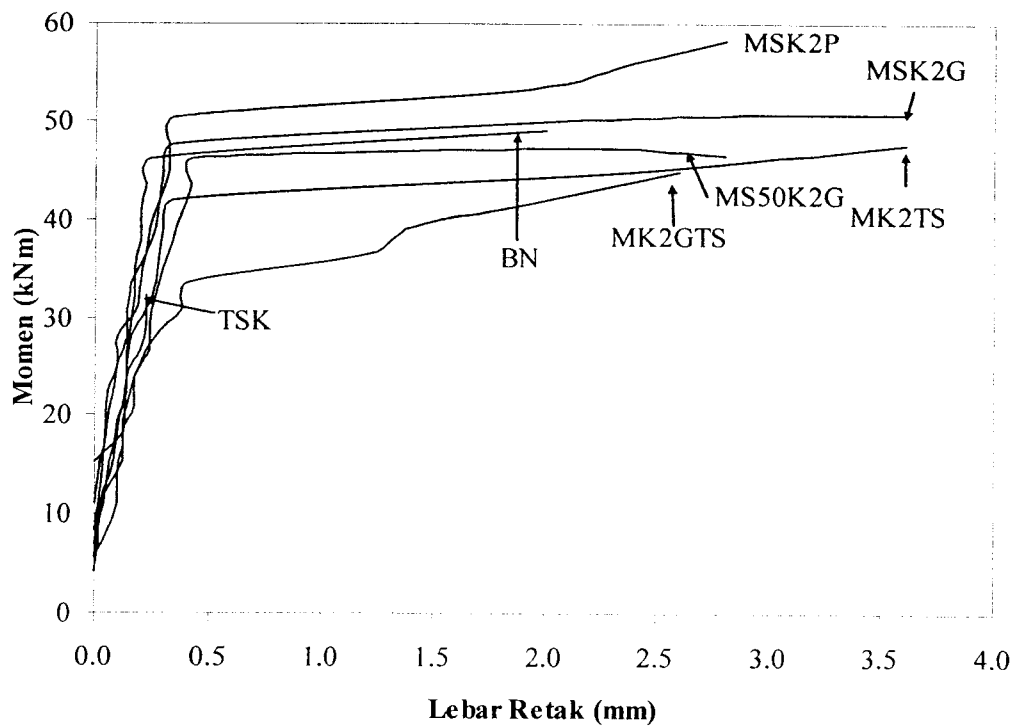
Lebar retak pada balok yang mengalami pembebanan berbanding lurus dengan momen yang bekerja, semakin besar momen yang bekerja pada balok maka retak yang terjadi semakin lebar. Beton dapat retak pada tahap awal riwayat pembebanannya karena material ini lemah terhadap tarik (Nawy, 1985), pada balok yang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



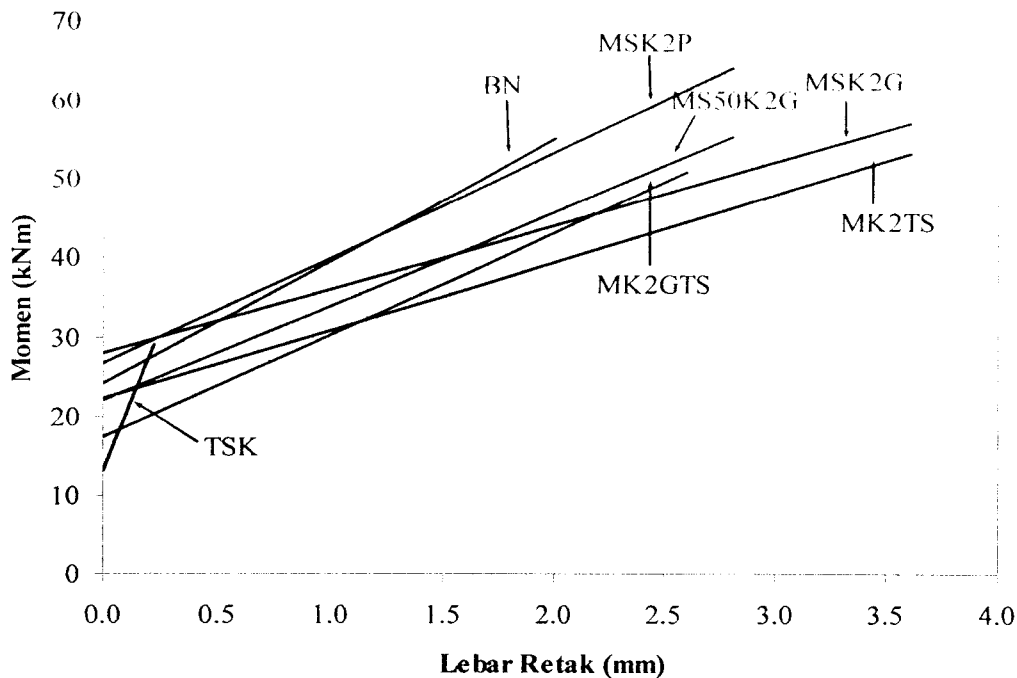
Gambar 5.25 Grafik lebar retak lentur



Gambar 5.26 Grafik regresi lebar retak lentur



Gambar 5.27 lebar retak geser



Gambar 5.28 Grafik regresi lebar retak geser

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, 1999, *Ferosemen Sebagai Alternatif Material Untuk Memperkuat Kolom Beton Bertulang*, Seminar on Air - PPI Tokyo Institute of Technology 1999-2000 No.1 hal. 143-147
- Anonim, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI 2*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Direktorat Jendral Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum Dan Tenaga Listrik, Jakarta.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Ducatti , Lintz, Santos, 1997, *Comparative with Alternative Materials for Manufaktur of Machine Tool Structures*, Paper on Internet.
- Erna Sukmawati dan Ari Herawati, 2001, *Tugas Akhir Pengaruh Variasi Panjang Dan Prosentase Serat Terhadap Geser Pada Balok Beton Bertulang*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta.
- Ferguson, Phil M, 1986, *Dasar-dasar Beton Bertulang*, Terjemahan Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ilham, A., 1998, *Pengaruh tulangan geser pada perilaku geser balok beton bertulang yang dibebani momen lentur pada kedua ujungnya*, Tesis S2, Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kardiyono,T., 1996, *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- 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, Jogjakarta.
- Murdock, L. J. dan K. M. Brook, (1986), *Bahan Dan Praktek Beton*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.

- Nawy, Edward G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Penerbit Eresco, Bandung.
- Nilson, A.H., dan Winter, G., 1983, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Penerbit Pradnya Paramita.
- Park, R. dan Paulay, T., 1975, *Reinforced concrete structures*, John Wiley & Sons. New York
- R Sri Ravindrarajah, M. J. Camporeale dan C. C. Caraballo, 1996, *Flexural Creep of Ferrocement - Polystyrene Concrete Composite*, ADCOMP'96, Second International Conference on Advances in Composites 1996, 18-20 December, 1996, Bangalore, India.
- Singer, Pytel, dan Sebayang, 1985, *Kekuatan Bahan*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K., (1992), *Teknologi Beton*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Vis, W.C., dan G.H.Kusuma, 1994, *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T 15 1991 03 Seri 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wang Chu-Kia dan Salmon, Charles G., 1993, *Disain Beton Bertulang Jilid I*, Terjemahan, Erlangga, Jakarta.
- Winter, G. dan Nilson, A.H., 1993, *Perencanaan struktur beton bertulang* (Terjemahan: Tim penerjemah dan editor ITB), PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- www.hlci.com, 2003, *Types of Concrete*, Holcim Cement Institute.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR



UNTUK MAHASISWA

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Haqul Wicaksono	00 511 189	Teknik Sipil
2.	Anton Yudi Pranoto	00 511 197	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

Pengaruh penggunaan wiremesh Strimin sebanyak Dua lapis pada Geser Balok

PERIODE KE III (Mar 05 - Agst 05)
 TAHUN : 2004 - 2005

Berlaku mulai : 18-Mar-05 Sampai Akhir Agustus 05

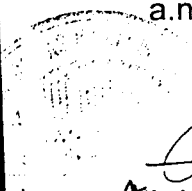
No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		MAR.	APR.	MEI.	JUN.	JUL.	AGT.
1	Pendaftaran	■					
2	Perentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	
6	Sidang - Sidang					■	■
7	Pendadaran						■

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

Dosen Pembimbing II : Ade Ilham. Dr.Ir.MT



Jogjakarta . 18-Mar-05
 a.n. Dekan



(Signature)

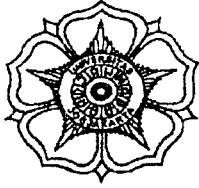
Ir.H.Munadhir, MS

Seminar : _____
 Sidang : _____
 Pendadaran : _____

Diperpanjang s/d 17 Maret '06

LAMPIRAN B

DATA HASIL PEMERIKSAAN BAHAN



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

SURAT KETERANGAN
No.6/06/05 BT/I/FT/UGM

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Samsudin
Jabatan : Penanggung Jawab Pengujian

Menerangkan bahwa :

Nama mahasiswa : ANTON YUDI P. No. Mhsw. : 00 511 197

Nama mahasiswa : HAQUL WICAKSONO No. Mhsw. : 00 511 187

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 (kg _f)	Gaya Tarik Ganda (kg _f)
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



**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./I.BKT/ / / 2005

Penguji : Haqul Wicaksono
Anton Yudi. P.

Ditest tanggal : 24 Oktober 2005

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 ³(1) $Bk / (B + 500 - Bt)$	2.517	2.487	2.502
Berat jenis jenuh kering muka, gram/cm ³ ... (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) $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$	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/cm³
- Berat jenis kering muka = 2,60 g/cm³
- Berat jenis semu = 2.80 g/cm³
- Penyerapan air = 3.80 %

Yogyakarta, 24 oktober 2005

Disyahkan

Dikerjakan

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK UII

1

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 : Haqul Wicaksono
Anton Yudi. P.

Ditest tanggal : 24 Oktober 2005

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 x 100%	2.47	3.14	2.8

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

Yogyakarta, 24 oktober 2005

Disyahkan

Dikerjakan

**LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII**



**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

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR

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

Penguji : Haqul Wicaksono Ditest tanggal : 24 Oktober 2005
Anton Yudi. P.
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				
0,30				
0,15				
Sisa				
Jumlah	5000	100	250.214 *	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{250.214 *}{100} = 2.50214$$

Yogyakarta, 24 Oktober 2005

Disyahkan

**LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII**

Dikerjakan oleh



**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

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT HALUS

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

Penguji : Haqul Wicaksono
Anton Yudi. P.

Ditest tanggal : 24 Oktober 2005

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	0	0	100
4,80	2	0.10	0.10	99.90
2,40	205	10.25	10.35	89.65
1,20	345	17.25	27.60	72.40
0,60	550	27.50	55.10	44.90
0,30	460	23.00	78.10	21.90
0,15	220	11.00	89.10	10.90
Sisa	218	10.90	-	-
Jumlah	2000	100	260.35*	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{260,35^*}{100} = 2.6035$$

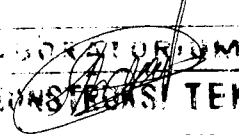
Gradasi pasir


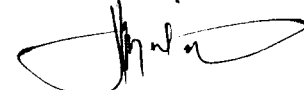
Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat yang lewat ayakan			
	Daerah I (Ps.Kasar)	Daerah II (Ps.agak kasar)	Daerah III (Ps.agak halus)	Daerah IV (Ps.halus)
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100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

Yogyakarta, 24 Oktober 2005

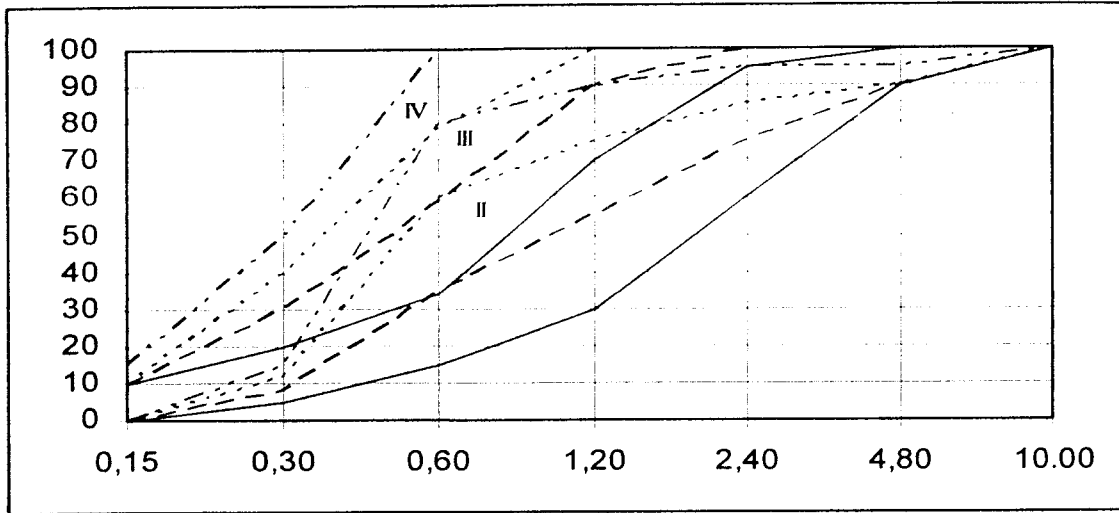
Disyahkan

Dikerjakan oleh


LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII


" 

GRAFIK BATAS GRADASI PASIR

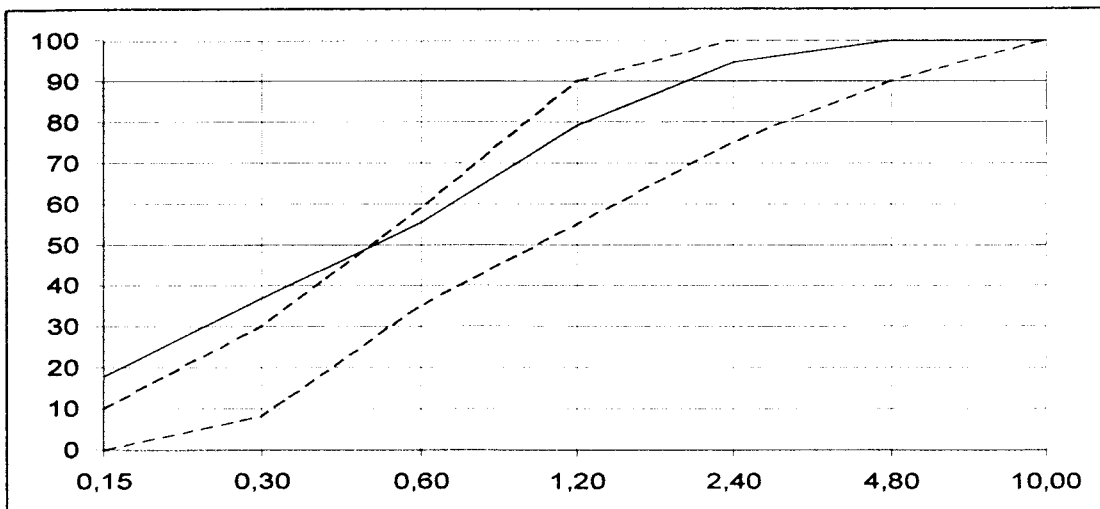


Lubang ayakan (mm)

- Daerah I : _____
- Daerah II : - - - - -
- Daerah III :
- Daerah IV : - . - . - .

Hasil analisa ayakan masuk daerah : 2 (dua), jenis agregat agak kasar

GRAFIK GRADASI PASIR



Lubang ayakan (mm)

LABORATORIUM
 INSTRUKSI TEKNIK
 FAKULTAS TEKNIK UII

Lampiran D.5

Tabel Hasil Pengujian Tarik Belah Beton

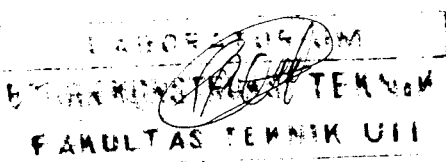
No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm ²)	P maks (kN)	Kuat tarik (MPa)
1	15.0	29.90	12.50	176.625	205	2.911
2	15.0	29.68	12.40	176.625	235	3.362
3	15.4	30.06	12.60	186.171	220	3.027
4	15.1	29.81	12.50	178.988	208	2.943
5	15.3	29.94	12.40	183.761	212	2.948
6	15.2	29.97	12.60	181.366	290	4.055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

$\Sigma = 22.310$
Kuat Tarik Belah Rata-rata = 3.187

$$\text{Kuat Tarik} = \frac{2P}{\pi.LD}$$

P = Beban maksimum (kN)
L = Diameter benda uji (cm)
D = Tinggi benda uji (cm)

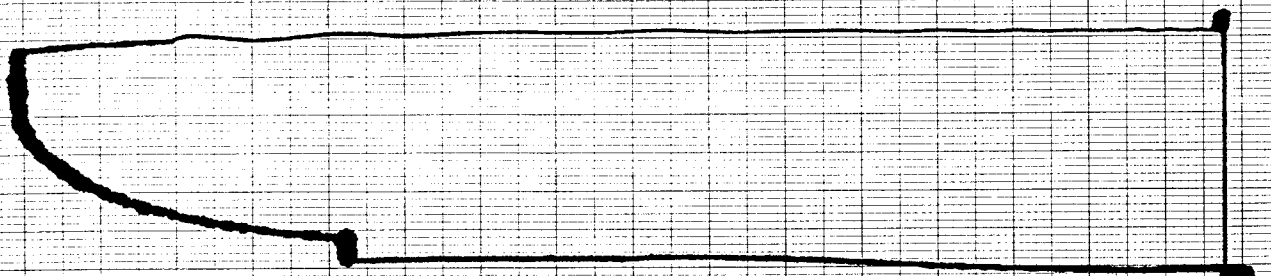
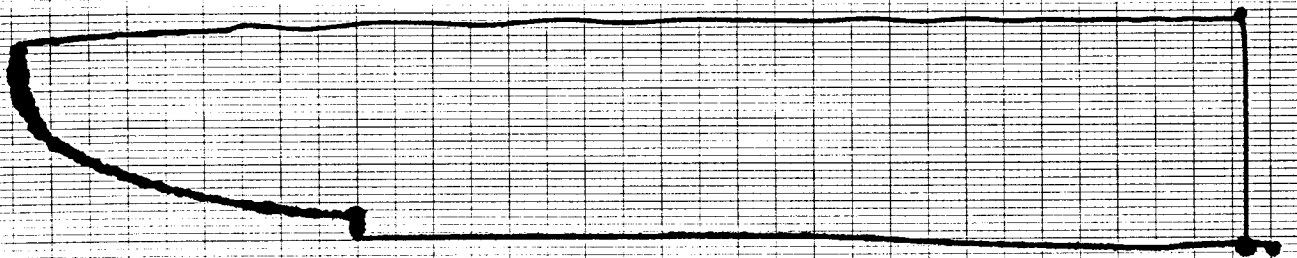
Disyahkan



Yogyakarta,

Dikerjakan oleh





1

LAMPIRAN C

HITUNGAN PERENCANAAN ADUKAN BETON METODE DOE

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

Kuat desak rencana (f'_c)	: 30,047 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 ³
Berat jenis kerikil	: 2,66 t/m ³

Langkah-langkah perencanaan:

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari yaitu $f'_c = 30,047$ Mpa.
2. Penetapan nilai deviasi standar (S_d) = 4,2 Mpa (didapat dari tabel tingkat pengendalian mutu pekerjaan).
3. Perhitungan nilai tambah (M) = $K \cdot S_d$

$$= 1,64 * (S_d * \text{faktor pengali})$$

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

$$= 6,88$$

Keterangan : M = nilai tambah

$$K = 1.64$$

S_d = standar deviasi (didapat dari tabel faktor pengali deviasi standar)

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

$$\begin{aligned}f_{cr} &= f_c + M \\ &= 30,047 + 6,88 \\ &= 36,927 \text{ MPa}\end{aligned}$$

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).

5. Menetapkan jenis semen.

Digunakan jenis semen portland merk Gresik 50 kg.

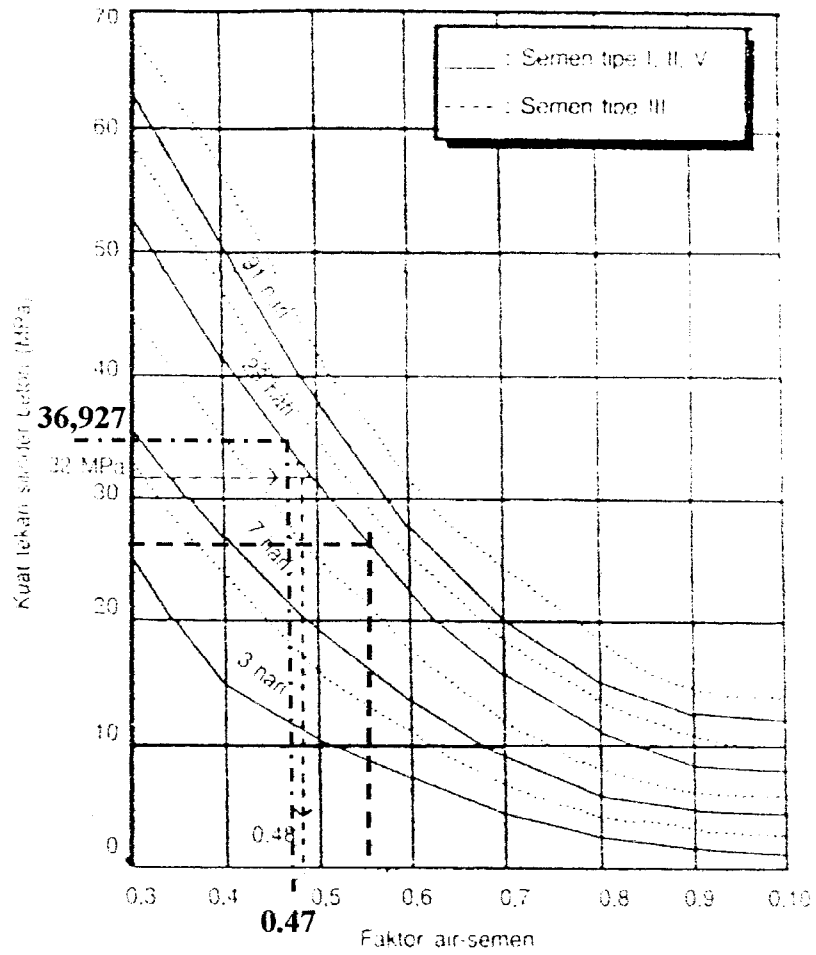
6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)

Digunakan jenis pasir agak halus (termasuk daerah II).

Digunakan jenis kerikil batu pecah ukuran maksimum 20 mm.

7. Menetapkan faktor air semen (fas).

Cara 1 = 0,47 (didapat dari grafik hubungan faktor air semen dan kuat tekan rata-rata silinder beton)



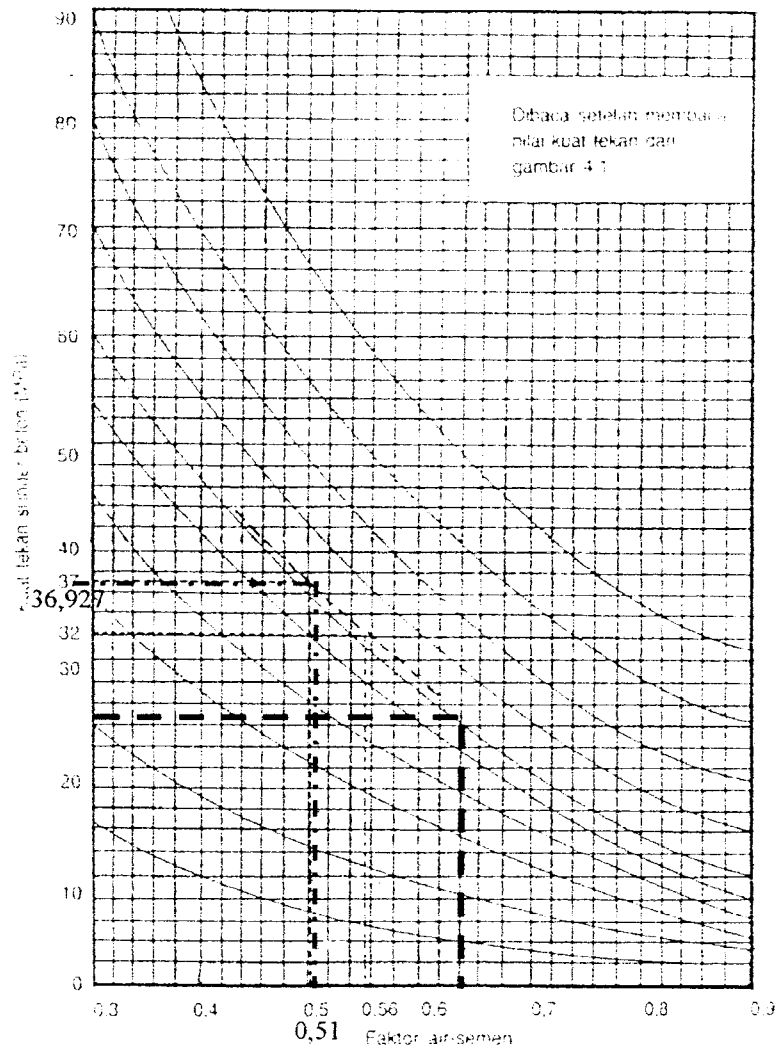
Grafik 1. faktor air semen

Cara 2 = 0,51 (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 pembebanan dan lingkungan khusus, beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dan untuk beton bertulang terendam air).

Diambil yang terkecil, yaitu = 0,48

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/m³

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar

Tabel 5 Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

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

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

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

11. Menentukan kebutuhan semen.

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{air}}{\text{faktor air semen}} \\ &= \frac{225}{0,48} = 468,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

12. Perbandingan pasir dan kerikil = 48,5 % dan 55,5% (Grafik hubungan fas, slump dan ukuran butir maksimum).

13. Menentukan berat jenis agregat campuran pasir dan kerikil.

$$= \frac{48,5}{100} \times 2,60 + \frac{51,5}{100} \times 2,66 = 2,6309 \sim 2,7$$

14. Menentukan berat jenis beton = 2385 kg/m³ (Grafik hubungan kandungan air dan berat jenis campuran).

15. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Berat pasir + kerikil} &= \text{berat beton} - \text{kebutuhan air} - \text{kebutuhan semen} \\ &= 2385 - 225 - 468,75 \\ &= 1691,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

16. Menentukan kebutuhan pasir.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pasir} &= \text{kebutuhan pasir dan kerikil} \times \text{persentase berat pasir} \\ &= 1691,25 \times 48,5 \% \\ &= 820,256 \text{ kg} \end{aligned}$$

17. Menentukan kebutuhan kerikil.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan kerikil} &= \text{kebutuhan pasir dan kerikil} - \text{kebutuhan pasir} \\ &= 1691,25 - 820,256 \\ &= 870,994 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kesimpulan :

Untuk 1 m³ beton dibutuhkan :

a. Air = 225 liter

c. Pasir = 820,256 kg

b. Semen = 468,75 kg

d. Kerikil = 870,994 kg

LAMPIRAN D

DATA HASIL PENGUJIAN SIFAT MEKANIS BETON

Tabel Hasil Pengujian Kuat Desak Silinder

sampel	Ukuran (D)	Tinggi (h)	luas tampang (A)	Berat	Berat / volume	P max	f'c (Mpa)	fr (Mpa)	Kuat Desak (Mpa)
no	cm	cm	cm	kg	kg/m ³	KN	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1	14.971	29.80	176.0320	12.85	2449.6011	685	38.9134	5.36	33.553
2	14.970	30.00	176.0084	12.85	2433.5955	700	39.7708	5.36	34.411
3	14.975	29.29	176.1260	12.65	2452.1533	520	29.5243	5.36	24.164
4	14.950	29.30	175.5385	12.75	2478.9644	635	36.1744	5.36	30.814
5	14.940	29.94	175.3037	12.90	2457.8017	725	41.3568	5.36	35.997
6	14.940	30.05	175.3037	12.50	2372.8728	530	30.2332	5.36	24.873
7	14.960	30.01	175.7734	12.30	2331.7718	625	35.5572	5.36	30.197
8	14.950	29.91	175.5385	12.80	2437.9303	695	39.5925	5.36	34.232
9	14.910	29.87	174.6004	12.55	2406.3752	625	35.7960	5.36	30.436
10	14.990	30.02	176.4790	12.55	2368.8627	650	36.8316	5.36	31.472
11	14.930	30.04	175.0691	12.70	2414.8730	625	35.7002	5.36	30.340
12	14.960	29.87	175.7734	12.50	2380.7935	595	33.8504	5.36	28.490
13	14.940	30.01	175.3037	12.65	2404.5480	725	41.3568	5.36	35.997
14	15.000	28.20	176.7146	12.60	2528.4190	620	35.0848	5.36	29.725
15	14.970	28.20	176.0084	12.68	2554.6809	580	32.9530	5.36	27.593
16	14.998	29.00	176.6675	12.60	2459.3252	600	33.9621	5.36	28.602
17	14.980	29.81	176.2437	12.30	2341.1521	690	39.1503	5.36	33.790
18	14.850	29.88	173.1980	12.59	2432.7773	570	32.9103	5.36	27.550
19	14.960	29.92	175.7734	12.40	2357.8003	710	40.3929	5.36	35.033
20	15.000	29.78	176.7146	12.30	2337.2653	610	34.5189	5.36	29.159
21	14.960	29.93	175.7734	12.60	2395.0289	600	34.1349	5.36	28.775
22	14.960	29.89	175.7734	12.50	2379.2004	635	36.1261	5.36	30.766
23	14.900	30.18	174.3662	12.60	2394.3569	650	37.2779	5.36	31.918
24	14.810	30.31	172.2662	12.90	2470.6076	615	35.7006	5.36	30.341
25	14.990	30.11	176.4790	12.50	2352.3726	640	36.2649	5.36	30.905
26	14.990	29.92	176.4790	12.40	2348.3723	660	37.3982	5.36	32.038
27	14.960	30.24	175.7734	12.40	2332.8501	535	30.4369	5.36	25.077
28	14.920	29.77	174.8347	12.20	2343.9777	580	33.1742	5.36	27.814
29	14.970	29.84	176.0084	12.30	2341.9241	550	31.2485	5.36	25.889
30	15.000	29.92	176.7146	12.50	2364.1554	700	39.6119	5.36	34.252

Tabel Hasil Pengujian Kuat Geser Balok Geser

Sampel	Panjang (l)	Lebar (b)	Tinggi (h)	luas tampang (A)	Berat	Berat / volume	P max	Kuat Geser (Mpa)
no	cm	cm	cm	cm ²	kg	kg/m ³	KN	N/mm ²
1	19.67	9.77	10.00	97.7000	4.85	2523.7296	85	4.350
2	19.77	9.74	10.22	99.5428	4.78	2428.9097	59	2.964
3	19.80	9.80	9.91	97.1180	4.90	2548.1862	93	4.788
4	19.17	9.87	10.07	99.3909	4.80	2519.2572	100	5.031
5	19.83	9.83	10.01	98.3983	4.71	2413.8518	100	5.081
6	20.03	9.75	10.10	98.4750	4.75	2408.1674	102	5.179
7	19.75	9.94	9.86	98.0084	4.80	2479.7668	120	6.122
8	19.94	10.16	10.15	103.1240	5.51	2679.5798	104	5.042
9	18.96	10.10	9.80	98.9800	4.79	2552.4058	100	5.052
10	19.96	10.09	9.92	100.0928	4.90	2452.6338	95	4.746
11	20.00	9.71	9.96	96.7116	4.80	2481.6051	71	3.671
12	20.20	10.20	10.30	105.0600	4.70	2214.6704	85	4.045
13	20.10	10.20	10.00	102.0000	4.70	2292.4593	90	4.412
14	20.10	9.60	10.30	98.8800	4.70	2364.7942	110	5.562
15	19.00	9.25	10.01	92.5925	4.70	2671.5816	70	3.780
16	19.10	9.20	9.90	91.0800	4.60	2644.2435	115	6.313
17	19.50	10.10	10.01	101.1010	4.80	2434.7321	85	4.204

Tabel Hasil Pengujian Tarik Belah Beton

Sampel	Diameter (D)	Tinggi (h)	luas tampang (A)	Berat	Beban maks (P maks)	Kuat Tarik (Mpa)
no	cm	cm	cm²	kg	KN	N/mm²
1	15.00	29.90	176.715	9.55	205	2.910
2	15.00	29.68	176.715	9.60	235	3.360
3	15.40	30.06	186.265	9.40	220	3.025
4	15.10	29.81	179.079	9.70	208	2.942
5	15.30	29.94	183.854	9.40	212	2.946
6	15.20	29.97	181.458	9.50	290	4.053
7	15.30	30.17	183.854	9.60	222	3.062

Tabel Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Sampel	Panjang (l)	Lebar (b)	Tinggi (h)	luas tampang (A)	Berat	Beban maks (P maks)		Kuat Lentur
no	cm	cm	cm	cm ²	kg	kg	kN	kg/cm ²
1	30.00	9.72	10.20	291.600	9.55	1100	10.789	48.948
2	30.00	9.67	10.15	290.100	9.60	1070	10.494	48.332
3	29.80	10.15	10.03	302.470	9.40	1050	10.298	45.965
4	29.10	9.65	10.03	280.815	9.70	1110	10.887	49.909
5	29.30	9.55	10.90	279.815	9.40	1375	13.486	53.260
6	29.50	9.90	9.45	292.050	9.50	1120	10.985	56.057
7	30.00	9.80	9.40	294.000	9.60	1555	15.251	80.809
8	30.10	10.05	9.20	302.505	9.30	1060	10.396	56.263
9	29.80	9.80	10.07	292.040	9.20	1135	11.132	51.053
10	30.10	10.10	10.40	304.010	9.80	1615	15.840	66.749

LAMPIRAN E

DATA HASIL PERHITUNGAN MOMEN KAPASITAS BALOK

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

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

$$\begin{aligned} A_s &= n \cdot A_{tul} \\ &= 3 \cdot 200,96 \\ &= 602,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$f_c' = 30,908 \text{ MPa}$, sehingga bila $f_c' > 30$, maka β_1 dicari dengan persamaan

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

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

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

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

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

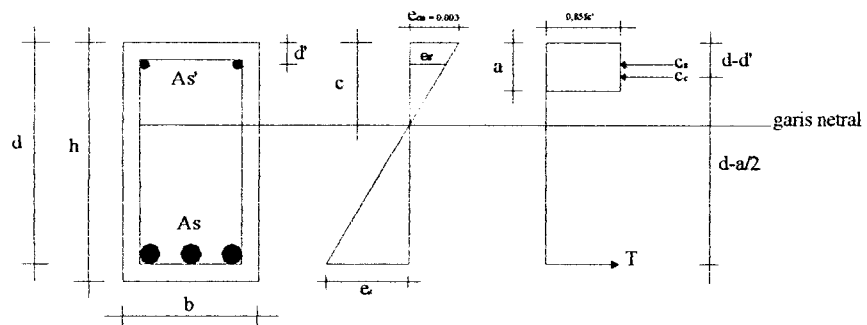
$$= 0,03859$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03859 = 0,02894$$

$$\rho = \frac{(A_s - A_s')}{(b \cdot d)}$$

$$= \frac{(602,88 - 200,96)}{(150 \cdot 280)}$$

$$= 0,01301$$



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:

$$C_c + C_s = T, \text{ bila semua tulangan telah leleh, } f_s' = f_y \text{ dan } f_s = f_y$$

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

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

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

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

$$= \frac{(602,88 - 56,52) \cdot 359}{0,85 \cdot 30,908 \cdot 150}$$

$$= 49,773 \text{ mm}$$

Letak garis netral

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{49,773}{0,843} \\ &= 59,042 \text{ mm}\end{aligned}$$

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.

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

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

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

Karena ϵ_s' dan ϵ_s lebih besar dari ϵ_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.

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

LAMPIRAN F

DATA DAN GRAFIK HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN HASIL PENGUJIAN DAN TEORITIS

1) TSK

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
5	0.15	0.27	0.31	0.243
10	0.27	0.43	0.49	0.397
15	0.41	0.62	0.71	0.580
20	0.46	0.7	0.79	0.650
25	0.54	0.8	0.89	0.743
30	0.72	0.96	1.04	0.907
35	0.8	1.06	1.14	1.000
40	0.86	1.15	1.22	1.077
45	0.93	1.25	1.31	1.163
50	1.01	1.35	1.4	1.253
55	1.08	1.43	1.48	1.330
60	1.15	1.53	1.57	1.417
65	1.28	1.64	1.67	1.530
70	1.37	1.75	1.79	1.637
75	1.69	2.07	2.04	1.933
80	1.78	2.18	2.14	2.033
85	1.89	2.31	2.27	2.157
90	1.98	2.44	2.38	2.267
95	2.11	2.59	2.52	2.407
100	2.22	2.72	2.65	2.530
105	2.36	2.9	2.81	2.690
110	2.5	3.07	2.98	2.850
115	2.64	3.26	3.16	3.020
120	2.88	3.57	3.52	3.323

2) BN

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
13	0.2	0.29	0.22	0.237
16	0.25	0.35	0.29	0.297
20	0.31	0.41	0.35	0.357
25	0.39	0.51	0.46	0.453
30	0.51	0.64	0.59	0.580
35	0.63	0.77	0.73	0.710
40	0.72	0.9	0.75	0.790
45	0.89	1.1	0.93	0.973
50	1.05	1.28	1.07	1.133
55	1.21	1.47	1.23	1.303
60	1.37	1.62	1.36	1.450
65	1.85	2.1	1.73	1.893
70	1.96	2.17	1.8	1.977
75	2.1	2.34	1.93	2.123
80	2.24	2.49	2.06	2.263
85	2.44	2.69	2.21	2.447
90	2.55	2.8	2.3	2.550
95	2.72	2.99	2.47	2.727
100	2.87	3.16	2.63	2.887
105	3.08	3.38	2.84	3.100
110	3.33	3.65	3.11	3.363
115	3.54	3.85	3.26	3.550
120	3.75	4.07	3.56	3.793
125	4	4.31	3.65	3.987
130	4.26	4.57	3.89	4.240
135	4.49	4.81	4.09	4.463
140	5.02	5.36	4.72	5.033
145	5.27	5.62	5.03	5.307
150	5.39	5.73	4.96	5.360
155	5.65	6	5.21	5.620
160	5.93	6.31	5.49	5.910
165	6.22	6.62	5.78	6.207
170	7.83	8.75	7.77	8.117
175	9.68	11.31	10.17	10.387
177	15.96	18.83	15.93	16.907

3) MSK2P

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.26	0.35	0.16	0.26
10	0.49	0.60	0.34	0.48
15	0.85	1.01	0.63	0.83
20	1.11	1.31	0.82	1.08
25	1.26	1.48	0.92	1.22
30	1.50	1.74	1.10	1.45
35	1.68	1.94	1.23	1.62
40	1.87	2.16	1.37	1.80
45	2.08	2.38	1.53	2.00
50	2.28	2.61	1.68	2.19
55	2.45	2.79	1.81	2.35
60	2.57	2.93	1.89	2.46
65	2.74	3.09	1.99	2.61
70	2.91	3.26	2.12	2.76
75	3.19	3.50	2.37	3.02
80	3.38	3.69	2.53	3.20
85	3.55	3.87	2.66	3.36
90	3.74	4.05	2.83	3.54
95	3.90	4.20	2.94	3.68
100	4.12	4.42	3.14	3.89
105	4.31	4.61	3.29	4.07
110	4.53	4.83	3.47	4.28
115	4.73	5.05	3.64	4.47
120	4.92	5.23	3.79	4.65
125	5.12	5.43	3.97	4.84
130	5.31	5.62	4.12	5.02
135	5.51	5.82	4.29	5.21
140	5.70	6.01	4.46	5.39
145	5.94	6.25	4.66	5.62
150	6.11	6.41	4.80	5.77
155	6.32	6.62	4.97	5.97
160	6.51	6.80	5.14	6.15
165	6.73	7.02	5.32	6.36
170	6.92	7.22	5.49	6.54
175	7.18	7.48	5.70	6.79
180	7.63	7.96	6.02	7.20
185	7.97	8.36	6.28	7.54
190	8.70	9.22	6.80	8.24
195	9.72	10.45	7.49	9.22

200	10.24	11.04	7.87	9.72
202	11.30	12.14	8.82	10.75
208	12.04	12.92	9.49	11.48

4) MSK2G

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
5	0.15	0.09	0.09	0.110
10	0.24	0.17	0.18	0.197
15	0.31	0.22	0.25	0.260
20	0.36	0.27	0.3	0.310
25	0.43	0.32	0.37	0.373
30	0.48	0.37	0.42	0.423
35	0.52	0.4	0.46	0.460
40	0.59	0.45	0.53	0.523
45	0.67	0.52	0.61	0.600
50	0.78	0.64	0.72	0.713
55	0.99	0.9	0.93	0.940
60	1.19	1.16	1.13	1.160
65	1.34	1.36	1.28	1.327
70	1.46	1.5	1.4	1.453
75	1.61	1.68	1.56	1.617
80	1.74	1.82	1.68	1.747
85	1.9	2.04	1.84	1.927
90	2.12	2.3	2.06	2.160
95	2.18	2.38	2.12	2.227
100	2.4	2.63	2.34	2.457
105	2.56	2.82	2.5	2.627
110	2.67	2.95	2.7	2.773
115	2.76	3.07	2.8	2.877
120	3.01	3.38	3.12	3.170
125	3.16	3.53	3.15	3.280
130	3.31	3.71	3.3	3.440
135	3.5	3.93	3.52	3.650
140	3.56	3.99	3.54	3.697
145	3.71	4.18	3.72	3.870
150	3.9	4.44	3.9	4.080
155	4.07	4.63	4.06	4.253
160	4.24	4.84	4.14	4.407
165	4.42	5.05	4.31	4.593
170	4.66	5.34	4.53	4.843
175	5.86	6.71	5.72	6.097
180	10.26	15.03	10.1	11.797
185	12.32	19.12	11.2	14.213

5) MS50K2G

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
5	0.18	0.24	0.29	0.237
10	0.22	0.29	0.35	0.287
15	0.33	0.42	0.48	0.410
20	0.42	0.55	0.62	0.530
25	0.54	0.69	0.77	0.667
30	0.68	0.86	0.94	0.827
35	0.82	1.02	1.11	0.983
40	0.99	1.21	1.3	1.167
45	1.11	1.36	1.44	1.303
50	1.3	1.57	1.64	1.503
55	1.47	1.76	1.81	1.680
60	1.67	1.98	2	1.883
65	1.81	2.15	2.16	2.040
70	1.95	2.31	2.31	2.190
75	2.08	2.49	2.47	2.347
80	2.26	2.69	2.67	2.540
85	2.4	2.87	2.83	2.700
90	2.56	3.06	3	2.873
95	2.69	3.22	3.15	3.020
100	2.84	3.41	3.31	3.187
105	2.97	3.56	3.47	3.333
110	3.13	3.76	3.64	3.510
115	3.29	3.95	3.82	3.687
120	3.44	4.14	3.99	3.857
125	3.58	4.3	4.12	4.000
130	3.77	4.52	4.31	4.200
135	3.96	4.77	4.52	4.417
140	4.14	4.95	4.71	4.600
145	4.31	5.14	4.88	4.777
150	4.51	5.38	5.1	4.997
155	4.69	5.59	5.29	5.190
160	4.88	5.81	5.40	5.393
165	5.04	6	5.66	5.567
168	7.04	8.81	7.66	7.837
169	7.94	10.08	8.64	8.887
166	8.36	10.74	9.3	9.467
166	8.57	11.12	9.69	9.793
166	10.01	13.28	11.61	11.633
161	10.04	13.36	11.65	11.683

6) MK2TS

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
5	0.09	0.06	0.04	0.063
10	0.19	0.16	0.14	0.163
15	0.23	0.21	0.19	0.210
20	0.3	0.3	0.27	0.290
25	0.37	0.36	0.35	0.360
30	0.45	0.46	0.45	0.453
35	0.56	0.59	0.57	0.573
40	0.72	0.74	0.72	0.727
45	0.86	0.91	0.87	0.880
50	0.98	1.06	0.97	1.003
55	1.12	1.22	1.11	1.150
60	1.33	1.49	1.35	1.390
65	1.48	1.64	1.48	1.533
70	1.59	1.78	1.59	1.653
75	1.72	1.94	1.73	1.797
80	1.87	2.1	1.87	1.947
85	2.03	2.3	2.04	2.123
90	2.22	2.52	2.24	2.327
95	2.35	2.66	2.36	2.457
100	2.48	2.81	2.48	2.590
105	2.68	3.03	2.66	2.790
110	2.82	3.2	2.8	2.940
115	2.96	3.33	2.93	3.073
120	3.12	3.5	3.09	3.237
125	3.27	3.69	3.24	3.400
130	3.47	3.91	3.44	3.607
135	3.66	4.13	3.64	3.810
140	3.85	4.36	3.84	4.017
145	4.06	4.61	4.06	4.243
150	4.26	4.84	4.28	4.460
155	4.48	5.1	4.52	4.700
160	4.69	5.37	4.76	4.940
165	5.85	6.76	5.81	6.140
170	6.53	7.6	6.45	6.860
172	7.36	8.67	7.21	7.747
174	8.45	10.07	8.19	8.903
177	9.99	12.12	9.64	10.583
176	10.81	13.24	10.4	11.483
176	11.37	14.04	10.95	12.120

7) MK2GTS

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Lendutan rata2
0	0	0	0	0
5	0.05	0.23	0.21	0.163
10	0.17	0.31	0.39	0.290
15	0.31	0.54	0.61	0.487
20	0.36	0.62	0.69	0.557
25	0.44	0.75	0.79	0.660
30	0.62	0.86	0.94	0.807
35	0.7	0.95	1.02	0.890
40	0.76	1.07	1.12	0.983
45	0.83	1.14	1.21	1.060
50	0.91	1.25	1.3	1.153
55	0.98	1.33	1.38	1.230
60	1.05	1.43	1.46	1.313
65	1.18	1.54	1.57	1.430
70	1.27	1.65	1.73	1.550
75	1.59	1.97	1.94	1.833
80	1.68	2.1	2.08	1.953
85	1.79	2.3	2.19	2.093
90	1.88	2.34	2.26	2.160
95	2.01	2.49	2.42	2.307
100	2.14	2.62	2.55	2.437
105	2.26	2.8	2.71	2.590
110	2.4	2.97	2.88	2.750
115	2.61	3.16	3.06	2.943
120	2.78	3.47	3.42	3.223
125	3.03	3.72	3.67	3.473
130	3.23	3.97	3.97	3.723
135	3.43	4.25	4.17	3.950
140	3.63	4.47	4.42	4.173
145	3.83	4.72	4.65	4.400
150	4.03	5.81	5.64	5.160
155	4.56	7.21	6.45	6.073
160	5.44	8.36	7.36	7.053
165	13.22	16.98	14.08	14.760

LAMPIRAN G

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

Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen

1) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen Balok Normal Tanpa Sengkang (TSK)

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	L Retak Geser	L Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan (10 ⁻⁵)
0				0.00		0	0
5	0.15	0.27	0.31			1.4	0.00089
10	0.27	0.43	0.49	0.00		2.8	0.00111
15	0.41	0.62	0.71			4.2	0.00133
20	0.46	0.7	0.79	0.00		5.6	0.00167
25	0.54	0.8	0.89			7	0.00189
30	0.72	0.96	1.04	0		8.4	0.00178
35	0.8	1.06	1.14			9.8	0.00200
40	0.86	1.15	1.22	0		11.2	0.00244
45	0.93	1.25	1.31			12.6	0.00289
50	1.01	1.35	1.4	0		14	0.00322
55	1.08	1.43	1.48			15.4	0.00333
60	1.15	1.53	1.57	0.1	0.12	16.8	0.00378
65	1.28	1.64	1.67			18.2	0.00367
70	1.37	1.75	1.79	0.12	0.13	19.6	0.00378
75	1.69	2.07	2.04			21	0.00456
80	1.78	2.18	2.14	0.14	0.14	22.4	0.00489
85	1.89	2.31	2.27			23.8	0.00511
90	1.98	2.44	2.38	0.16	0.2	25.2	0.00578
95	2.11	2.59	2.52			26.6	0.00611
100	2.22	2.72	2.65	0.2	0.22	28	0.00633
105	2.36	2.9	2.81			29.4	0.00700
110	2.5	3.07	2.98	0.3	0.22	30.8	0.00733
115	2.64	3.26	3.16			32.2	0.00800
120	2.88	3.57	3.52	8	0.22	33.6	0.00822

2) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen Balok Normal (BN)

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	L Retak Geser	L Retak Lentur	M (kNm)	Φ (1/m)
0	0	0	0	0.00	0.00	0	0
13	0.2	0.29	0.22			3.64	0.00178
16	0.25	0.35	0.29	0.00	0.00	4.48	0.00178
20	0.31	0.41	0.35			5.6	0.00178
25	0.39	0.51	0.46	0.00	0.00	7	0.00189
30	0.51	0.64	0.59			8.4	0.00200
35	0.63	0.77	0.73	0.02	0.02	9.8	0.00200
40	0.72	0.9	0.75			11.2	0.00367
45	0.89	1.1	0.93	0.03	0.04	12.6	0.00422
50	1.05	1.28	1.07			14	0.00489
55	1.21	1.47	1.23	0.04	0.08	15.4	0.00556
60	1.37	1.62	1.36			16.8	0.00567
65	1.85	2.1	1.73	0.05	0.1	18.2	0.00689
70	1.96	2.17	1.8			19.6	0.00644
75	2.1	2.34	1.93	0.06	0.12	21	0.00722
80	2.24	2.49	2.06			22.4	0.00756
85	2.44	2.69	2.21	0.1	0.14	23.8	0.00811
90	2.55	2.8	2.3			25.2	0.00833
95	2.72	2.99	2.47	0.12	0.14	26.6	0.00878
100	2.87	3.16	2.63			28	0.00911
105	3.08	3.38	2.84	0.12	0.16	29.4	0.00933
110	3.33	3.65	3.11			30.8	0.00956
115	3.54	3.85	3.26	0.14	0.17	32.2	0.01000
120	3.75	4.07	3.56			33.6	0.00922
125	4	4.31	3.65	0.2	0.17	35	0.01078
130	4.26	4.57	3.89			36.4	0.01100
135	4.49	4.81	4.09	0.2	0.2	37.8	0.01156
140	5.02	5.36	4.72			39.2	0.01089
145	5.27	5.62	5.03	0.22	0.2	40.6	0.01044
150	5.39	5.73	4.96			42	0.01233
155	5.65	6	5.21	0.24	0.22	43.4	0.01267
160	5.93	6.31	5.49			44.8	0.01333
165	6.22	6.62	5.78	0.25	0.24	46.2	0.01378
170	7.83	8.75	7.77			47.6	0.02111
175	9.68	11.31	10.17	0.25	2	49	0.03078
177	15.96	18.83	15.93			49.56	0.06411
171	16.08	19.01	16.08			47.88	0.06511
168	16.16	19.16	16.15			47.04	0.06678

3) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen MSK2P

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	L Retak Geser	L Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
5	0.26	0.35	0.16			1.40	0.00311
10	0.49	0.60	0.34	0.00	0.00	2.80	0.00411
15	0.85	1.01	0.63			4.20	0.00600
20	1.11	1.31	0.82	0.00	0.00	5.60	0.00767
25	1.26	1.48	0.92			7.00	0.00867
30	1.50	1.74	1.10	0.00	0.00	8.40	0.00978
35	1.68	1.94	1.23			9.80	0.01078
40	1.87	2.16	1.37	0.00	0.02	11.20	0.01200
45	2.08	2.38	1.53			12.60	0.01278
50	2.28	2.61	1.68	0.02	0.03	14.00	0.01400
55	2.45	2.79	1.81			15.40	0.01467
60	2.57	2.93	1.89	0.02	0.04	16.80	0.01556
65	2.74	3.09	1.99			18.20	0.01611
70	2.91	3.26	2.12	0.04	0.05	19.60	0.01656
75	3.19	3.50	2.37			21.00	0.01600
80	3.38	3.69	2.53	0.04	0.06	22.40	0.01633
85	3.55	3.87	2.66			23.80	0.01700
90	3.74	4.05	2.83	0.08	0.10	25.20	0.01700
95	3.90	4.20	2.94			26.60	0.01733
100	4.12	4.42	3.14	0.10	0.10	28.00	0.01756
105	4.31	4.61	3.29			29.40	0.01800
110	4.53	4.83	3.47	0.18	0.18	30.80	0.01844
115	4.73	5.05	3.64			32.20	0.01922
120	4.92	5.23	3.79	0.22	0.20	33.60	0.01944
125	5.12	5.43	3.97			35.00	0.01967
130	5.31	5.62	4.12	0.24	0.22	36.40	0.02011
135	5.51	5.82	4.29			37.80	0.02044
140	5.70	6.01	4.46	0.28	0.24	39.20	0.02067
145	5.94	6.25	4.66			40.60	0.02111
150	6.11	6.41	4.80	0.30	0.28	42.00	0.02122
155	6.32	6.62	4.97			43.40	0.02167
160	6.51	6.80	5.14	0.36	0.32	44.80	0.02167
165	6.73	7.02	5.32			46.20	0.02211
170	6.92	7.22	5.49	0.50	0.32	47.60	0.02256
175	7.18	7.48	5.70			49.00	0.02311
180	7.63	7.96	6.02	0.54	0.34	50.40	0.02522
185	7.97	8.36	6.28			51.80	0.02744
190	8.70	9.22	6.80	0.70	1.94	53.20	0.03267
195	9.72	10.45	7.49			54.60	0.04100
200	10.24	11.04	7.87	0.72	2.40	56.00	0.04411
202	11.30	12.14	8.82			56.56	0.04622
208	12.04	12.92	9.49	0.80	2.80	58.24	0.04789

4) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen MSK2G

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Retak Geser	Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan
0	0	0	0	0	0	0	0.0000
5	0.15	0.09	0.09			1.4	0.0007
10	0.24	0.17	0.18	0	0	2.8	0.0009
15	0.31	0.22	0.25			4.2	0.0013
20	0.36	0.27	0.3	0	0	5.6	0.0013
25	0.43	0.32	0.37			7	0.0018
30	0.48	0.37	0.42	0	0	8.4	0.0018
35	0.52	0.4	0.46			9.8	0.0020
40	0.59	0.45	0.53	0	0	11.2	0.0024
45	0.67	0.52	0.61			12.6	0.0027
50	0.78	0.64	0.72	0	0.02	14	0.0024
55	0.99	0.9	0.93			15.4	0.0013
60	1.19	1.16	1.13	0.02	0.04	16.8	0.0000
65	1.34	1.36	1.28			18.2	0.0011
70	1.46	1.5	1.4	0.04	0.06	19.6	0.0016
75	1.61	1.68	1.56			21	0.0021
80	1.74	1.82	1.68	0.08	0.08	22.4	0.0024
85	1.9	2.04	1.84			23.8	0.0038
90	2.12	2.3	2.06	0.1	0.1	25.2	0.0047
95	2.18	2.38	2.12			26.6	0.0051
100	2.4	2.63	2.34	0.12	0.14	28	0.0058
105	2.56	2.82	2.5			29.4	0.0064
110	2.67	2.95	2.7	0.2	0.14	30.8	0.0059
115	2.76	3.07	2.8			32.2	0.0064
120	3.01	3.38	3.12	0.2	0.16	33.6	0.0070
125	3.16	3.53	3.15			35	0.0083
130	3.31	3.71	3.3	0.2	0.22	36.4	0.0090
135	3.5	3.93	3.52			37.8	0.0093
140	3.56	3.99	3.54	0.22	0.26	39.2	0.0098
145	3.71	4.18	3.72			40.6	0.0103
150	3.9	4.44	3.9	0.24	0.28	42	0.0120
155	4.07	4.63	4.06			43.4	0.0126
160	4.24	4.84	4.14	0.3	0.3	44.8	0.0144
165	4.42	5.05	4.31			46.2	0.0152
170	4.66	5.34	4.53	0.34	0.34	47.6	0.0166
175	5.86	6.71	5.72			49	0.0204
180	10.26	15.03	10.1	0.36	2.4	50.4	0.1078
185	12.32	19.12	11.2			51.8	0.1636
181	18.06	26.46	17.86	0.36	3.6	50.68	0.1889
177	19.34	30.54	18.03			49.56	0.2634

5) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen MS50K2G

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	L Retak Geser	L Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan
0	0	0	0			0	0
5	0.18	0.24	0.29	0	0	1.4	0.00011
10	0.22	0.29	0.35			2.8	0.00011
15	0.33	0.42	0.48	0	0	4.2	0.00033
20	0.42	0.55	0.62			5.6	0.00067
25	0.54	0.69	0.77	0.02	0.02	7	0.00078
30	0.68	0.86	0.94			8.4	0.00111
35	0.82	1.02	1.11	0.03	0.02	9.8	0.00122
40	0.99	1.21	1.3			11.2	0.00144
45	1.11	1.36	1.44	0.05	0.06	12.6	0.00189
50	1.3	1.57	1.64			14	0.00222
55	1.47	1.76	1.81	0.06	0.12	15.4	0.00267
60	1.67	1.98	2			16.8	0.00322
65	1.81	2.15	2.16	0.1	0.12	18.2	0.00367
70	1.95	2.31	2.31			19.6	0.00400
75	2.08	2.49	2.47	0.17	0.17	21	0.00478
80	2.26	2.69	2.67			22.4	0.00500
85	2.4	2.87	2.83	0.2	0.17	23.8	0.00567
90	2.56	3.06	3			25.2	0.00622
95	2.69	3.22	3.15	0.2	0.24	26.6	0.00667
100	2.84	3.41	3.31			28	0.00744
105	2.97	3.56	3.47	0.24	0.24	29.4	0.00756
110	3.13	3.76	3.64			30.8	0.00833
115	3.29	3.95	3.82	0.28	0.26	32.2	0.00878
120	3.44	4.14	3.99			33.6	0.00944
125	3.58	4.3	4.12	0.32	0.3	35	0.01000
130	3.77	4.52	4.31			36.4	0.01067
135	3.96	4.77	4.52	0.4	0.34	37.8	0.01178
140	4.14	4.95	4.71			39.2	0.01167
145	4.31	5.14	4.88	0.4	0.38	40.6	0.01211
150	4.51	5.38	5.1			42	0.01278
155	4.69	5.59	5.29	0.42	0.42	43.4	0.01333
160	4.88	5.81	5.49			44.8	0.01389
165	5.04	6	5.66	0.44	0.42	46.2	0.01444
168	7.04	8.81	7.66			47.04	0.03244
169	7.94	10.08	8.64	0.56	2.2	47.32	0.03978
166	8.36	10.74	9.3			46.48	0.04244
166	8.57	11.12	9.69	0.6	2.8	46.48	0.04422
166	10.01	13.28	11.61			46.48	0.05489
161	10.04	13.36	11.65			45.08	0.05589

6) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen MK2TS

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Retak Geser	Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.09	0.06	0.04			1.4	0.00011
10	0.19	0.16	0.14	0	0	2.8	0.00011
15	0.23	0.21	0.19			4.2	0.00000
20	0.3	0.3	0.27	0	0	5.6	0.00033
25	0.37	0.36	0.35			7	0.00000
30	0.45	0.46	0.45	0	0.02	8.4	0.00022
35	0.56	0.59	0.57			9.8	0.00056
40	0.72	0.74	0.72	0.02	0.04	11.2	0.00044
45	0.86	0.91	0.87			12.6	0.00100
50	0.98	1.06	0.97	0.04	0.06	14	0.00189
55	1.12	1.22	1.11			15.4	0.00233
60	1.33	1.49	1.35	0.08	0.08	16.8	0.00333
65	1.48	1.64	1.48			18.2	0.00356
70	1.59	1.78	1.59	0.1	0.1	19.6	0.00422
75	1.72	1.94	1.73			21	0.00478
80	1.87	2.1	1.87	0.12	0.14	22.4	0.00511
85	2.03	2.3	2.04			23.8	0.00589
90	2.22	2.52	2.24	0.2	0.14	25.2	0.00644
95	2.35	2.66	2.36			26.6	0.00678
100	2.48	2.81	2.48	0.2	0.16	28	0.00733
105	2.68	3.03	2.66			29.4	0.00800
110	2.82	3.2	2.8	0.2	0.22	30.8	0.00867
115	2.96	3.33	2.93			32.2	0.00856
120	3.12	3.5	3.09	0.22	0.26	33.6	0.00878
125	3.27	3.69	3.24			35	0.00967
130	3.47	3.91	3.44	0.24	0.28	36.4	0.01011
135	3.66	4.13	3.64			37.8	0.01067
140	3.85	4.36	3.84	0.3	0.3	39.2	0.01144
145	4.06	4.61	4.06			40.6	0.01222
150	4.26	4.84	4.28	0.34	0.34	42	0.01267
155	4.48	5.1	4.52			43.4	0.01333
160	4.69	5.37	4.76	0.36	2.4	44.8	0.01433
165	5.85	6.76	5.81			46.2	0.02067
170	6.53	7.6	6.45	0.36	3.6	47.6	0.02467
172	7.36	8.67	7.21			48.16	0.03078
174	8.45	10.07	8.19			48.72	0.03889
177	9.99	12.12	9.64			49.56	0.05122
176	10.81	13.24	10.4			49.28	0.05856
176	11.37	14.04	10.95			49.28	0.06400

7) Tabel Perhitungan Kelengkungan dan Momen MK2GTS

P (KN)	LVDT1	LVDT2	LVDT3	Retak Geser	Retak Lentur	M (kNm)	kelengkungan
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.05	0.17	0.21			1.4	0.00089
10	0.17	0.33	0.39	0	0	2.8	0.00111
15	0.31	0.52	0.61			4.2	0.00133
20	0.36	0.6	0.69	0	0	5.6	0.00167
25	0.44	0.7	0.79			7	0.00189
30	0.62	0.86	0.94	0.06	0.06	8.4	0.00178
35	0.7	0.96	1.04			9.8	0.00200
40	0.76	1.06	1.12	0.08	0.1	11.2	0.00267
45	0.83	1.14	1.21			12.6	0.00267
50	0.91	1.25	1.3	0.08	0.1	14	0.00322
55	0.98	1.33	1.38			15.4	0.00333
60	1.05	1.43	1.47	0.1	0.12	16.8	0.00378
65	1.18	1.54	1.57			18.2	0.00367
70	1.27	1.65	1.69	0.12	0.12	19.6	0.00378
75	1.59	1.97	1.94			21	0.00456
80	1.68	2.08	2.04	0.14	0.16	22.4	0.00489
85	1.79	2.21	2.17			23.8	0.00511
90	1.88	2.34	2.28	0.16	0.2	25.2	0.00578
95	2.01	2.49	2.42			26.6	0.00611
100	2.12	2.62	2.55	0.16	0.26	28	0.00633
105	2.26	2.8	2.71			29.4	0.00700
110	2.4	2.97	2.88	0.2	0.38	30.8	0.00733
115	2.54	3.16	3.06			32.2	0.00800
120	2.78	3.47	3.42	0.2	0.4	33.6	0.00822
125	3.03	3.72	3.67			35	0.00822
130	3.23	3.97	3.97	0.4	1.2	36.4	0.00822
135	3.43	4.22	4.17			37.8	0.00933
140	3.63	4.47	4.42	0.6	1.4	39.2	0.00989
145	3.83	4.72	4.65			40.6	0.01067
150	4.03	5.72	5.64	1.2	2	42	0.01967
155	4.56	7.19	6.45			43.4	0.03744
160	5.44	8.21	7.36	1.6	2.6	44.8	0.04022
165	13.22	16.98	14.08			46.2	0.07400

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

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

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

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)

$$\begin{aligned}
 I &= \left[\left(\frac{1}{12} b h^3 \right) + \left(b h \left(y_a - \frac{h}{2} \right)^2 \right) + (A_s \cdot (n-1) \cdot (y_b - d')^2) + (A_s' \cdot (n-1) \cdot (y_a - d')^2) \right] \\
 &= \left[\left(\frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 300^3 \right) + \left(150 \cdot 300 \left(159,574 - \frac{300}{2} \right)^2 \right) \right] + (603,186 \cdot (7,654-1) \cdot (140,425- \\
 &20)^2) + (56,549 \cdot (7,654-1) \cdot (159,574-20)^2) - \\
 &= 407163261 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus retak (fr)

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

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

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

2. Setelah Retak Pada Saat Leleh Pertama

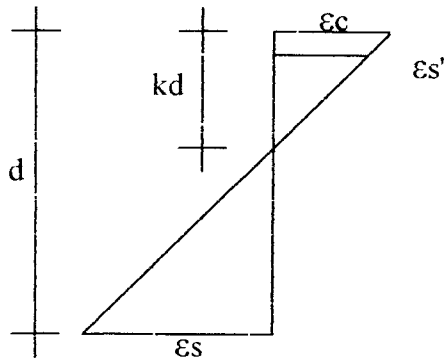
Dengan menganggap beban elastis, maka.

$$\begin{aligned}
 k &= \sqrt{\left[(\rho + \rho')^2 \cdot n^2 + 2 \left(\rho + \frac{(\rho' \cdot d')}{d} \right) n \right] - (\rho + \rho') n} \\
 &= \sqrt{\left[(0,01436 + 0,00135)^2 \cdot 7,654^2 + 2 \left(0,01436 + \frac{(0,00135 \cdot 20)}{280} \right) 7,654 \right]} \\
 &\quad - (0,01436 + 0,00135) 7,654 \\
 &= 0,365
 \end{aligned}$$

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

$$\epsilon_s = \frac{f_v}{E_s} = \frac{359,556}{200000} = 0,001798$$

Dari diagram
didapat:



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

Jadi:

$$f_c = \varepsilon_c \cdot E_c = 0,0010348 \cdot 2000000 = 2069,6$$

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

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s = 0,000832 \cdot 200000 = 166,4 \text{ Mpa}$$

$$C_c = \frac{1}{2} \cdot f_c \cdot b \cdot kd = \frac{1}{2} \cdot 2069,6 \cdot 150 \cdot 102,295 = 157500000 \text{ N} = 157,5 \text{ KN}$$

$$C_s' = A_s' \cdot f_s' = 56,549 \cdot 166,4 = 9415,9293 \text{ N} = 9,416 \text{ KN}$$

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

$$N_d = C_c + C_s' = 157,5 + 9,416 = 166,916 \text{ KN}$$

Jadi

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

Maka:

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

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

3. Setelah leleh pada saat beban maksimum (ultimit)

Dianggap tulangan tekan telah leleh

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

jadi

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

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

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

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:

$$\begin{aligned} M_u &= \left[(0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a) \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] + (A_s' \cdot f_s') \cdot (d - d') \\ &= \left[(0,85 \cdot 30,908 \cdot 150 \cdot 49,875) \left(280 - \frac{49,875}{2} \right) \right] + ((56,549 \cdot 359,556) \cdot (280 - 20)) \\ &= 55418090,2 \text{ Nmm} = 55,418 \text{ KNm} \end{aligned}$$

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

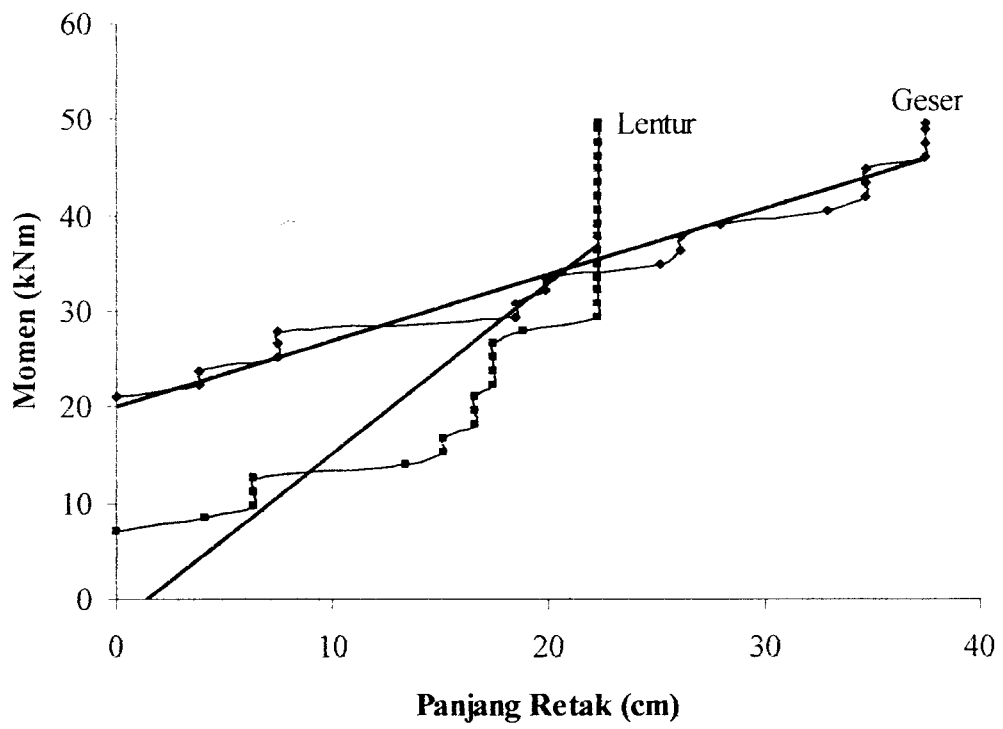
LAMPIRAN H

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

Tabel Panjang Retak

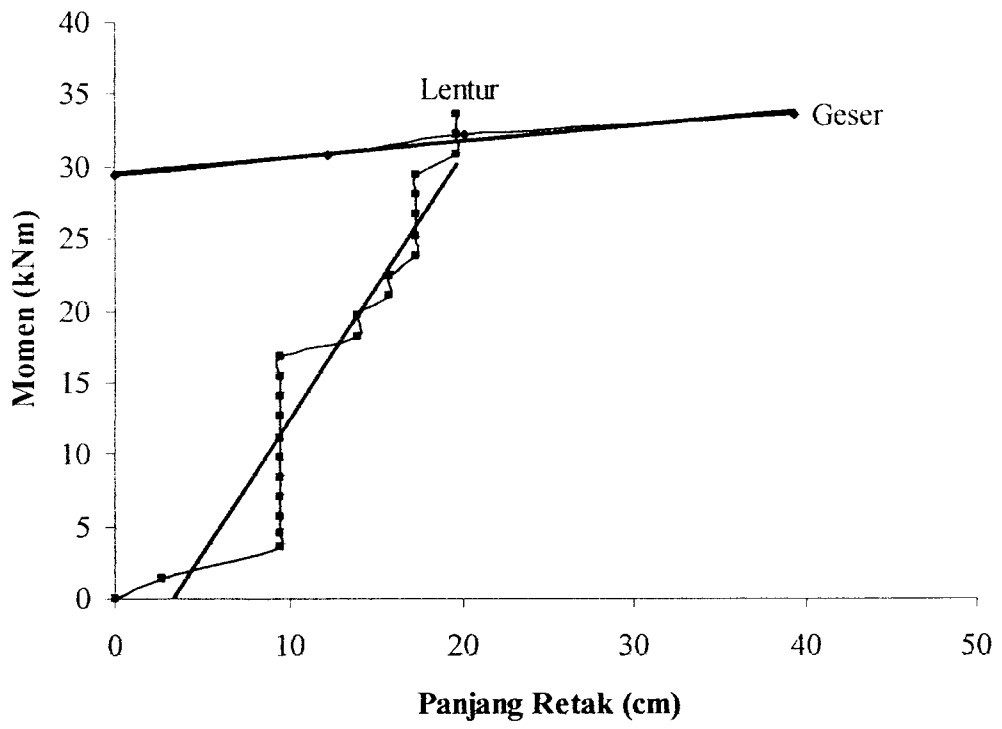
1) BN :

Beban (kN)	Momen (kNm)	Panjang Retak Geser (cm)	Panjang Retak Lentur (cm)
0			
13	3.64		
16	4.48		
20	5.6		
25	7		0
30	8.4		4.04
35	9.8		6.28
40	11.2		6.28
45	12.6		6.28
50	14		13.41
55	15.4		15.15
60	16.8		15.15
65	18.2		16.66
70	19.6		16.66
75	21	0	16.66
80	22.4	3.8228	17.42
85	23.8	3.8228	17.42
90	25.2	7.429	17.42
95	26.6	7.429	17.42
100	28	7.429	18.83
105	29.4	18.4303	22.23
110	30.8	18.4492	22.23
115	32.2	19.8184	22.23
120	33.6	19.8184	22.23
125	35	25.1329	22.23
130	36.4	26.0735	22.23
135	37.8	26.0735	22.23
140	39.2	27.8975	22.23
145	40.6	32.7753	22.23
150	42	34.5615	22.23
155	43.4	34.5615	22.23
160	44.8	34.5615	22.23
165	46.2	37.3552	22.23
170	47.6	37.3552	22.23
175	49	37.3552	22.23
177	49.56	37.3552	22.23



2) TSK :

Beban (kN)	Momen (kNm)	Panjang Retak Geser (cm)	Panjang Retak Lentur (cm)
0	0		0
5	1.4		2.61
13	3.64		9.4117
16	4.48		9.4117
20	5.6		9.4117
25	7		9.4117
30	8.4		9.4117
35	9.8		9.4117
40	11.2		9.4117
45	12.6		9.4117
50	14		9.4117
55	15.4		9.4117
60	16.8		9.4117
65	18.2		13.9844
70	19.6		13.9844
75	21		15.7963
80	22.4		15.7963
85	23.8		17.2618
90	25.2		17.2618
95	26.6		17.2618
100	28		17.2618
105	29.4	0	17.2618
110	30.8	12.2565	19.5998
115	32.2	20.0261	19.5998
120	33.6	39.1353	19.5998



3) MSK2P :

Beban (kN)	Momen (kNm)	Panjang retak Geser (cm)	Panjang retak Lentur (cm)
0	0.00		
5	1.40		
10	2.80		
15	4.20		
20	5.60		
25	7.00		
30	8.40		
35	9.80		
40	11.20		
45	12.60		
50	14.00		0
55	15.40		6.24
60	16.80		8.37
65	18.20		11.43
70	19.60		11.43
75	21.00		15.02
80	22.40		15.02
85	23.80		15.02
90	25.20		15.02
95	26.60	0	15.02
100	28.00	4.6833	15.02
105	29.40	13.8512	15.02
110	30.80	13.8512	15.02
115	32.20	16.1947	16.97
120	33.60	16.1947	16.97
125	35.00	16.1947	16.97
130	36.40	16.1947	16.97
135	37.80	16.1947	16.97
140	39.20	22.4539	16.97
145	40.60	29.5695	20.38
150	42.00	29.5695	20.38
155	43.40	29.5695	20.38
160	44.80	29.5695	20.38
165	46.20	29.5695	20.38
170	47.60	29.5695	20.38
175	49.00	33.2994	20.38
180	50.40	33.2994	20.38
185	51.80	33.2994	20.38
190	53.20	33.2994	20.38
195	54.60	33.2994	20.38