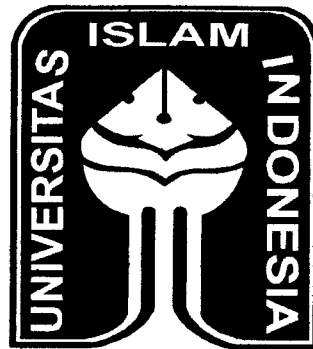


PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELI	
TGL. TERIMA :	14 Februari 2007
NO. JUDUL :	002190
NO. INV. :	520000290001
NO. MASUK :	

LAPORAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS KUAT GESER DAN LENTUR
PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN
PENEMPATAN KAWAT STRIMIN BENTUK
PERSEGI DUA LAPIS**



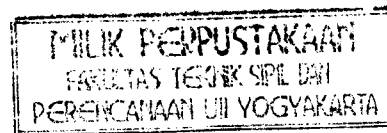
الإسلام جامعة



Disusun Oleh :

Indra Saputra 00 511 050

Heri Sulistiyo 00 511 058



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

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KUAT GESER DAN LENTUR
PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN
PENEMPATAN KAWAT STRIMIN BENTUK
PERSEGI DUA LAPIS**

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


Oleh :

Indra Saputra 00 511 050

Heri Sulistiyo 00 511 058

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dr. Ir. Ade Ilham, MT
Dosen Pembimbing


Tanggal : 5-07-06

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji dan syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, dan shalawat serta salam ditujukan kepada Rasulullah SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tentang **ANALISIS KUAT GESER DAN LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN PENEMPATAN KAWAT STRIMIN BENTUK PERSEGI DUA LAPIS** ini dengan baik.

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

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

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

6. Bapak Ir. Fatkhurrohman N, MT, selaku dosen yang telah membantu kelancaran pengerjaan laporan ini.
7. Research Grant, yang telah mendanai penelitian ini.
8. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Struktur (Mas Aris), Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (Mas Ndaru dan Mas Warno) dan seluruh lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
9. Karyawan Laboratorium PAU, Laboratorium Teknik Mesin (Pak Samsudin) dan Laboratorium Struktur (Pak Morisco, Mas Gianto dan Mas Kino), Universitas Gadjah Mada.
10. Tim Reseach Grant (Danang Adjiebatigol, Wahyudi Hidayat, Anton, Haqul Sono, Bambang, Sigit) dan rekan-rekan : Budi Setyawan, Mahatir, Sincan, Tika, serta semua pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan bantuan ide-ide, dukungan dan tenaganya.

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

Wabillahi taufik walhidayah

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, April 2006

Penulis

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	xiv
ABSTRAKSI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pendahuluan	4
2.2 Kawat Strimin.....	4
2.3 Hasil-hasil Penelitian.....	5
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Balok Beton Bertulang	9
3.2 Sifat-sifat Mekanika Beton.....	10
3.3 Analisis Lentur	11
3.4 Analisis Geser.....	14
3.4.1 Umum.....	14

3.4.2	Gaya Geser Yang Disumbangkan beton	17
3.4.3	Gaya Geser Yang Disumbangkan Tulangan Geser	18
3.5	Hubungan Beban Dan Lendutan	20
3.6	Hubungan Momen Dan Lendutan	23
BAB IV	METODE PENELITIAN	27
4.1	Waktu dan Tempat	27
4.2	Bahan dan Alat	27
4.2.1	Bahan.....	27
4.2.2	Alat.....	29
4.2.3	Perencanaan Benda Uji Balok.....	31
4.3	Perlakuan Dan Rancangan Pengujian.....	32
4.3.1	Perlakuan.....	32
4.3.2	Rancangan Percobaan/Kajian.....	35
4.3.3	Perawatan Benda Uji	38
4.3.4	Proses Pengujian.....	38
4.4	Pengamatan	41
4.5	Prosedur Pengujian.....	42
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
5.1	Pendahuluan	46
5.2	Pengujian Agregat	46
5.3	Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin	47
5.4	Pengujian Kuat Tarik Baja	48
5.5	Pengujian Slump.....	49
5.6	Pengujian Sifat Mekanik Beton.....	49
5.6.1	Pengujian Kuat Desak Beton.....	50
5.6.2	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	50
5.6.3	Pengujian Kuat Lentur Beton	51
5.6.4	Pengujian Kuat Geser Beton	51
5.7	Pengujian Balok Beton Bertulang	51

5.7.1	Hubungan Beban Dan Lendutan	51
5.7.2	Hubungan Momen Dan Kelengkungan.....	59
5.7.3	Analisa Kekakuan Dan Faktor Kekakuan	61
5.7.4	Analisa Daktilitas Simpangan Dan Daktilitas Kelengkungan.....	63
5.7.5	Kapasitas Momen	64
5.7.6	Analisa Geser Balok	65
5.8	Analisa Retak Balok	68
5.8.1	Pola Retak Balok	68
5.8.2	Pola Runtuh Balok.....	70
5.8.3	Hubungan Panjang Retak Dengan Momen	71
5.8.4	Hubungan Lebar Retak Dengan momen	74
BAB IV	KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
6.1	Kesimpulan.....	76
6.2	Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 5.1 Hasil pengujian material.....	47
Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin.....	47
Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik baja.....	48
Tabel 5.4 Hasil pengujian sifat mekanik beton	50
Tabel 5.5 Hubungan momen-kelengkungan teoritis	59
Tabel 5.6 Hubungan momen-kelengkungan pengujian dan teoritis.....	60
Tabel 5.7 Analisa kekakuan balok	62
Tabel 5.8 Analisa daktilitas balok	63
Tabel 5.9 Kapasitas momen	64
Tabel 5.10 Momen retak miring pertama dan ultimit	66
Tabel 5.11 Kapasitas geser.....	67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Kawat strimin las.....	5
Gambar 3.1 Penampang beton bertulang dengan diagram regangan dan tegangan (Dipohusodo, 1994).....	12
Gambar 3.2 Pengaruh a/d dan tebal balok terhadap perlawanan geser (Ferguson, 1986)	14
Gambar 3.3 Distribusi tegangan geser berbentuk parabolis pada penampang homogen (Vis dan Gideon, 1993)	16
Gambar 3.4 Retakan, busur tekan dan ikatan tarik (Vis dan Gideon, 1993)....	17
Gambar 3.5 Menentukan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan (Dipohusodo, 1994).....	19
Gambar 3.6 Lendutan balok	20
Gambar 3.7 Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok.....	20
Gambar 3.8 Hubungan beban dan lendutan pada balok (Nawy E.G., 1998)	22
Gambar 3.9 Kelengkungan balok (Park dan Paulay, 1975)	23
Gambar 3.10 Lendutan pada tampang memanjang balok	26
Gambar 4.1 Penampang melintang balok uji	31
Gambar 4.2 Penampang memanjang balok uji.....	32
Gambar 4.3 Balok tanpa menggunakan sengkang	33
Gambar 4.4 Balok dengan menggunakan sengkang	33
Gambar 4.5 Balok dengan menggunakan kawat strimin.....	34
Gambar 4.6 Balok dengan menggunakan kawat strimin pada daerah geser	34
Gambar 4.7 Balok dengan menggunakan kawat strimin dan sengkang.....	34
Gambar 4.8 Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan Sengkang	35
Gambar 4.9 Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan 50 % sengkang.....	35
Gambar 4.10 Penyetelan pembebanan balok	41

Gambar 4.11	<i>Flow chart</i>	45
Gambar 5.1	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok BN dan TSK.....	52
Gambar 5.2	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TK2TS	53
Gambar 5.3	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TK2GTS	54
Gambar 5.4	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TSK2P	55
Gambar 5.5	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TSK2G.....	56
Gambar 5.6	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kontrol dan balok TS50K2G.....	57
Gambar 5.7	Grafik hubungan beban-lendutan antara balok kawat strimin dan teoritis	58
Gambar 5.8	Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis.....	59
Gambar 5.9	Pola kerusakan balok tanpa sengkang kawat strimin (TSK).....	68
Gambar 5.10	Pola kerusakan balok normal (BN)	68
Gambar 5.11	Pola kerusakan balok TK2TS	68
Gambar 5.12	Pola kerusakan balok TK2GTS	68
Gambar 5.13	Pola kerusakan balok TSK2P	68
Gambar 5.14	Pola kerusakan balok TSK2G	69
Gambar 5.15	Pola kerusakan balok TS50K2G	69
Gambar 5.16	Grafik hubungan momen-panjang retak lentur.....	72
Gambar 5.17	Grafik hubungan momen-panjang retak geser	73
Gambar 5.18	Grafik hubungan momen-lebar retak lentur	74
Gambar 5.19	Grafik hubungan momen-lebar retak geser	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

- A Kartu peserta Tugas Akhir
- B Data hasil pemeriksaan bahan
 - B.1 Hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus
 - B.2 Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar (kerikil)
 - B.3 Data modulus halus butir (MHB) agregat kasar
 - B.4 Data modulus halus butir (MHB) agregat halus
 - B.5 Tabel hasil pengujian kuat tarik baja
 - B.6 Hasil pengujian wiremesh
- C Hitungan perancangan adukan beton metode DOE
- D Data hasil pengujian sifat mekanik beton
 - D.1 Tabel hasil pengujian kuat desak silinder beton
 - D.2 Tabel perhitungan standar deviasi (Sd)
 - D.3 Tabel hasil pengujian kuat geser balok beton
 - D.4 Tabel hasil pengujian kuat lentur beton
 - D.5 Tabel hasil pengujian tarik belah beton
- E Data hasil perhitungan momen kapasitas
- F Data dan grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian dan teoritis
 - F.1 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (BN)
 - F.2 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TSK)
 - F.3 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TK2TS)
 - F.4 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TK2GTS)
 - F.5 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TSK2P)
 - F.6 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TSK2G)
 - F.7 Tabel hubungan beban-lendutan hasil pengujian (TS50K2G)
 - F.8 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok normal
 - F.9 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok tanpa sengkang
 - F.10 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok TK2TS

- F.11 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok TK2GTS
- F.12 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok TSK2P
- F.13 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok TSK2G
- F.14 Hasil perhitungan lendutan teoritis pada balok TS50K2G
- F.15 Gambar grafik hubungan beban-lendutan hasil pengujian dan teoritis
- G Data dan grafik hubungan momen-kelengkungan hasil pengujian dan teoritis
 - G.1 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok
 - G.2 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok tanpa sengkang
 - G.3 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok kawat strimin (tegak) 2 lapis tanpa sengkang (TK2TS)
 - G.4 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok kawat strimin (tegak) 2 lapis geser tanpa sengkang (TK2GTS)
 - G.5 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok kawat strimin (tegak) 2 lapis penuh (TSK2P)
 - G.6 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok kawat strimin (tegak) 2 lapis geser (TSK2G)
 - G.7 Tabel momen-kelengkungan hasil pengujian balok dengan sengkang 50% dan kawat strimin (tegak) 2 lapis geser (TS50K2G)
- H Data dan grafik hubungan momen-panjang retak dan momen-lebar retak
 - H.1 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok normal penuh sengkang (BN)
 - H.2 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok normal tanpa sengkang (TSK)
 - H.3 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok TK2TS
 - H.4 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok TK2GTS
 - H.5 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada

- balok TSK2P
- H.6 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok TSK2G
 - H.7 Tabel hubungan momen-lebar retak dan momen-panjang retak pada balok TS50K2G
 - H.8 Gambar grafik hubungan momen-panjang retak lentur dan regresi hubungan momen-panjang retak lentur
 - H.9 Gambar grafik hubungan momen-panjang retak geser dan regresi hubungan momen-panjang retak geser
 - H.10 Gambar grafik hubungan momen-lebar retak lentur dan regresi hubungan momen-lebar retak lentur
 - H.11 Gambar grafik hubungan momen-lebar retak geser dan regresi hubungan momen-lebar retak geser

DAFTAR NOTASI

A	Tinggi balok tegangan
A	Luas benda uji
A_s	Luas tulangan tarik
A_s'	Luas tulangan tekan
b	Lebar balok
c	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
C_c	Gaya tekan beton
C_s	Gaya tekan baja
d	Tinggi efektif balok
d'	Jarak dari tepi serat tertekan kepusat tulangan tekan
D	Diameter baja tulangan
E_c	Modulus elastis beton
E_s	Modulus elastis baja
f_c'	Kuat tekan beton
f_t	Kuat lentur balok
f_s'	Tegangan baja tekan
f_{sh}	Kuat geser balok
f_t	Kuat tarik belah beton
f_u	Tegangan tarik ultimit
f_y	Tegangan leleh baja
h	Tinggi balok
I	Momen inersia penampang
l_c	Panjang retak
L	Panjang balok
M	Momen
M_n	Momen nominal
P	Gaya, beban
P_u	Beban ultimit
P_y	Beban leleh

S	Momen statis dari bagian yang tergeser terhadap garis netral
T_s	Gaya tarik baja
V	Gaya lintang
V_c	Gaya geser beton
V_n	Gaya geser nominal total
V_s	Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
w	Lebar retak
Δ	Lendutan, defleksi
Δ_y	Lendutan leleh
β_1	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
ϵ_c	Regangan beton
ϵ_s	Regangan baja tarik
ϵ_s'	Regangan baja tekan
ϵ_y	Regangan leleh baja
v	Tegangan geser
ρ	Ratio tulangan tarik
ρ_b	Rasio tulangan seimbang
ρ_w	Rasio tulangan
ϕ	Kelengkungan
DOE	Department of Environment
TSK	Balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang
BN	Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang
TK2TS	Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin sebagai pengganti sengkang
TK2GTS	Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser
TSK2P	Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin dan sengkang
TSK2G	Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan sengkang
TS50K2G	Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser

ABSTRAKSI

Retak-retak merupakan pertanda awal dari keruntuhan balok beton bertulang yang dibebani lentur. Keruntuhan tersebut diakibatkan retak yang semakin lebar dan panjang, yang merupakan kelanjutan dari pola retak yang terjadi pada awal retak. Keruntuhan balok beton bertulang tidak dikehendaki terjadi secara tiba-tiba yang merupakan tipe dari keruntuhan geser. Untuk itu balok beton bertulang harus dirancang bersifat daktail, yaitu kuat geser harus lebih kuat daripada kuat lenturnya. Untuk mencapai kondisi tersebut, balok diberi tulangan badan atau tulangan geser berupa sengkang. Dan untuk memperoleh sifat balok yang lebih daktail diperlukan tulangan geser yang lebih rapat dibanding pada daerah lentur. Dalam penelitian ini dicari alternatif untuk menggantikan peran sengkang yaitu dengan menggantikan sebagian atau seluruh peran sengkang tersebut pada daerah lentur maupun geser dengan kawat strimin bentuk persegi 2 lapis.

Pada penelitian ini, dibuat benda uji balok beton bertulang dengan selubung kawat strimin persegi 2 lapis dengan ukuran diameter 0.9 mm dan jarak bukaan kawat sebesar 2,54 x 2,54 (cm). Balok uji terdiri dari 7 model balok, balok kontrol yang berjumlah 2 balok yaitu balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang (TSK) dan balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang (BN), sedangkan 5 balok sebagai balok yang diberi variasi kawat strimin dan sengkang antara lain: Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin sebagai pengganti sengkang (TK2TS), balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser (TK2GTS), balok beton bertulang menggunakan kawat strimin dan sengkang (TSK2P), balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan sengkang (TSK2G) dan balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser (TS50K2G). Dengan ukuran bentang balok (L) = 1920 mm, lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 300mm. Sebelum pengujian dilakukan balok dilapisi kapur dan dibuat kotak-kotak agar pola retak dapat terlihat. Pembacaan beban tiap kenaikan 5 kN dan lebar retak diukur tiap 10 kN dengan alat *microcrack*, hasil dari beban dan lendutan dapat dilihat pada alat *datalogger* yang terhubung dengan *loadcell* dan 3 buah *LVDT*, sedangkan tumpuan yang digunakan adalah sendi dan rol.

Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah beban, lendutan, lebar retak dan panjang retak. Dan setelah dianalisis beban maksimum dan lendutan yang diperoleh masing-masing balok antara lain: BN (177 kN, 16.907 mm), TSK (120 kN, 3.323 mm), TK2TS (180 kN, 14.087 mm), TK2GTS (185 kN, 12.147 mm), TSK2P (170 kN, 8.173 mm), TSK2G (180 kN, 13.907 mm) dan TS50K2G (188 kN, 15.247 mm). Sedangkan kekakuan dan daktilitas dari masing-masing balok antara lain BN (26.583 kN/mm, 2.723), TSK (42,77 kN/mm, 2.03), TK2TS (25.26 kN/mm, 2.094), TK2GTS (28.157 kN/mm, 2.073), TSK2P (33.827 kN/mm, 1.727), TSK2G (36.817 kN/mm, 3.304) dan TS50K2G (34.979 kN/mm, 3.138). Dari data yang diperoleh penggunaan kawat strimin bila dibandingkan dengan balok tipe BN yang merupakan balok kontrol adanya peningkatan kekuatan dan juga keretakan pada daerah lentur maupun daerah geser terjadi secara bertahap.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan di berbagai bidang yang sangat pesat terutama dalam bidang sarana dan prasarana umum seperti gedung, jembatan, bendungan dan lain-lain, sangat memerlukan struktur/konstruksi yang sangat handal dan memadai. Tidak hanya kekuatan dan keamanannya saja, tetapi juga kenyamanan dan tidak kalah penting faktor ekonomisnya. Untuk itu pemilihan jenis konstruksi sangat penting.

Penggunaan beton sebagai salah satu bahan struktur bangunan yang paling populer di Indonesia. Hal ini disebabkan karena bahan baku beton tersedia cukup melimpah dan murah. Disamping itu beton sangat fleksibel dan dapat dibentuk sesuai dengan bentuk struktur dan konstruksi yang diinginkan. Beton juga memiliki sifat khusus yang merupakan keunggulannya, yaitu kemampuannya yang besar dalam menahan desak dibanding bahan konstruksi yang lain.

Meskipun beton memiliki kuat desak yang relatif tinggi, namun juga memiliki kelemahan yaitu bersifat getas karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Untuk mengurangi sifat yang kurang baik dari beton tersebut maka beton dipasang tulangan dengan pemasangan secara benar, walaupun demikian penambahan baja tulangan belum memberikan hasil yang benar-benar memuaskan karena adanya retak-retak melintang yang halus masih sering timbul pada daerah tarik di tengah bentang yang disebabkan oleh beban lentur dan pada daerah tumpuan disebabkan oleh geser.

Salah satu cara untuk mengurangi retak-retak halus dan miring pada balok beton adalah memberi baja tulangan untuk sengkang atau bahan yang mampu menahan geser seperti kawat strimin sehingga retak-retak yang mungkin terjadi akibat gaya lentur dan geser akan ditahan oleh kawat strimin tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan atas permasalahan yang telah diuraikan di atas, maka masalah yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

1. Seberapa besar pengaruh kawat strimin berbentuk persegi dengan jarak bukaan kawat 2,54 x 2,54 (cm) memberi kontribusi terhadap kuat lentur dan geser pada balok beton bertulang.
2. Bagaimana pengaruh hubungan antara beban-lendutan sebelum dan sesudah menggunakan kawat strimin.
3. Bagaimana pola retak dan pola runtuh yang terjadi pada balok beton bertulang sebelum dan sesudah diberi kawat strimin.
4. Seberapa besar daktilitas (*ductility*) balok sesudah diberi kawat strimin.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui seberapa besar beban maksimum yang dapat ditahan dan lendutan yang terjadi pada balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin.
2. Seberapa besar peningkatan kekakuan dan daktilitas balok sebelum dan sesudah diberi kawat strimin.
3. Mendapatkan pola retak dan pola runtuh pada balok beton bertulang sebelum dan sesudah diberi kawat strimin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan kawat strimin terhadap kuat lentur dan kuat geser pada balok beton bertulang.
2. Diharapkan dapat menambah pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca mengenai penggunaan kawat strimin sebagai pengganti sengkang pada balok beton bertulang.
3. Sebagai ide pengembangan untuk penelitian lebih lanjut dengan menggunakan jenis kawat strimin yang lain.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah ini dibuat agar masalah yang akan diteliti lebih terarah. Adapun batasan – batasan tersebut adalah :

1. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dari Clereng, Kulon Progo dengan diameter maksimum 20 mm.
2. Agregat halus menggunakan pasir dari kali Boyong, Sleman.
3. Bahan ikat yang digunakan adalah semen jenis I merk Nusantera.
4. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Perhitungan komposisi campuran beton menggunakan metode DOE (*Department Of Environment*) dan pembuatan campuran beton berpedoman pada SK – SNI T28 – 1991 – 03.
6. Nilai *slump* yang digunakan 12 cm.
7. Mutu beton berdasarkan hasil pengujian ini adalah beton dengan $f_c' = 30,908$ MPa dan baja tulangan mutu BJTP 24 dengan diameter 6 mm untuk tulangan memanjang atas, dan mutu BJTP 30 dengan diameter 16 mm untuk tulangan memanjang bawah, serta dipakai sengkang diameter 6 mm.
8. Kawat strimin sebagai pengganti sengkang dipakai kawat strimin tegak dua lapis dengan jarak bukaan kawat 2,54 x 2,54 (cm).
9. Uji terhadap balok dan silinder dilakukan pada umur 28 hari, dilaksanakan di Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia, dan Laboratorium Struktur S1, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
10. Pembebanan pada balok hanya beban titik saja.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Permasalahan yang penting pada balok beton bertulang adalah bagaimana cara mengurangi keretakan yang terjadi, sehingga untuk itu diperlukan bahan tambah berupa jaringan kawat yang dikenal dengan kawat ayam atau strimin. Abdullah (1999) mengemukakan bahwa jika pada beton yang jumlah tulangan lentur dan tulangan geser sedikit/kurang, dan kemudian diberi penguat berupa selubung (*jacket*) pada bagian luarnya, kekuatan kolom tersebut akan meningkat, dan yang paling penting adalah daktilitasnya juga meningkat secara signifikan. Karenanya, penggunaan selubung, baik dari pelat baja, *composite base material* (*carbon fiber sheet*, *aramid*, dsb), maupun beton bertulang, banyak kita jumpai aplikasinya dalam bentuk yang lebih baik. Berdasarkan penelitian tersebut, pada penelitian ini, sebagai bahan untuk selubung digunakan kawat strimin. Perbedaannya dari beton bertulang yang sudah umum dikenal adalah jika pada beton bertulang, tulangan yang digunakan adalah batangan besi, sedangkan pada ferosemen (*ferrocement*) sebagai tulangan digunakan kawat strimin, misalnya jaringan kawat ayam.

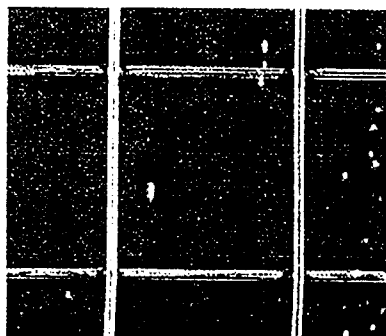
Kawat strimin ini dapat mengurangi keretakan-keretakan halus pada balok beton bertulang dan juga dapat mengurangi tulangan geser atau sengkang pada daerah tumpuan.

2.2 Kawat Strimin

Kawat strimin ini bisa didapatkan dipasaran, yang terdiri dari kawat halus, garis tengah tidak lebih dari 1/16 in (1,5 mm) baik di anyam ataupun di las dalam bentuk jala. Syarat utama adalah mudah dibentuk, cukup lentur untuk ditekuk pada sudut konstruksi lengkung atau tajam (Anshori dkk., 2001).

Kegunaan kawat strimin dan tulangan baja pertama-tama adalah sebagai pelepas yang membentuk rangka dan menahan mortar pada saat basah. Pada keadaan setelah mengeras gunanya untuk menerima gaya tarik di mana mortar

sendiri tidak bisa menerimanya. Sifat mekanika ferosemen sangat tergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan dari pada kawat strimin dan baja tulangan. Tipe kawat strimin dapat diterangkan di bawah (Anshori dkk., 2001):



Gambar 2.1 Kawat strimin las

Kawat strimin seperti terlihat pada Gambar 2.1 ini di anyam dengan bukaan $\frac{1}{2}$ in adalah yang biasa digunakan. Kawat strimin ini terbuat dari kawat berkekuatan rendah sampai sedang dan lebih kaku. Kawat strimin ini mudah juga dibentuk, tetapi pertemuan antara dua kawat yang bersilangan merupakan bagian yang lemah akibat las yang tidak baik pada waktu pembuatan kawat strimin. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa kawat strimin yang dibuat dari kawat berkekuatan tinggi lebih cenderung luluh daripada jenis kawat lain, ketika sambungan mendapat beban. Untuk kontur konstruksi yang lengkung, kawat jala ini lebih sukar untuk digunakan. Kecenderungan tertekuk atau patah lebih banyak daripada kawat lain (Anshori dkk., 2001).

2.3 Hasil-hasil Penelitian

Pada penelitian ini dicantumkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan dan digunakan sebagai tinjauan pustaka, antara lain :

1. Penelitian Martopo dan Yanuar Hadi (1997)

Penelitian yang berjudul **Pengaruh Penambahan Fiber Kawat Strimin Terhadap Kuat Lentur Beton** membahas tentang penggunaan serat dari potongan kawat strimin dengan dua model bentuk yaitu

bentuk lurus dan silang, dengan panjang masing-masing 50 mm dan diameter 1.2 mm. Pengujian dilakukan pada empat konsentrasi serat yaitu 0%, 2%, 2.5% dan 3%, serta umur benda uji untuk pengujian kuat lentur adalah 14, 21 dan 28 hari dan uji desak pada umur 28 hari. Dengan menggunakan benda uji balok 10 x 10 x 50 (cm) dan variasi *fiber* kawat strimin lurus dan silang didapatkan kenaikan kuat lentur untuk *fiber* kawat strimin lurus masing-masing sebesar 1,01 %, 4,74 %, dan 6,28 % dengan konsentrasi penambahan 2,0 %, 2,5 % dan 3,0 %, sedangkan untuk *fiber* kawat strimin silang didapatkan penambahan kuat tekan sebesar 1,23 %, 7,23 %. dan 7,93 % dengan konsentrasi penambahan *fiber* sama dengan penambahan *fiber* kawat strimin lurus.

2. Penelitian Heri Purwanto dan Cholis Yudianto (2000)

Penelitian yang berjudul **Penulangan Geser Minimum Dalam Balok Beton Mutu Normal Dan Balok Beton Mutu Tinggi (Studi Eksperimental)** membahas mengenai perbedaan perilaku balok mutu tinggi dan beton mutu normal dalam menahan lentur dan geser dengan menggunakan tulangan geser minimum jarak sengkang yang maksimum ($d/2$) menurut SK-SNI. Dengan menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran lebar (b) = 150 mm, tinggi (h) = 200 mm dan panjang (L) = 2000 mm dengan menggunakan 2D₆ untuk tulangan tekan, 5D₁₂ untuk tulangan tarik dan diameter 6 untuk tulangan geser dengan jarak 100 mm dengan bentang geser sebesar 600 mm. Dari hasil pengujian lentur dan geser untuk balok mutu tinggi diperoleh kekuatan lentur sebesar 70-80 KN dan kekuatan gesernya sebesar 35-40 KN sedangkan untuk balok mutu normal diperoleh kekuatan lenturnya sebesar 55-70 KN dan kekuatan gesernya sebesar 27,5-35 KN. Dari hasil pengujian pada balok dapat diketahui peningkatan kemampuan balok dalam menerima gaya lentur dan gaya geser pada beton mutu tinggi dibandingkan dengan beton mutu normal. Dari hasil penelitian juga diperoleh kesimpulan bahwa balok uji seperti di atas dengan menggunakan tulangan geser minimum dan jarak maksimum ($d/2$) ternyata balok masih mampu menahan gaya

geser yang terjadi, ini terbukti dari jenis keruntuhan yang terjadi yaitu balok runtuh karena lentur.

3. Penelitian Erna Sukmawati dan Ari Herawati (2001)

Penelitian yang berjudul **Pengaruh Variasi Panjang Dan Prosentase Serat Terhadap Kuat Geser Pada Beton Bertulang** membuktikan secara eksperimen bahwa kuat geser ultimit suatu balok beton bertulang akan meningkat bila ditambah serat lokal dalam adukan beton balok serat tersebut. Dengan menggunakan benda uji balok 12 x 20 x 200 (cm), dan variasi panjang *fiber* baja lokal 5 cm, 6 cm, 7 cm, 8 cm, dan 9 cm serta variasi konsentrasi *fiber* sebesar 0,75 % dan 1,5 % diperoleh hasil bahwa kapasitas geser terbesar didapat pada benda uji dengan variasi *fiber* panjang 8 cm dan prosentase serat 1,5 % sebesar 95373,08498 N. Dari nilai tekanan geser pada beton bila dibandingkan dengan tegangan geser rencana terjadi kenaikan berturut-turut. Pada variasi serat dengan panjang serat terpanjang yaitu 9 cm dan prosentase serat 0,75 % terjadi peningkatan sebesar 37,62 %. Sedangkan pada variasi serat 9 cm dan prosentase serat 1,5 % kenaikannya mencapai 68,33 %.

4. Penelitian Septiyarso Sony Irawan dan Akhmad Musyafak (2001)

Penelitian yang berjudul **Pengaruh Variasi Geometri Serat Baja Lokal Terhadap Kuat Geser Balok Beton** membahas mengenai pemberian serat atau fiber terhadap beton dengan harapan kuat tarik dan kuat geser dapat diperbaiki. Hal ini disebabkan karena terjadinya lekatan antara serat baja dengan pasta dalam beton (*bond strength*), karena apabila *bond strength* yang terjadi kuat maka kekuatan beton serat akan bertambah besar. Penelitian eksperimental menguji lima belas balok lima variasi geometri serat baja lokal dengan ukuran 150 x 250 x 1000 (mm) yang masing-masing variasi terdiri lima balok yaitu: Beton tanpa serat, serat baja lurus (*straight-fiber*), serat baja berkait (*hooked-fiber*), serat baja spiral (*crimped-fiber*) tipe 1 dan serat baja spiral (*crimped-fiber*) tipe 2. Dari uji silinder dapat diketahui bahwa penambahan serat baja lokal (bendrat) dengan konsentrasi 1% dari pasta semen akan meningkatkan

kuat tekan dan kuat tarik beton. Dari pengujian lima variasi serat baja yang menghasilkan kuat tarik dan kuat tekan terbesar yaitu silinder dengan penambahan serat baja spiral tipe 1 dengan peningkatan sebesar 7,43 % untuk kuat tekan dan 35,21 % untuk kuat tarik dibandingkan dengan beton tanpa serat. Untuk pengujian balok dari lima variasi geometri yang menghasilkan beban terbesar pada retak pertama adalah balok dengan penambahan serat bendrat bergeometri spiral tipe 2, sedangkan yang menghasilkan panjang retak terpanjang adalah balok dengan penambahan serat bendrat bergeometri spiral tipe 1 dan yang menghasilkan panjang retak terpendek adalah balok dengan penambahan serat bendrat bergeometri berkait. Untuk sudut retak terbesar dihasilkan oleh balok dengan penambahan serat bendrat bergeometri berkait dan yang menghasilkan sudut retak terkecil adalah balok dengan penambahan serat bendrat bergeometri spiral tipe 1.

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

Penelitian yang dilakukan oleh Abdullah (1999) dengan judul **Ferrosemen Sebagai Alternatif Material Untuk Memperkuat Kolom Beton Bertulang**, menyimpulkan dari hasil pengujian sebanyak sebelas (11) benda uji kolom berukuran 120 mm x 120 mm dengan tinggi 600 mm. Ferrosemen (*ferrocement*), sebagai bahan alternatif untuk selubung penguat kolom adalah sangat *feasible*. Dengan memasang selubung ferrosemen (*ferrocement*) yang hanya diperkuat oleh dua lapis jaringan kawat (*volume fraction of about 1,54 %*), kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya meningkat secara signifikan.

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Balok Beton Bertulang

Balok merupakan bagian struktural yang penting, bertujuan 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

Sifat-sifat mekanik beton terdiri dari 4 macam, yaitu: kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser beton.

1. Kuat desak beton

Kuat desak beton dipengaruhi oleh komposisi dan kekuatan masing-masing bahan susun dan lekatan pasta semen pada agregat. Kuat desak beton secara umum memang cukup besar, sifat inilah yang paling menonjol pada beton. Nilai kuat desak beton dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan: P = Beban maksimum (kN)

$$A = \text{Luas benda uji, } \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

2. Kuat tarik belah beton

Nilai kuat tarik belah beton dihitung dengan persamaan berikut.

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

dengan : P = Beban maksimum (kN)

L = Diameter benda uji (cm)

D = Tinggi benda uji (cm)

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

3. Kuat Lentur

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)

4. Kuat geser

Nilai kuat geser dihitung dengan persamaan berikut.

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

dengan : P = Beban maksimum (kN)
 L = Luas benda uji, panjang x lebar (cm²)

3.3 Analisis Lentur

Kekuatan lentur atau momen tahanan penampang balok adalah kapasitas tegangan-tegangan dalam yang membentuk sebuah momen kopel sebagai perlawanan dari momen lentur luar yang timbul sebagai akibat beban luar (Dipohusodo, 1994). Tegangan didefinisikan sebagai beban aksial dibagi dengan luas penampang batang semula, sebelum beban bekerja (Kardiyono, 1992).

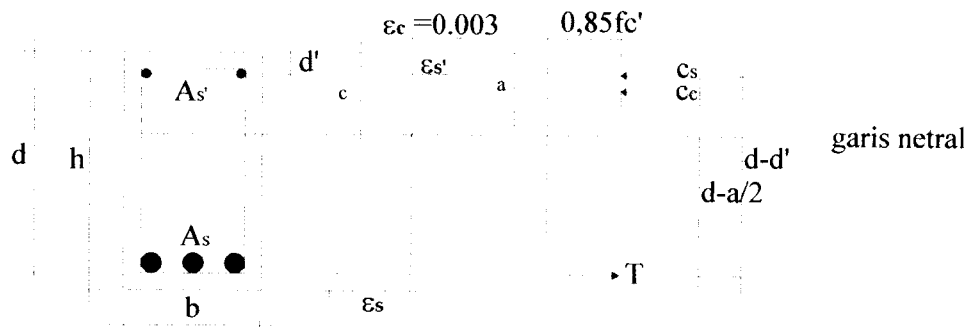
Besaran-besaran di dalam menentukan persegi yang bertulangan rangkap adalah b, d, As' dan As. Luas As diperoleh dari gabungan sejumlah luas tulangan tarik balok. Karena kekuatan tarik beton diabaikan dalam perhitungan lentur, maka bentuk dari penampang di daerah tarik dan besarnya selimut beton tidak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

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

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

1. Bagian yang bertulangan tunggal, termasuk balok segi empat ekuivalen, dengan luas tulangan tarik adalah $A_s - A_{s2}$.
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 3.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Penampang beton bertulang dengan diagram regangan dan tegangan (Dipohusodo, 1994)

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

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot (0,003) \text{ dan } \varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot (0,003)$$

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

dengan : ε_s' = regangan baja tekan

ε_s = regangan baja tarik

ε_y = regangan leleh baja

1. Kemungkinan a

Menganggap semua tulangan telah leleh, sehingga gaya-gaya dalam dari gambar 3.1 dihitung dengan rumus :

$$C_c = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \quad (3.5)$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y \quad (3.6)$$

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

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 :

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

$$0,85 f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y \quad (3.9)$$

sehingga dari persamaan 3.9 didapat nilai a :

$$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0,85 f_c' \cdot b} \quad (3.10)$$

Jarak garis netral c . $c = \frac{a}{\beta_1}$

sehingga momen nominal untuk tulangan rangkap dapat dihitung dengan persamaan :

$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (3.11)$$

dengan: M_n = momen nominal

d = tinggi efektif balok

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

2. Kemungkinan b

Apabila $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ dan $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, baja tekan belum leleh tetapi baja tarik telah leleh, maka dicari nilai a adalah dari persamaan keseimbangan dan diagram tegangan pada Gambar 3.1 sehingga didapat nilai c :

$$(0,85 f_c' \cdot b \cdot \beta_1) \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - (600 \cdot d \cdot A_s') = 0 \quad (3.12)$$

nilai dari tegangan baja tekan dicari dengan persamaan :

$$f_s' = \varepsilon_s \cdot E_s = \frac{c-d'}{c} (0,003) \cdot 200000 = \frac{c-d'}{c} \cdot 600 \quad (3.13)$$

dengan: f_s' = tegangan baja tekan

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton

Menurut SK-SNI T-15-1991-03 (1991)

a. Untuk $f_c' \leq 30$ MPa, $\beta_1 = 0,85$

b. Untuk $f_c' > 30$ MPa, $\beta_1 = 0,85 - 0,008(f_c' - 30) \geq 0,65$

maka momen nominal dapat dicari dengan persamaan :

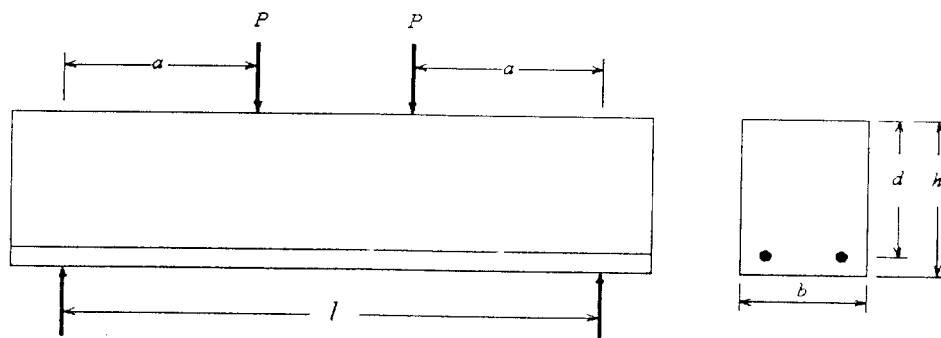
$$M_n = 0,85 f_c' \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad (3.14)$$

3.4 Analisis Geser

3.4.1 Umum

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

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



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

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

1. Kegagalan Tarik Diagonal

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

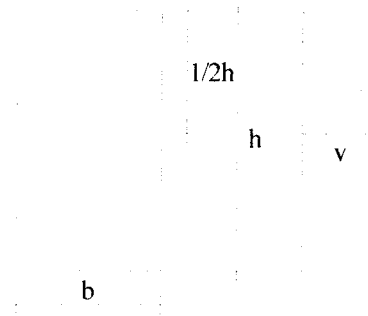
2. Kegagalan Tekan-Geser

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

3. Kegagalan-belah

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

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



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

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

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

dengan : V = gaya lintang.

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

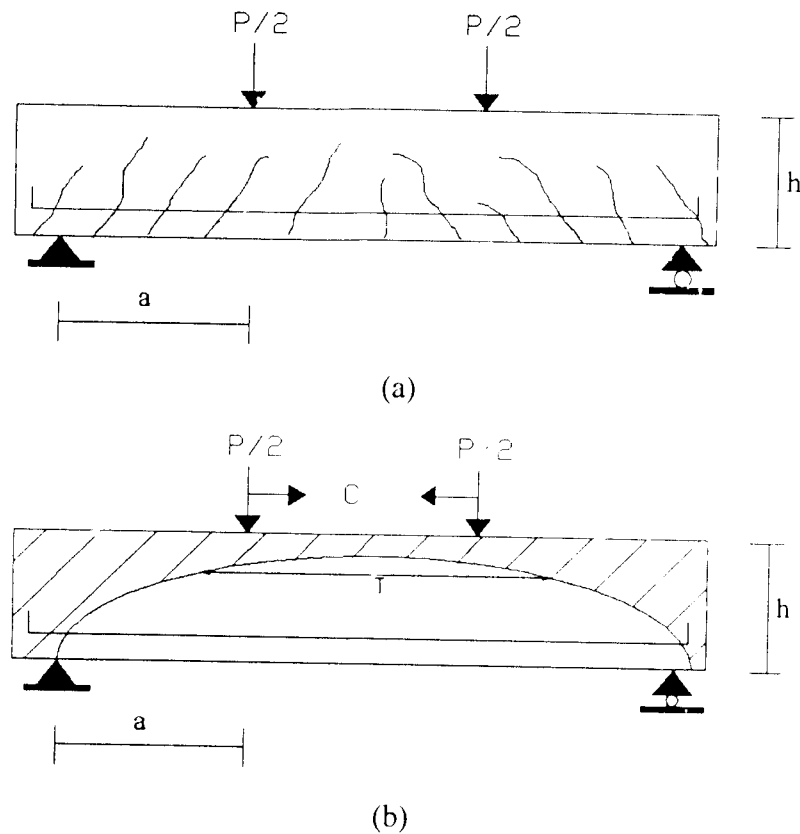
b = lebar balok,

I = momen inersia penampang

Untuk penampang persegi nilai maksimum tegangan geser

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

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



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

3.4.2 Gaya Geser yang Disumbangkan Beton

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

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\sqrt{f'_c}\right) \cdot b_w \cdot d \quad (3.17)$$

atau

$$V_c = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \cdot \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d \quad ; \quad \rho_w = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \quad (3.18)$$

tetapi harus memenuhi,

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1.0 \text{ dan } V_c \leq 0.30 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3.19)$$

dengan M_u adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan V_u pada penampang yang ditinjau.

Menurut Ferguson (1986) Persamaan 3.18 didasarkan pada hasil pengujian-pengujian bentang sederhana, untuk geser dalam balok-balok menerus, $V_u d / M_u$ dan d/a sangat berbeda dan hanya d/a yang memberi kemungkinan untuk suatu interpretasi yang masuk akal. Harga a adalah bentang geser yang merupakan jarak antara dua titik beban yang berbeda arah, sehingga dengan mengganti $V_u d / M_u$ menjadi d/a , maka Persamaan 3.18 menjadi;

$$V_c = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{d}{a} \right) b_w d \quad (3.20)$$

dengan :

b_w = Lebar badan balok T atau L dan b : untuk lebar balok berpenampang persegi

d = Tinggi efektif balok

ρ_w = Ratio tulangan

untuk balok T atau L : $\rho_w = A_s / (b_w \cdot d)$

untuk balok persegi : $\rho = A_s / (b \cdot d)$

$V_u \cdot d / M_u$ = nilai kelangsingan struktur dan nilai tidak boleh lebih besar dari 1

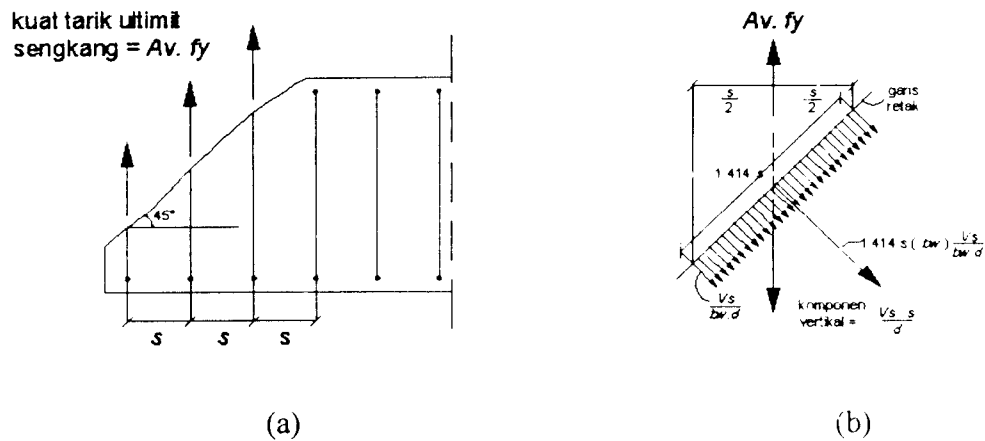
3.4.3 Gaya Geser yang Disumbangkan Tulangan Geser

Untuk menggambarkan kuat geser yang disumbangkan tulangan geser dapat dilihat pada Gambar 3.5 yang menunjukkan *free body* antara ujung balok dan retakan miring, proyeksi horizontal retak diambil sebagai d , dengan retak membentuk bidang 45° . Jika s adalah jarak sengkang, jumlah sengkang diambil dari retakan d/s (Dipohusodo, 1994). Pengasumsian bahwa semua sengkang leleh saat runtuh, gaya geser yang ditahan oleh sengkang adalah :

$$V_s = \frac{(A_v \cdot f_y \cdot d)}{s} \quad (3.21)$$

Persamaan (3.21) dapat diuraikan dengan menganggap bahwa sengkang menahan komponen vertikal dari gaya tarik diagonal yang bekerja di daerah $\frac{1}{2} s$ kanan dan kiri dari sengkang yang bersangkutan (Gambar 3.5 b). Sedangkan

komponen horisontal di masukkan dalam perencanaan tulangan pokok memanjang.



Gambar 3.5 Menentukan jarak spasi sengkang berdasarkan syarat kekuatan (Dipohusodo, 1994)

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

$$\text{Tegangan geser} = \frac{V_u}{\phi b_w d} = \frac{\phi(V_c + V_s)}{\phi b_w d} = \frac{V_c}{b_w d} + \frac{V_s}{b_w d} \quad (3.22)$$

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 nada balok.

Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan oleh tulangan geser adalah $1,414 s b_w$ sehingga seperti tampak pada Gambar 3.5b gaya tarik diagonal adalah :

$$1,414 s b_w \left(\frac{V_s}{b_w d} \right) \quad (3.23)$$

Komponen vertikal gaya tarik diagonal :

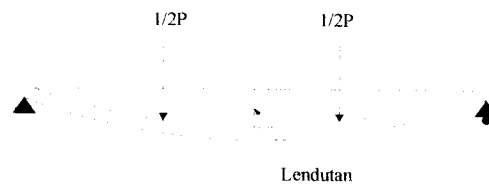
$$0,707 (1,414 s b_w) \frac{V_s}{b_w d} = s b_w \frac{V_s}{d} = \frac{V_s \cdot s}{d} \quad (3.24)$$

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

keseimbangan, maka : $A_v f_y = \frac{V_s \cdot s}{d}$ sehingga, $V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$ (3.25)

3.5 Hubungan Beban dan Lendutan

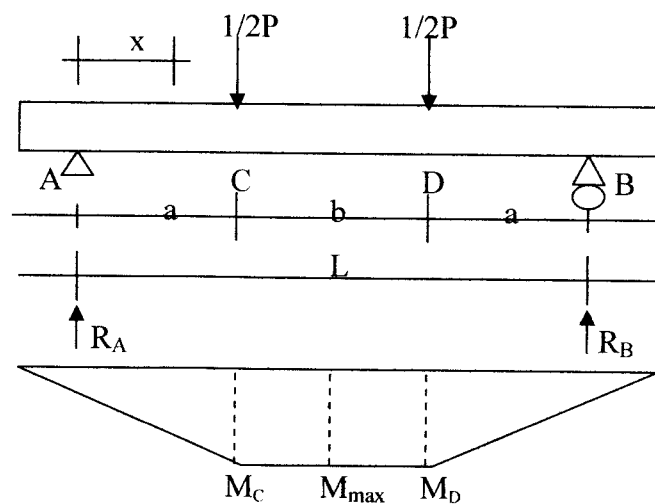
Apabila suatu beban menyebabkan timbulnya lentur, maka balok pasti akan mengalami defleksi atau lendutan seperti terlihat pada gambar 3.6 meskipun sudah dicek aman terhadap lentur dan geser, suatu balok bisa tidak layak apabila terlalu fleksibel. Dengan demikian tinjauan defleksi balok merupakan salah satu bagian dari proses disain (Spiegel dan Linbrunner, 1991).



Gambar 3.6 Lendutan balok

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).

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



Gambar 3.7 Reaksi dan momen pada tampang memanjang balok

Mencari momen:

$$R_A = \frac{(1/2P.(b+a)) + (1/2P.a)}{a+b+a} \quad (3.26)$$

$$R_B = R_A \quad (3.27)$$

$$M_C = R_A.a \quad (3.28)$$

$$M_D = M_C \quad (3.29)$$

Dari Gambar 3.7. Menurut Gere dan Timoshenko (1987), lendutan (Δx) pada jarak $0 \leq x \leq a$ dihitung dengan persamaan 3.30.

$$\Delta = \frac{Px}{6EI} (3aL - 3a^2 - x^2) \quad (3.30)$$

Sedangkan lendutan maksimum, Δ_{maks} (di tengah bentang) dihitung dengan persamaan 3.31.

$$\Delta = \frac{Pa}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (3.31)$$

Sedangkan lendutan (Δx) pada $x > a$ dan $x < (l - a)$, maka dihitung dengan persamaan 3.32.

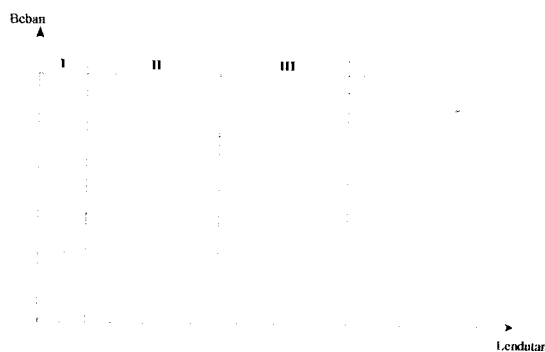
$$\Delta = \frac{P.a}{6EI} (3la - 3x^2 - a^2) \quad (3.32)$$

dengan:

$$E = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3.33)$$

Inersia tampang dihitung dengan persamaan berikut.

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \quad (3.34)$$



Gambar 3.8. Hubungan Beban dan Lendutan pada balok (Nawy E.G.,1998)

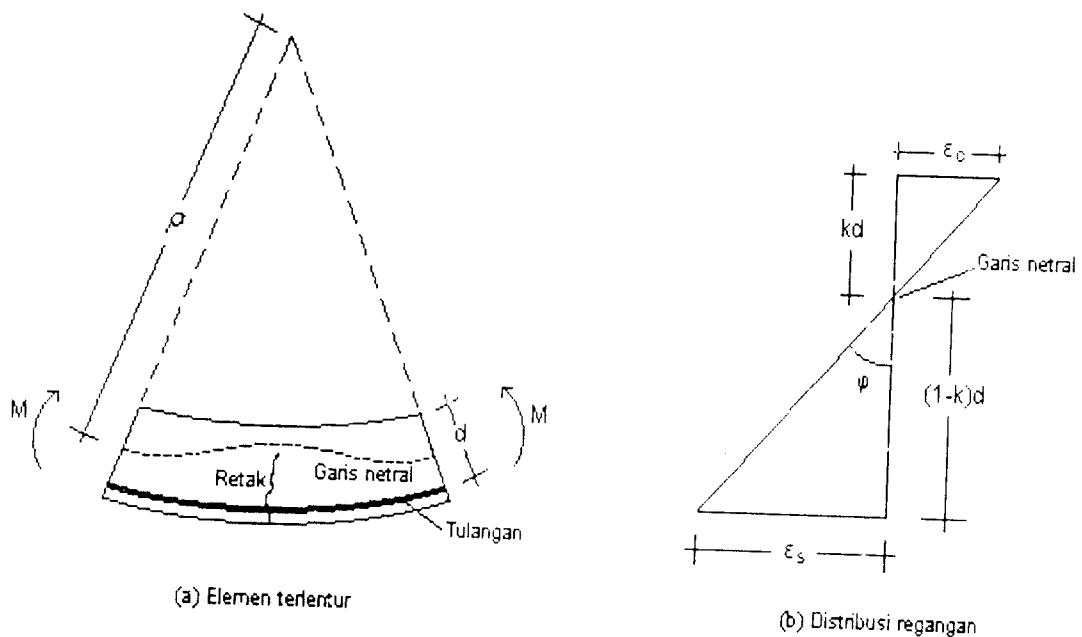
Pada daerah I (daerah praretak), segmen praretak dari kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil daripada kekuatannya akibat lentur, atau sebut saja lebih kecil dari modulus *rupture* f_r beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton dan momen inersia penampang beton bertulang tak retak.

Pada daerah II (daerah pascaretak), dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak yang masih terkontrol dan masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Dengan demikian suatu balok di atas tumpuan sederhana, retak akan semakin lebar dan semakin dalam pada lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar.

Pada daerah III (daerah pascalayan), daerah ini lebih datar ketimbang pada daerah-daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekakuan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar di sepanjang bentang. Jika bebannya terus-menerus bertambah, maka regangan ϵ_s pada tulangan pada sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y tanpa ada tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini terus-menerus mengalami lendutan tanpa adanya tambahan beban dan retak semakin terbuka sehingga garis netralnya terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan total pada beton daerah maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya *rupture*.

3.6 Hubungan Momen dan Kelengkungan

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. Menurut Park dan Paulay (1975), kelengkungan balok didapat dengan mengambil sebuah elemen lurus dari sebuah balok beton bertulang dengan momen-momen ujung dan gaya aksial yang sama seperti pada Gambar 3.9. Jari-jari kelengkungan ρ diukur dari garis netral. Adanya retak-retak pada beton akibat terjadi penambahan tegangan akan merubah jari-jari kelengkungan (ρ), tinggi garis netral (kd), regangan beton (ϵ_c) dan regangan baja tarik (ϵ_s). Berdasar teori tersebut, retak beton akan bertambah jika dilakukan penambahan pembebanan.



Gambar 3.9 Kelengkungan balok (Park dan Paulay, 1975)

Menurut Popov (1989), kelengkungan suatu garis dalam koordinat Cartesian dinyatakan dengan Persamaan 3.35.

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \varphi = \frac{d^2 y / dx^2}{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.35)$$

Jika $\frac{dy}{dx}$ kecil, maka $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \approx 0$ sehingga Persamaan 3.35. akan menjadi:

$$\varphi = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.36)$$

Dengan menganggap sebuah elemen kecil panjang dx dari balok dan menggunakan notasi seperti pada Gambar 3.9., maka rotasi di antara ujung-ujung dari elemen diberikan oleh:

$$\frac{dx}{\rho} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)} \quad (3.37)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} \quad (3.38)$$

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

dari Gambar 3.9b, jika regangan dijumlahkan diperoleh :

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d} \quad (3.39)$$

dengan :

φ = kelengkungan

ε_c = regangan beton

ε_s = regangan baja

d = tinggi efektif penampang

Menurut Bleich (1952), Persamaan 3.36. dapat diselesaikan secara numerik dengan pendekatan *central difference*, seperti persamaan 3.40.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} \quad (3.40)$$

Persamaan tersebut dapat diturunkan menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1}) - (y_{i+1} - y_{i-1}) \frac{d}{dx}(2\Delta_x)}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.41)$$

karena $(2\Delta_x)$ adalah konstanta maka

$$\frac{d}{dx}(2\Delta_x) = 0 \quad (3.42)$$

sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{(2\Delta_x) \frac{d}{dx}(y_{i+1} - y_{i-1})}{(2\Delta_x)^2} \quad (3.43)$$

maka dari persamaan tersebut didapatkan:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(2\Delta_x)} \quad (3.44)$$

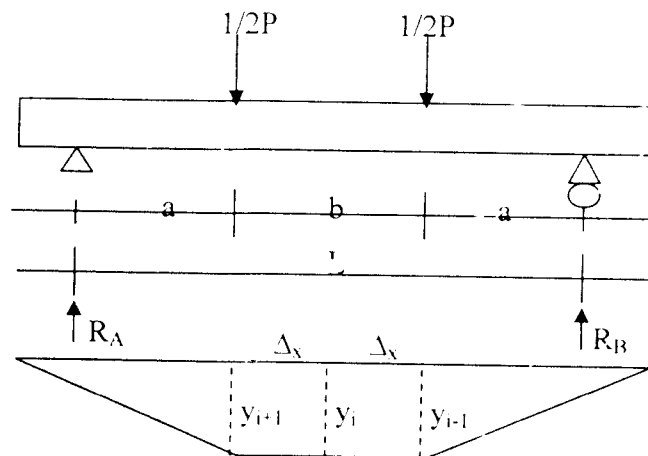
Persamaan disederhanakan menjadi:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.45)$$

Persamaan kelengkungan menjadi:

$$\varphi = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{(\Delta_x)^2} \quad (3.46)$$

Persamaan 3.46 merupakan persamaan kelengkungan hasil pengujian, dimana kelengkungan pada suatu titik dapat diukur dengan lendutan yang terjadi pada 3 titik berturutan $(y_{i+1}, 2y_i, y_{i-1})$ dan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Lendutan pada tampang memanjang balok

Persamaan differensial untuk balok elastis adalah :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \varphi = \frac{M}{EI} \quad (3.47)$$

$$M = EI \cdot \varphi \quad (3.48)$$

maka persamaan dapat ditulis menjadi persamaan :

$$M = EI \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3.49)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2005 - Maret 2006 dengan pelaksanaan pengujian benda uji bertempat di Laboratorium Struktur S1 Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, dan sebagian pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

4.2 Bahan dan Alat

4.2.1 Bahan

1. Semen

Dalam penelitian ini digunakan semen Portland merk Nusantara dengan berat satuan @ 50 kg. Dipilih semen jenis ini karena paling umum digunakan sebagai perekat adukan beton. Penilaian kualitas semen hanya dilakukan dengan pengamatan secara visual terhadap keutuhan kemasan dan kehalusan butirannya.

2. 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 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.

3. Air

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

4. Besi Tulangan

Dalam pembuatan benda uji penelitian digunakan baja tulangan polos (BJTP) diameter 6 mm sebagai tulangan memanjang atas (tulangan tekan), diameter 16 mm sebagai tulangan memanjang bawah (tulangan tarik), dan diameter 6 mm untuk tulangan sengkang, sedangkan jarak sengkang yang dipakai adalah 100 mm untuk daerah tumpuan/geser dan 120 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 untuk merangkai tulangan-tulangan baja, yaitu tulangan melintang dan tulangan memanjang.

6. Kayu Lapis

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

7. Kawat Strimin

Pada penelitian ini menggunakan bahan tambah berupa jaringan kawat strimin yang berbentuk persegi tegak dua lapis, dengan ikatan anyaman dilas jarak bukaan kawat 2,54 x 2,54 cm.

4.2.2 Alat

1. Ayakan

Untuk mengetahui gradasi pasir dan kerikil digunakan ayakan. Fraksi yang dipakai untuk pasir yaitu lolos saringan 4,8 mm, sedangkan untuk kerikil dibagi menjadi 3 fraksi yaitu besar, sedang dan kecil, dengan ukuran kerikil maksimum yaitu 20 mm. Untuk fraksi besar yaitu tertahan saringan 16,5 mm untuk fraksi sedang yaitu tertahan saringan 9,5 mm dan untuk fraksi kecil yaitu lolos saringan 9,5 mm.

2. Timbangan

Timbangan merk *Fa Gani* kapasitas 500 kg digunakan untuk menimbang bahan susun campuran adukan beton (semen, pasir dan kerikil). Timbangan merk *O'house* kapasitas 20 kg digunakan untuk menimbang batu pecah dan pasir ketika melakukan uji berat jenis, berat volume agregat dan modulus halus butir pasir.

3. Mistar dan Kaliper

Mistar dari logam digunakan untuk mengukur dimensi cetakan benda uji sedangkan kaliper digunakan untuk mengukur diameter tuiangan.

4. Gelas ukur

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

5. Kerucut Abrams

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

6. Cetok, talam baja dan ember

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

(molen). Ember digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.

7. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji terbuat dari pelat baja. Cetakan yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Cetakan benda uji ini mempunyai baut pada sisi luarnya, sehingga memudahkan pelepasannya.

8. Molen/pengaduk beton

Mesin ini berfungsi untuk mengaduk bahan penyusun beton (semen, pasir dan kerikil) sehingga menjadi adukan beton yang homogen. Mesin ini digerakkan dengan generator listrik.

9. Mesin Uji Lentur Beton

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

10. Mesin Uji Desak Beton

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

11. Mesin Uji Kuat Tarik

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

12. *Loading Frame*

Untuk keperluan penelitian ini digunakan *loading frame* dari bahan baja profil WF 450 x 200 x 9 x 14. Bentuk dasar *loading frame* berupa portal segi empat, berdiri di atas lantai beton dengan tebal 600 mm. Untuk 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.

13. *Hydraulic Jack*

Alat ini digunakan sebagai alat untuk mengetahui kemampuan lentur dan geser balok ketika menerima beban dengan kapasitas 60 ton dan pembacaan ketelitian sebesar 0.5 ton.

14. *Load cell*

Load cell dipasang di atas *hidraulic jack* dan berfungsi mengukur beban statik yang dibangkitkan oleh *hidraulic jack*.

15. *LVDT (Linear Variable Displacement Transducers)*

LVDT digunakan untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi pada sampel balok beton. Dalam penelitian ini digunakan 3 buah *LVDT*.

16. Dukungan Rol dan Sendi

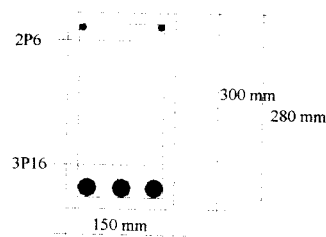
Dukungan rol dipasang pada salah satu ujung model balok, sedangkan pada ujung yang lain dipasang dukungan sendi.

4.2.3 Perencanaan Benda Uji Balok

1. Dimensi Penampang

Dalam perencanaan balok ini dikehendaki gagal dalam geser. Jika ditentukan jarak titik beban terhadap dukungan, a sebesar 560 mm dan

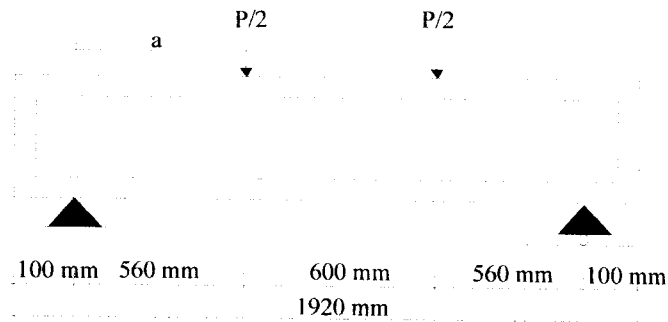
$\frac{a}{d} = 2,0$ maka $d = \frac{560}{2,0} = 280$ mm seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Penampang melintang balok uji

2. Panjang Bentang

Dalam perencanaan bentang balok dikehendaki gagal dalam lentur dan geser dengan $a/d = 2,0$. Jika ditentukan jarak antara titik beban terhadap dukungan, a sebesar 560 mm, d sebesar 280 mm dan jarak antar beban titik sebesar 600 mm maka didapatkan panjang bentang adalah 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 dengan diameter 6 mm.
- Tulangan memanjang bawah (tulangan tarik) memakai 3 BJTP dengan diameter 16 mm.
- Tulangan sengkang P 6

Pada penulangan untuk sengkang tumpuan memakai jarak 100 mm sedangkan penulangan untuk sengkang lapangan memakai jarak 120 mm.

4.3 Perlakuan dan Rancangan Pengujian

4.3.1 Perlakuan

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

1. Balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang (TSK)

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



Gambar 4.3 Balok tanpa menggunakan sengkang

2. Balok beton bertulang dengan menggunakan sengkang (BN)

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui besarnya kekuatan geser yang mampu ditahan oleh balok tersebut, karena fungsi sengkang adalah untuk menahan gaya geser, memperbaiki kekakuan dan kekuatan balok. Di samping itu, sengkang mengatur dan membatasi proses peretakan, memperlambat kegagalan balok sampai dikerjakan beban yang lebih besar. Benda uji inipun digunakan sebagai kontrol terhadap benda uji pengganti sengkang yang menggunakan kawat strimin seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Balok dengan menggunakan sengkang

3. Balok beton bertulang dengan menggunakan kawat strimin sebagai pengganti sengkang (TK2TS)

Kawat Strimin berfungsi untuk mengganti sengkang, maka tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini yaitu untuk menahan gaya geser,

memperbaiki kekuatan balok seperti terlihat pada Gambar 4.5. Di samping itu, kawat strimin mengatur dan membatasi proses peretakan, memperlambat kegagalan balok sampai dikerjakan beban yang lebih besar.



Gambar 4.5 Balok dengan menggunakan kawat strimin

4. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser (TK2GTS)

Tujuan dan alasan dilakukannya pengujian ini adalah penggunaan kawat strimin untuk menahan gaya geser pada daerah geser saja. 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 dan sengkang (TSK2P)

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



Gambar 4.7 Balok dengan menggunakan kawat strimin dan sengkang

6. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan sengkang (TSK2G)

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



Gambar 4.8 Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan sengkang

7. Balok beton bertulang menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan pengurangan 50% sengkang pada daerah geser (TS50K2G)

Tujuan dan alasan dari pengujian ini seperti pada Gambar 4.9 adalah untuk menahan gaya geser pada daerah geser dan untuk mengurangi pemakaian sengkang sebanyak 50%.



Gambar 4.9 Balok menggunakan kawat strimin pada daerah geser dan 50 % sengkang

4.3.2 Rancangan Percobaan/Kajian

1. Persiapan Bahan dan Alat

Material yang digunakan untuk pembuatan benda uji ini merupakan material lokal kecuali tulangan baja dan semen. Pembuatan benda uji, pengujian mekanik beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia sedangkan pengujian balok dilakukan di Laboratorium Struktur S1, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

2. Pembuatan Benda Uji.

a. Tahapan pembuatan campuran beton adalah sebagai berikut :

- 1) Menghitung kuat desak rata-rata.
- 2) Menetapkan faktor air semen.
- 3) Menetapkan nilai *slump*.
- 4) Menetapkan kebutuhan air.
- 5) Menentukan kebutuhan semen.
- 6) Menetapkan berat agregat kasar per meter kubik beton.
- 7) Menghitung berat pasir.

b. Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder :

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

c. Langkah-langkah pembuatan benda uji balok :

- 1) Pembuatan benda uji balok sebanyak 7 buah dengan ukuran balok 150 x 300 x 1920 mm.

- 2) Setelah bahan dan alat disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, dilakukan penimbangan bahan-bahan sesuai proporsi yang telah ditentukan. Untuk agregat kasar yang digunakan terlebih dahulu dicuci untuk menghilangkan kandungan lumpur yang menempel. Pada saat penimbangan, kondisi pasir dan kerikil adalah jenuh kering permukaan (SSD).
- 3) Bahan susut beton diaduk menjadi satu beturut-turut, agregat kasar, agregat halus, semen dan air dimasukkan sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas mesin pengaduk yang dipakai.
- 4) Untuk mengetahui kelecakan aduan beton, maka dilakukan pengukuran *slump* dengan kerucut Abrams dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm, yang dilengkapi tongkat penumbuk dari baja diameter 16 mm. Pelaksanaan percobaan *slump* dilakukan dengan cara kerucut di tekan ke bawah pada penyokong-penyokong kakinya sambil diisi adukan beton, dibuat tiga lapis adukan, dan tiap lapis ditumbuk sebanyak ± 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, selisih tinggi tersebut dinamakan *Slump*.
- 5) Dimasukkan adukan (beton segar) tersebut ke dalam cetakan beton yang telah dibersihkan dan diolesi oli serta diberi tulangan baja dengan adukan yang berlapis-lapis dan tiap lapis dilakukan pemadatan, sisi cetakan diketuk-ketuk atau digetarkan dengan menggunakan palu kayu, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang terperangkap akan keluar. Adukan yang telah dicetak didiamkan dan diletakkan di tempat yang terlindung dari hujan dan sinar matahari.
- 6) Cetakan dibuka setelah pengerasan berlangsung, yaitu setelah 1 hari (PBI 1971), kemudian dilakukan perawatan beton.

4.3.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan beton sangat perlu dilakukan agar permukaan beton tetap dalam keadaan lembab. Penguapan dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup berarti sehingga dapat mengakibatkan proses hidrasi berjalan tidak sempurna, dengan konsekuensi berkurangnya kekuatan beton. Penguapan dapat juga menyebabkan penyusutan kering terlalu awal dan cepat, sehingga berakibat timbulnya tegangan tarik yang menyebabkan retak, kecuali bila beton telah mencapai kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan ini.

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

Pada penelitian ini, perawatan beton dilakukan dengan cara merendam untuk benda uji silinder ukuran 150 x 300 mm dan balok ukuran (100 x 100 x 400 mm dan 100 x 100 x 200 mm). Sedangkan untuk benda uji ukuran 150 x 300 x 1920 mm perawatan dilakukan dengan penyiraman tiap hari selama 28 hari. Perawatan yang baik terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Di samping lebih kuat dan lebih awet terhadap agresi kimia, beton ini juga lebih tahan terhadap aus dan lebih kedap air.

4.3.4 Proses Pengujian

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

1. Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, S1, Universitas Gadjah Mada.

Adapun tahapan-tahapan pengujian kuat tarik kawat strimin adalah sebagai berikut :

- a. Kawat strimin diambil satu batang, kemudian diameter kawat strimin diukur dengan menggunakan jangka sorong (kaliper).
- b. Kawat strimin dijepitkan kedua ujungnya pada mesin penguji.

- c. Mesin penguji dijalankan, kemudian ditarik dengan penambahan beban secara berangsur-angsur sampai kawat strimin putus.
- d. Sejalan dengan itu, komputer mencatat penambahan beban, tegangan dan regangan kawat strimin tersebut sehingga dapat diperoleh data berupa diameter, jenis, beban tarik dan tegangan putus.

2. Pengujian Kuat Tarik Tulangan

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

3. Pengujian Kuat Desak Beton

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

- a. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya.
- b. Menimbang benda uji.
- c. Memasang alat ukur regangan pada posisi yang telah ditentukan.
- d. Meletakkan benda uji dengan posisi vertikal diatas mesin penguji desak, lalu dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
- e. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai mengalami kehancuran.

4. Pengujian Kuat Lentur dan Geser Beton

Pelaksanaan pengujian kuat lentur ini menggunakan benda uji dengan ukuran 10 x 10 x 40 (cm) dan kuat geser menggunakan benda uji dengan ukuran 10 x 10 x 20 (cm), pengujian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

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

5. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

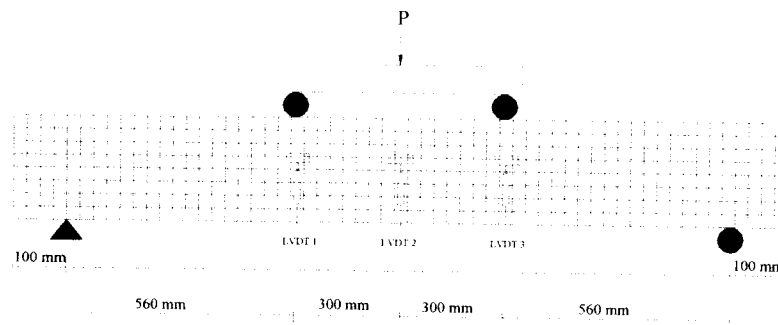
Pelaksanaan pengujian kuat tarik belah ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran 150 x 300 (mm), pengujiannya dilakukan dengan cara sebagai berikut ini :

- a. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya.
- b. Menimbang benda uji.
- c. Meletakkan benda uji dengan posisi horizontal/rebah pada mesin penguji desak lalu mesin dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
- d. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai mengalami patah / kehancuran.

6. Penyetelan Pembebanan pada Balok

- a. Setelah balok mencapai umur 28 hari, kemudian diangkat dan diletakkan di atas alat uji.
- b. Permukaan balok dicat dengan kapur berupa garis kotak-kotak dengan menggunakan spidol untuk mengetahui penambahan retak dan lebar retak yang terjadi.
- c. Jarak dari tepi balok ke tumpuan adalah 100 mm baik dari kiri ataupun kanan.

- d. 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.
- e. Pada tengah-tengah bentang dan di bawah titik beban diletakkan LVDT seperti terlihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Penyetelan pembebanan balok

4.4 Pengamatan

1. Pembebanan

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

2. Lendutan (Defleksi)

Suatu elemen balok, kerapian maupun penampilannya tidak boleh terganggu oleh lendutan yang terjadi selama masa hidup konstruksi merupakan syarat utama. Balok 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 beban yang menyebabkan balok runtuh.

3. Retak

Bahan beton kemampuannya terbatas sehingga timbulnya retak akan menimbulkan masalah. Seperti diketahui, beton mempunyai kekuatan cukup untuk 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 pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak, khususnya retak lentur, perlu mendapatkan perhatian secukupnya. Di dalam memperhatikan retak beton, perhatian lebih diutamakan pada lebar celah retak daripada jumlah retakan yang terjadi. Balok yang telah diberi beban akan diperiksa retaknya berdasarkan alat uji dengan melihat pada seberapa kuat balok menahan beban. Beban diberikan setiap 5 kN secara berangsur-angsur sampai balok runtuh, arah retaknya dilukis dengan spidol dan lebar retaknya dibaca dengan alat pembaca retak.

4.5 Prosedur Pengujian

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

1. Pemeriksaan bahan campuran beton.

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

2. Perencanaan campuran beton.

Perencanaan campuran dibuat dengan metode DOE (*Department of Environment*).

3. Pembuatan campuran beton.

Pembuatan campuran beton dalam penelitian ini berpedoman pada SK-SNI T-28-1991-03 tentang cara pengadukan dan pengecoran beton. Pembuatan

campuran dilakukan dengan molen. Cara pembuatan campuran dimulai dari persiapan bahan dan alat sesuai dengan persyaratan dan kebutuhan material pada saat perhitungan campuran beton (*Mix Design*). Apabila nilai *slump* telah memenuhi *slump* yang direncanakan, pelaksanaan pengecoran siap dilaksanakan. Beton yang telah memenuhi syarat tersebut ditumpahkan pada bak penampungan adukan beton dan ditampung dengan ember untuk dibawa ke tempat cetakan.

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

5. Perawatan benda uji.

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

6. Materi pengujian di laboratorium meliputi pengujian kuat tarik kawat strimin, kuat tarik tulangan baja tulangan, kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser beton.

7. Hasil-hasil pengujian dicatat untuk kemudian diolah menjadi data, gambar dan grafik.

Pengujian kuat tarik kawat strimin dilakukan sebelum pengecoran beton.

Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

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

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilaksanakan sebelum pengecoran beton.

Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut :

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

Pengujian kuat desak beton dilakukan pada umur 28 hari. Prosedur atau langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Benda uji diletakkan secara vertikal pada mesin uji desak beton, kemudian diuji sampai pecah atau runtuh.
2. Setiap benda uji dicatat kuat desak beton maksimumnya, kemudian dihitung kuat desak rata-rata.

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 28 hari, prosedur atau langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Benda uji diletakkan horisontal/rebah pada mesin uji desak beton, kemudian diuji sampai pecah atau runtuh.
2. Setiap benda uji dicatat kuat tarik beton maksimumnya, kemudian dihitung kuat tarik rata-rata.

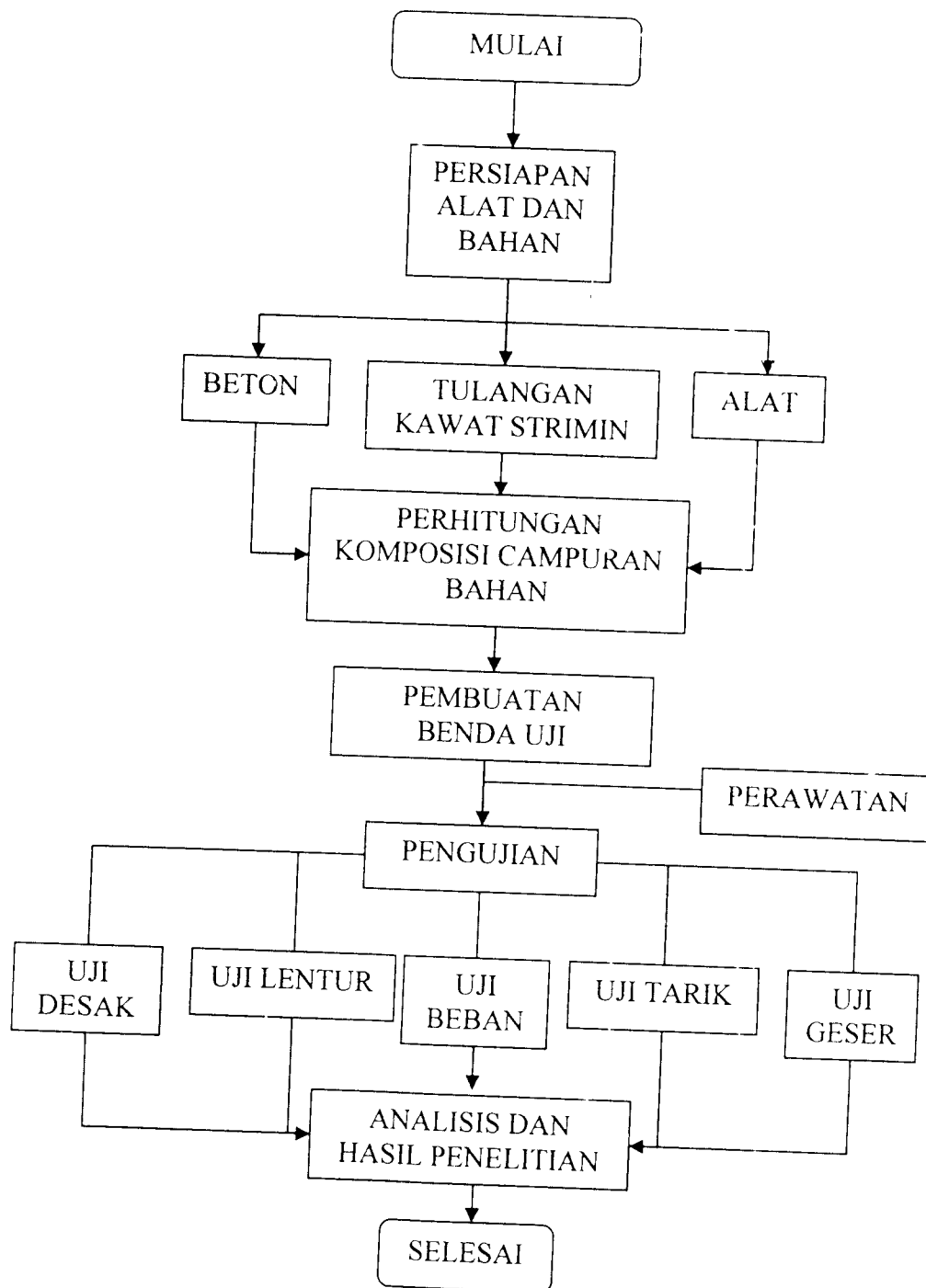
Pengujian kuat lentur dan geser balok dilakukan pada umur 28 hari dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Balok terlebih dahulu dilapisi kapur putih sebelum diuji, sehingga pola retak yang terjadi mudah dilihat.
2. Kemudian benda uji diletakkan pada tumpuan yang telah disiapkan.
3. Di atas benda uji diberi dudukan lempengan baja untuk menyalurkan beban dari mesin uji menjadi dua titik.
4. Pada saat pengujian pola-pola retaknya digambar dengan spidol untuk memperjelas dan dicantumkan besar beban yang terjadi pada saat re ak.
5. Untuk mengukur lendutan yang terjadi pada saat pembebanan di bawah benda uji dipasang tiga buah *LVDT*.

Data yang dicatat dalam pengujian adalah sebagai berikut ini :

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

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



Gambar 4.11 *Flow Chart*



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Data hasil penelitian yang telah dianalisis ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Penyusunan laporan dimulai dari data pengujian agregat, kawat strimin dan baja tulangan. Pengujian agregat terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), kawat strimin yang digunakan berbentuk persegi tegak sebanyak dua lapis, sedangkan baja tulangan memakai tulangan diameter 6 dan 16 mm. Pengujian karakteristik beton terdiri dari 2 macam. Pertama pengujian beton segar, pengujian yang dilakukan adalah pengujian slump. Kedua pengujian mekanik beton yang meliputi kuat desak, kuat tarik belah, kuat lentur dan kuat geser. Pengujian utama dari penelitian ini adalah pengujian lentur dan geser pada balok beton bertulang dengan selubung kawat strimin persegi tegak 2 lapis, yang terdiri dari 7 model balok. Balok kontrol yang berjumlah 2 balok dengan kode BN dan TSK, sedangkan 5 balok yang lain diberi variasi kawat strimin dengan kode TK2TS, TK2GTS, TSK2P, TSK2G dan TS50K2G. Data yang diperoleh dari pengujian utama ini adalah beban, lendutan, lebar retak dan panjang retak, kemudian dari data tersebut dianalisis untuk mendapatkan grafik beban-lendutan ($P-\Delta$), grafik momen-kelengkungan ($M-\phi$), angka kekakuan, daktilitas, grafik lebar retak- momen ($w-M$) dan grafik panjang retak- momen (l_c-M).

5.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat ini meliputi pasir sebagai agregat halus dan kerikil sebagai agregat kasar. Agregat pasir disaring menggunakan ayakan, ayakan ini tersusun secara urut dari lubang 4.8, 2.4, 1.2, 0.6, 0.3 dan 0.15 mm. Hasil pengujian mendapatkan bahwa pasir yang digunakan masuk kelompok II. 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. Dari hasil pengujian, pasir yang digunakan masuk dalam kelompok II yaitu golongan pasir agak kasar. Sedangkan kerikil yang digunakan tidak melebihi

lubang ayakan 20 mm. Rangkuman data yang lain bisa dilihat pada Tabel 5.1 berikut dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.1-B.4.

Tabel 5.1 Hasil pengujian Material

Penelitian	Pasir	Kerikil
Modulus halus butir (%)	2,60	6,5
Berat jenis SSD	2,6	2,66
Penyerapan air (%)	3,80	2,80
Ukuran agregat maksimum (mm)	4,8	20

5.3 Pengujian Kuat Tarik Kawat Strimin

Pengujian kuat tarik ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik kawat strimin. Rangkuman hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.6.

Tabel 5.2 Hasil pengujian kuat tarik kawat strimin

No	Jenis kawat strimin	Benda Uji	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	Bentuk persegi	Kawat tunggal	457,57	457,58
2		Kawat ganda	457,59	

Kawat yang digunakan dalam pengujian ini berdiameter 0,90 mm dan berbentuk persegi tegak dengan ukuran 2,54 x 2,54 cm. Dari tiga kali Pengujian untuk kawat tunggal didapatkan kuat tarik sebesar 457,57MPa, sedangkan untuk kawat ganda juga dilakukan tiga kali pengujian dan didapatkan kuat tarik sebesar 457,59 MPa, sehingga kuat tarik rata-rata sebesar 457,58 MPa. Kawat jala ini mudah dibentuk, tetapi pertemuan antara dua kawat yang bersilangan merupakan bagian yang lemah akibat las yang tidak baik pada waktu pembuatan kawat jala. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa kawat jala yang dibuat dari kawat berkekuatan tinggi lebih cenderung luluh daripada jenis kawat lain, ketika sambungan mendapat beban. Untuk kontur konstruksi yang lengkung, kawat jala ini lebih sukar untuk digunakan. Kecenderungan tertekuk atau patah lebih banyak daripada kawat lain (Anshori dkk., 2001).

5.4 Pengujian Kuat Tarik Baja

Baja yang digunakan pada pengujian ini adalah baja tulangan polos, terdiri atas 2 baja tulangan yaitu tulangan berdiameter 16 mm dan 6 mm. Pengujian ini menggunakan baja tulangan dengan panjang 50 cm. Hasil rangkuman dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran B.5.

Tabel 5.3 Hasil pengujian kuat tarik baja

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

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

- a) Untuk baja tulangan diameter 6 mm
 1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 6 mm (P6, Ø6mm). Tegangan tarik ultimit (f_u) sebesar 393,43 MPa dan tegangan leleh (f_y) sebesar 277,57 MPa.
 2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 70,55 %.
 3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTP 24 dengan batas ulur minimum 235 MPa dan kuat tarik minimum 382 MPa.
- b) Untuk baja tulangan diameter 16 mm
 1. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 16 mm (P16, Ø16 mm). Tengan tarik ultimit (f_u) sebesar 484,72 MPa dan tegangan leleh, (f_y) sebesar 359,56 MPa.
 2. Rasio antara tegangan leleh (f_y) dan tegangan ultimit (f_u) sebesar 74,17 %.

3. Berdasarkan SII 0136-80 dan hasil uji kuat tarik baja yang dilakukan di laboratorium, mutu baja ini termasuk dalam golongan BJTP 30 dengan batas ulur minimum 294 MPa dan kuat tarik minimum 480 MPa.

5.5 Pengujian Slump

Pengujian slump merupakan salah satu cara untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran adukan beton. Nilai slump menandakan kepadatan dan atau kecairan campuran beton. Nilai slump ini berpengaruh pada kuat desak beton dan kemudahan dalam pengerjaan. Bila nilai slump kecil berarti adukan beton memiliki kuat desak yang tinggi tetapi sulit dalam pengerjaannya karena kurangnya air. Nilai slump dalam pengujian ini diambil seketika sebelum dimasukkan ke dalam cetakan beton. Standar Inggris membuat persyaratan bahwa slump dari contoh bahan beton di lapangan harus diukur seketika setelah pengambilan contoh bahan uji (Murdock dan Brook, 1999). Hasil pengujian slump yang dilakukan dalam penelitian ini sebesar 12 cm. Berdasarkan PBI, 1971 menetapkan bahwa nilai slump untuk pelat, kolom, balok dan dinding sebesar 7,5 sampai 15 cm, sehingga pengujian slump sebesar 12 cm ini sesuai dengan peraturan PBI, 1971. Dengan Nilai slump 12 cm pekerjaan penuangan campuran beton ke dalam bekesting mudah dilakukan. Agar campuran beton ini merata digunakan palu dan besi tulangan, palu digunakan dengan cara memukul-mukul bekesting agar agregat yang ada di atas dapat turun langsung ke bawah sehingga bekesting dapat kembali diisi agregat. Sedangkan besi tulangan digunakan dengan cara menusuk-nusuk agregat yang ada disela-sela antara tulangan dengan bekesting agar dapat turun dengan cepat, sehingga hasil dari beton tidak keropos.

5.6 Pengujian Sifat Mekanik Beton

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

Tabel 5.4 Hasil pengujian sifat mekanik beton

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

5.6.1 Pengujian Kuat Desak Beton

Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 30 buah, benda uji menggunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil pengujian kuat desak diperoleh kuat desak rata-rata sebesar 30.908 MPa. Hasil pengujian kuat desak silinder beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

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

- a. Beton mutu rendah $f'_c < 125 \text{ kg/cm}^2$ (12.259 MPa)
- b. Beton mutu sedang $125 \text{ kg/cm}^2 \leq f'_c < 225 \text{ kg/cm}^2$
- c. Beton mutu tinggi $f'_c \geq 225 \text{ kg/cm}^2$ (22, 065 MPa)

Sehingga dari nilai kuat desak yang diperoleh beton termasuk dalam golongan beton mutu tinggi. Dan terlihat pula bahwa nilai kuat desak sebesar 30.908 Mpa yang diperoleh lebih besar dari yang direncanakan yaitu sebesar 20 MPa. Hal ini akan berpengaruh terhadap perancangan kapasitas balok uji beton bertulang. Namun demikian, kapasitas balok dihitung ulang berdasarkan data aktual baik kuat tekan beton maupun tegangan leleh baja.

5.6.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Jumlah benda uji yang dibuat sebanyak 7 buah, Benda uji menggunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Dari hasil pengujian 7 silinder diperoleh kuat tarik belah beton rata-rata sebesar 3,187 MPa.

nilai ini hanya 10,32 % dibandingkan dengan kuat desaknya. Hasil pengujian kuat tarik belah silinder beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.5.

5.6.3 Pengujian Kuat Lentur Beton

Jumlah benda uji sebanyak 10 buah, benda uji menggunakan cetakan balok ukuran 100 x 100 x 400 (mm). Dari hasil pengujian, nilai kuat lentur beton rata-rata sebesar 5,44 Mpa dan nilai ini hanya 17,6 % dari kuat desaknya. Hasil pengujian kuat lentur beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran D.4.

5.6.4 Pengujian Kuat Geser Beton

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

5.7 Pengujian Balok Beton Bertulang

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

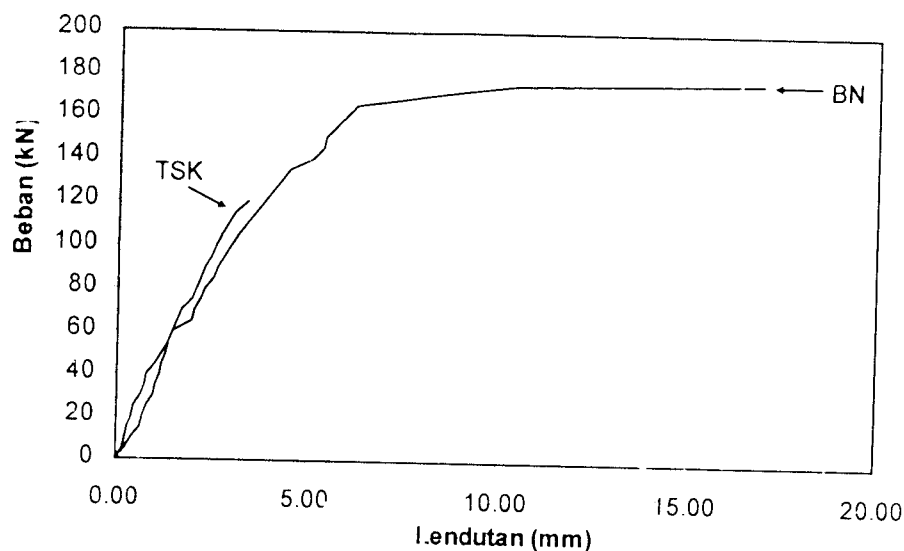
5.7.1 Hubungan Beban Dan Lendutan

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

Dengan mengamati grafik hubungan beban dan lendutan pada 7 model balok. Perilaku kuat lenturnya hampir sama, mulai dari ujung sampai ke tengah

bentang. Pada pembebanan awal kurva masih tampak linier, kemudian sampai titik leleh (f_y) kurva mulai tampak datar dengan beban yang masih meningkat terus sampai pembebanan maksimum (f_u). Pada titik beban maksimum kurvanya masih datar tetapi beban tetap sedangkan lendutannya terus bertambah.

1 Hubungan antara balok kontrol BN dan TSK

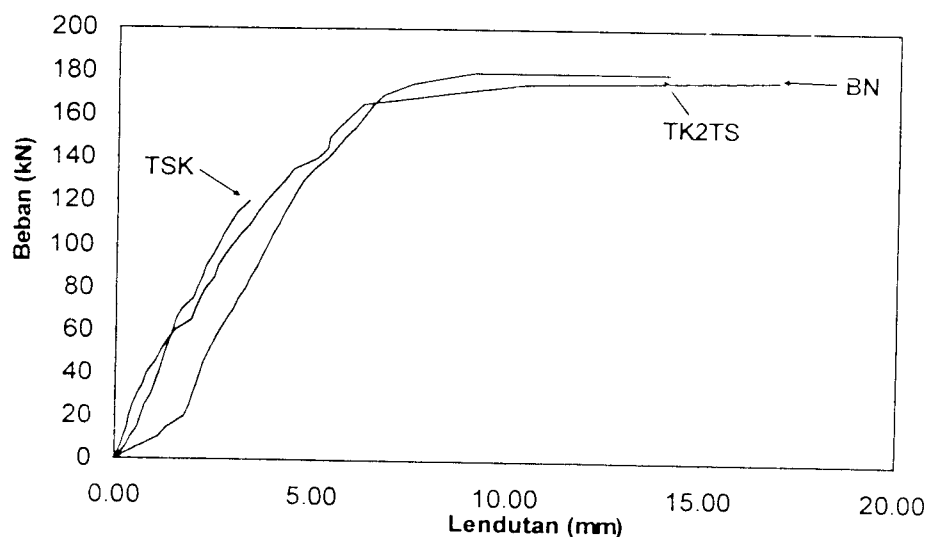


Gambar 5.1 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok BN dan TSK

Dari Gambar 5.1 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok BN dan balok TSK. Balok BN adalah balok kontrol yang merupakan balok penuh sengkang tanpa kawat strimin. Balok ini dapat menahan beban maksimum sebesar 177 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 16,91 mm. Dibandingkan dengan balok TSK yang merupakan balok tanpa sengkang, balok TSK ini hanya mampu menahan beban sebesar 120 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 3,32 mm. Dari grafik juga dapat diketahui pada balok BN retak pertama terjadi pada beban 35 kN, lendutan 0,71 mm dan titik leleh pada beban 165 kN, lendutan 6,21 mm. Sedangkan Balok TSK retak pertama terjadi pada beban 15 kN, lendutan 0,58 mm dan titik leleh terjadi pada beban 70 kN, lendutan 1,64 mm. Sehingga dari kedua balok tersebut penggunaan sengkang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dalam menahan beban.

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

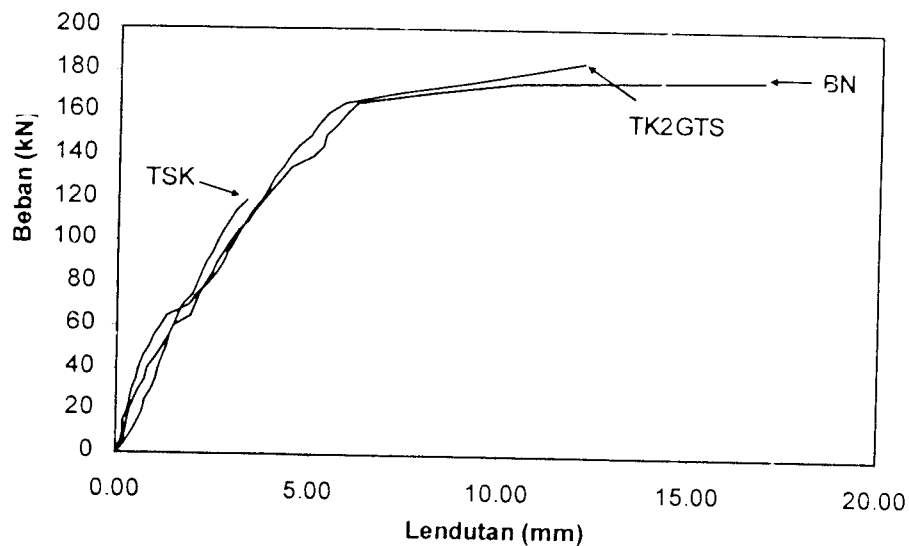
2.1 Hubungan antara balok kontrol dan balok TK2TS



Gambar 5.2 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kontrol dan balok TK2TS

Dari Gambar 5.2 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TK2TS. Balok TK2TS merupakan balok kawat strimin persegi (tegak) 2 lapis tanpa sengkang. Balok ini dapat menahan beban sebesar 180 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 14,09 mm. Nilai ini lebih besar daripada balok TSK dari kekuatannya dan dibandingkan dengan balok BN, maka kekuatannya sama namun lendutannya lebih kecil, sehingga penggunaan kawat strimin ini dapat menggantikan fungsi sengkang dalam menahan gesernya. Pada balok TK2TS retak pertama terjadi pada beban 45 kN, lendutan 2,2 mm dan titik leleh pada beban 170 kN, lendutan 6,73 mm.

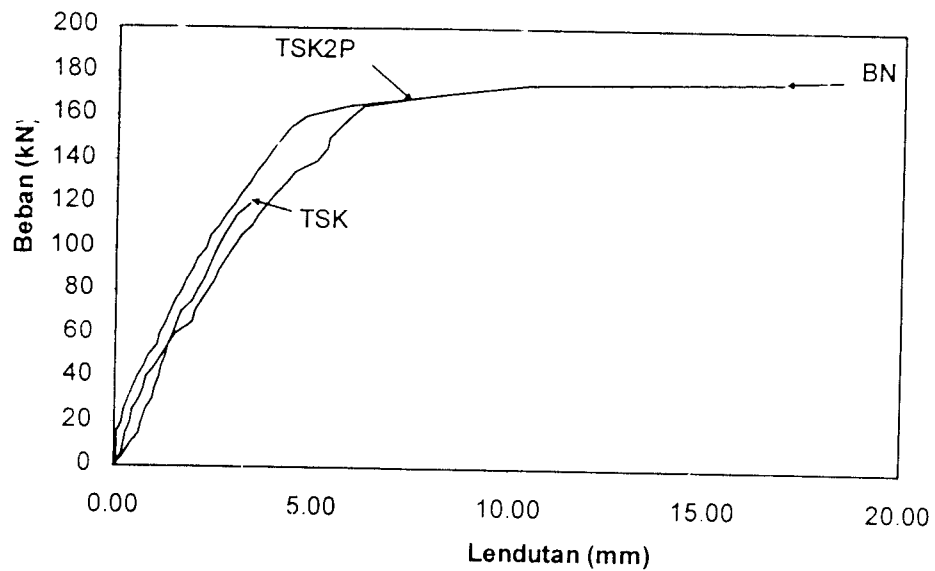
2.2 Hubungan antara balok kontrol dan balok TK2GTS



Gambar 5.3 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kontrol dan balok TK2GTS

Dari Gambar 5.3 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TK2GTS. Balok TK2GTS merupakan balok kawat strimin (tegak) 2 lapis geser tanpa sengkang, jadi balok ini menggunakan kawat strimin hanya pada daerah geser saja. Balok ini dapat menahan beban sebesar 185 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 12,15 mm. Nilai ini lebih besar daripada balok TSK dan BN dari kekuatannya menahan beban, namun lendutannya lebih kecil. Pada balok TK2GTS retak pertama terjadi pada beban 45 kN, lendutan 0,65 mm dan titik leleh pada beban 165 kN, lendutan 5,86 mm.

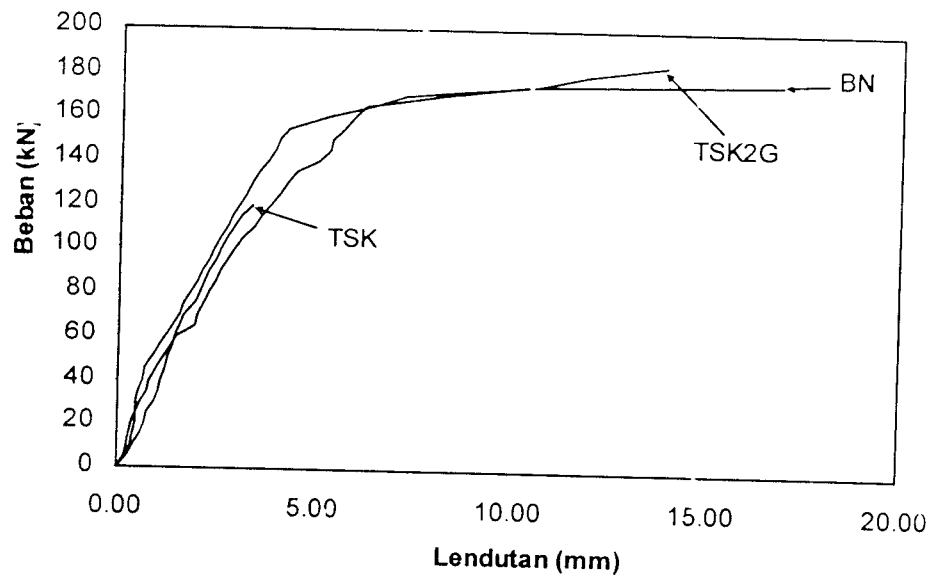
2.3 Hubungan antara balok kontrol dan balok TSK2P



Gambar 5.4 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kontrol dan balok TSK2P

Dari Gambar 5.4 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TSK2P. Balok TSK2P merupakan balok dengan sengkang dan kawat strimin (tegak) penuh. Balok ini dapat menahan beban sebesar 170 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 8,17 mm. Nilai ini lebih besar daripada balok TSK dan lebih kecil dari balok BN dari kekuatannya menahan beban, hal ini disebabkan beton telah mengalami keruntuhan sebelum mencapai kuat tarik maksimum dari tulangan maupun kawat strimin. Pada balok TSK2P retak pertama terjadi pada beban 35 kN, lendutan 0,44 mm dan titik leleh pada beban 160 kN, lendutan 4,73 mm.

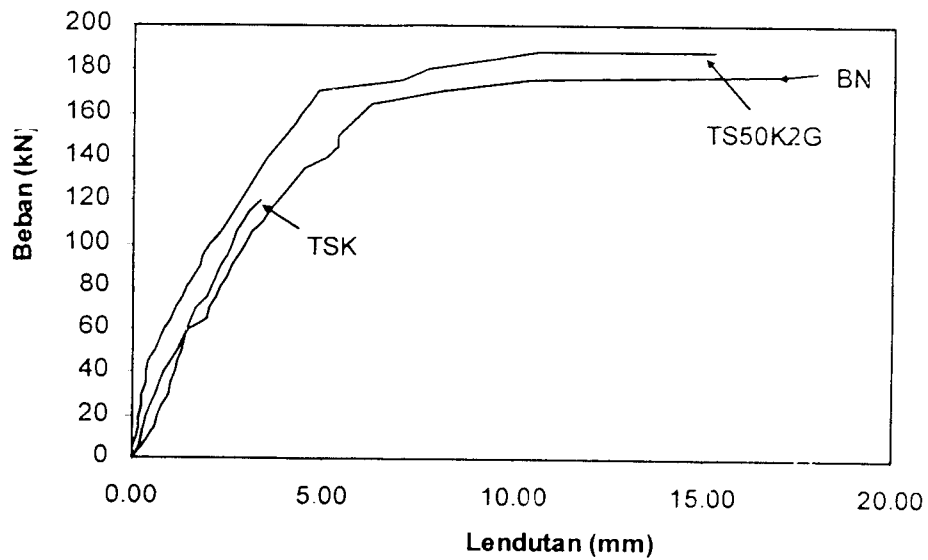
2.4 Hubungan antara balok kontrol dan balok TSK2G



Gambar 5.5 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kontrol dan balok TSK2G

Dari Gambar 5.5 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TSK2G. Balok TSK2G merupakan balok dengan sengkang dan kawat strimin (tegak) 2 lapis geser, jadi balok ini menggunakan sengkang dan kawat strimin hanya pada daerah geser saja. Balok ini dapat menahan beban sebesar 185 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 13.91 mm. Nilai ini lebih besar daripada balok TSK dan BN dari kekuatannya menahan beban, namun lendutannya lebih kecil. Pada balok TSK2G retak pertama terjadi pada beban 40 kN, lendutan 0,60 mm dan titik leleh pada beban 155 kN, lendutan 4.21 mm.

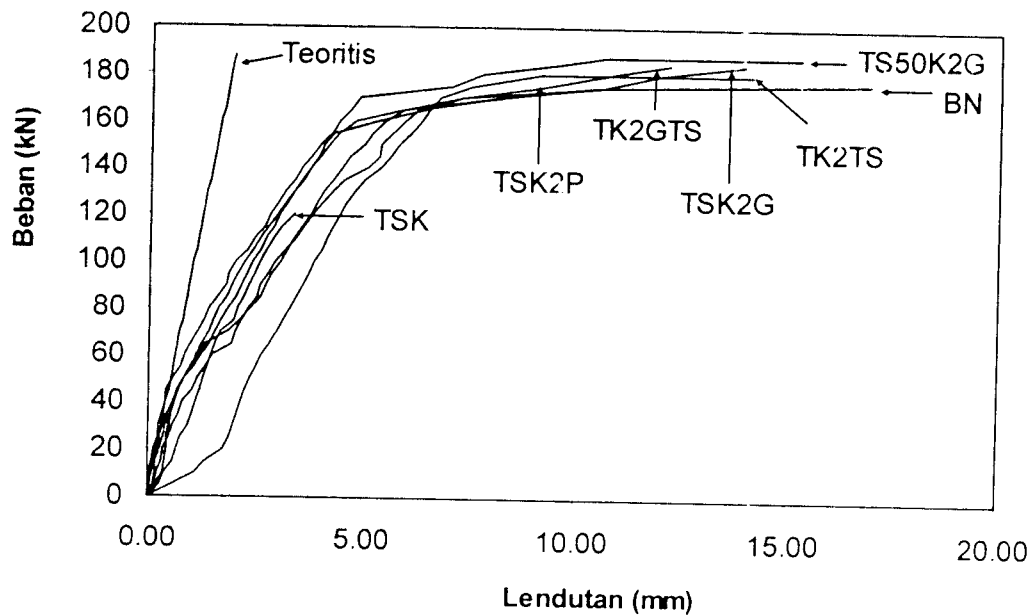
2.5 Hubungan antara balok kontrol dan balok TS50K2G



Gambar 5.6 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kontrol dan balok TS50K2G

Dari Gambar 5.6 dapat dibahas mengenai bagaimana hubungan balok kontrol dan balok TS50K2G. Balok TS50K2G merupakan balok dengan 50 % sengkang dan kawat strimin (tegak) 2 lapis geser, jadi balok ini menggunakan sengkang dengan jumlah setengahnya dan kawat strimin hanya pada daerah geser saja. Balok ini dapat menahan beban sebesar 188 kN dan lendutan maksimum rata-rata sebesar 15,25 mm. Nilai ini lebih besar daripada balok TSK dan BN dari kekuatannya menahan beban, namun lendutannya lebih kecil dari BN. Pada balok TS50K2G retak pertama terjadi pada beban 40 kN, lendutan 0,37 mm dan titik leleh pada beban 170 kN, lendutan 4,82 mm.

2.6 Hubungan antara balok kawat strimin dan teoritis



Gambar 5.7 Grafik hubungan Beban-Lendutan antara balok kawat strimin dan teoritis

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa penempatan kawat strimin sebagai pengganti sengkang yang efektif adalah balok TS50K2G, balok ini yang dapat menahan beban paling besar yaitu sebesar 188 KN dan lendutan maksimum rata-rata 15,43 mm. Perhitungan beban-lendutan secara teoritis ditunjukkan dengan garis linier yang naik, ini terjadi karena dalam lendutan teoritis yang berpengaruh adalah bebannya sehingga bila beban yang terjadi pada balok itu besar, maka lendutannya akan besar pula. Pada Gambar 5.7, nilai lendutan teoritis diambil dari beban balok TS50K2G, lendutannya yang terjadi sebesar 1,9 mm. Garis lendutan yang terjadi secara linier, artinya balok masih bersifat elastis penuh, tegangan tarik maksimal yang terjadi lebih kecil dari kuat tarik lentur baja.

5.7.2 Hubungan Momen Dan Kelengkungan

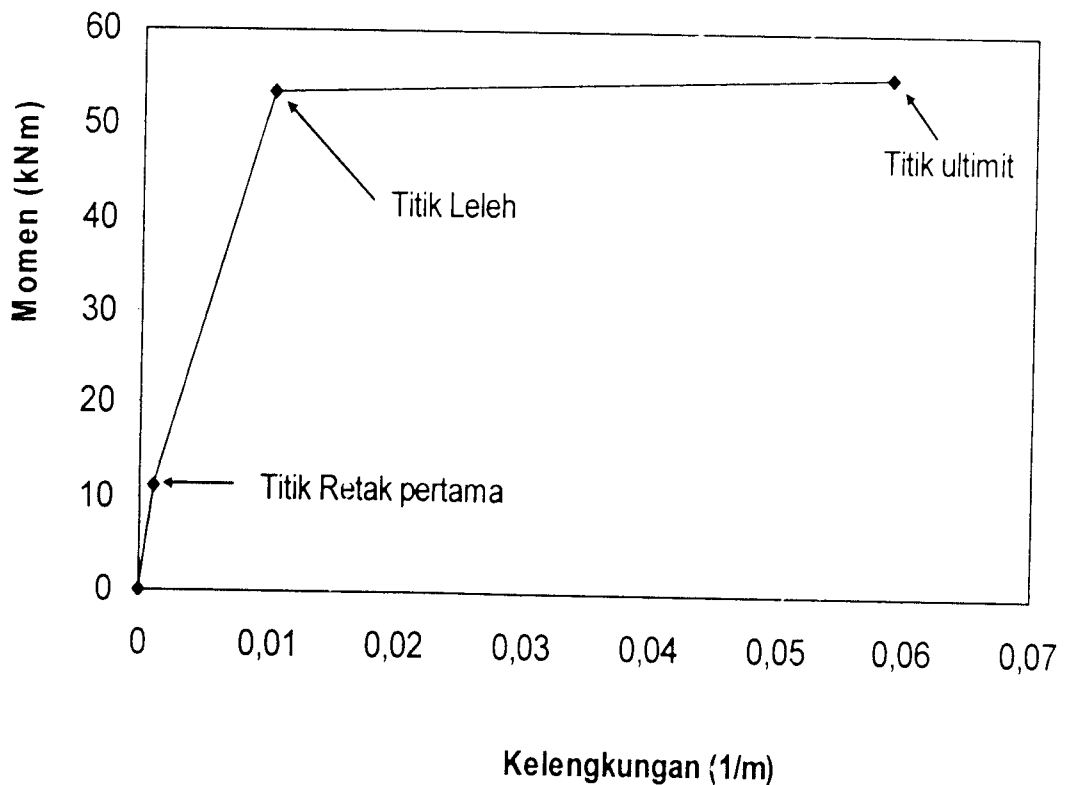
1 Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

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

Dari hasil perhitungan momen-kelengkungan pada balok tipe BN (Lampiran G.2), diperoleh data sebagaimana diperlihatkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.7 berikut.

Tabel 5.5 Hubungan momen-kelengkungan teoritis

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



Gambar 5.8 Grafik hubungan momen-kelengkungan teoritis

Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.8 didapatkan bahwa saat kondisi sebelum retak pertama momen yang terjadi sebesar 11,284 kNm dengan kelengkungan 0,00106 1/m. Saat kondisi leleh pertama momen yang terjadi sebesar 53,331 kNm dengan kelengkungan 0,01011 1/m, sedangkan saat kondisi balok telah mencapai beban maksimum momen yang terjadi sebesar 55,418 kNm dengan kelengkungan 0,05854 1/m.

2 Hubungan Momen-Kelengkungan Pengujian

Momen diperoleh dari hubungan antara beban dan jarak titik beban ke titik tumpuan pengujian, sedangkan kelengkungan balok diperoleh dari turunan data lendutan yaitu dari *LVDT* 1, *LVDT* 2 dan *LVDT* 3 dengan pendekatan *finite difference method*.

Momen lentur (M) pada pengujian balok dihitung dengan persamaan 3.28. Sedangkan Kelengkungan (ϕ) dapat dihitung dengan persamaan 3.46.

Sehingga diperoleh hubungan momen-kelengkungan sebagaimana diperlihatkan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Hubungan momen-kelengkungan pengujian dan teoritis

Tipe balok	Momen (kNm)	ϕ pengujian (1/m)	$\phi_{\text{peng.}}/\phi_{\text{teori}}$	Rasio (%)
BN	49,56	0,06411	1,095	100
TSK	33,6	0,00822	0,14	13
TK2TS	50,4	0,03978	0,68	62
TK2GTS	51,8	0,03178	0,543	50
TSK2P	47,6	0,06089	1,04	95
TSK2G	51,8	0,07544	1,289	118
TS50K2G	52,64	0,06878	1,175	107

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

Untuk balok tipe TK2TS dan TK2G1S momen yang terjadi lebih besar dari balok BN, tetapi kelengkungan yang terjadi kecil sehingga perbandingan kelengkungan terhadap balok BN sebesar 62% dan 50%. Ini artinya pemberian kawat strimin tanpa sengkang dan pemberian kawat strimin persegi 2 lapis pada daerah geser tanpa sengkang dapat menggantikan fungsi sengkang dan juga lebih memperkuat kekuatan lentur balok.

Hal yang berbeda terjadi pada balok dengan kawat strimin persegi 2 lapis dan penuh sengkang (TSK2P). Pemberian kawat strimin tidak memberikan momen yang lebih besar daripada balok tipe BN, namun kelengkungan yang terjadi sebesar 0,06089 1/m. Nilai ini hampir sama dengan kelengkungan yang terjadi pada balok tipe BN sebesar 0,06411 1/m, sehingga rasio kelengkungan antara balok TSK2P dan balok BN sebesar 95%. Ini artinya pemberian kawat strimin dapat memperkuat kekuatan lentur balok.

Untuk balok tipe TSK2G dan TS50K2G nilai momen yang terjadi lebih besar dari balok tipe BN, begitu pula dengan kelengkungan yang terjadi mengalami peningkatan yang kecil. Sehingga rasio kelengkungannya naik sebesar 7-18%, ini artinya penggunaan kawat strimin dengan sengkang pada daerah geser saja dan pemberian kawat strimin dengan 50 % sengkang pada daerah geser sangat efektif untuk memperkuat lentur dan geser balok.

5.7.3 Analisa Kekakuan Dan Faktor Kekakuan

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

Faktor kekakuan (EI) merupakan besaran yang menggambarkan besarnya nilai kekakuan elemen lentur. Besarnya EI dipengaruhi oleh kondisi dukungan yang akan menentukan derajat pengekangan, mutu bahan (E) dan geometri penampang (I). Jika mutu pengerjaan buruk maka kualitas atau mutu akan turun dan mempengaruhi modulus elastis dan kekuatan tariknya, yang akhirnya retak

awal dan faktor kekakuan akan menurun. Nilai-nilai faktor kekakuan semua balok dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Analisa kekakuan balok

Tipe balok	P_y (kN)	Lendutan (Δ_y) (mm)	Kekakuan (P_y/Δ_y) (kN/mm)	Rasio Kekakuan Terhadap BN (%)	Faktor kekakuan, EI (M_y/ϕ_y)	Rasio EI terhadap BN (%)
TSK	70	1,637	42,77	161	2450	73
BN	165	6,207	26,583	100	3353,23	100
TK2TS	170	6,73	25,26	95	4812,94	144
TK2GTS	165	5,86	28,157	106	1637,72	49
TSK2P	160	4,73	33,827	127	1381,01	41
TSK2G	155	4,21	36,817	138	2012,99	60
TS50K2G	170	4,86	34,979	132	3224,93	96

Dari Tabel 5.7 dapat diamati bahwa kekakuan yang terbesar terjadi pada balok tipe TSK dengan nilai kekakuan sebesar 42,77 kN/mm, sedangkan rasio kekakuan terhadap balok BN sebesar 161%. Nilai ini mengalami kenaikan sebesar 61% dari kekakuan balok BN, hal ini disebabkan oleh lendutan (sebagai pembagi) pada balok ini sangat kecil dan balok telah mengalami runtuh geser secara tiba-tiba/getas sebelum mencapai lendutan maksimum.

Pada balok tipe TK2TS kekakuan yang terjadi lebih rendah 5% dari balok BN, sementara beban leleh (P_y) mengalami kenaikan 5 kN terhadap balok BN. Hal ini disebabkan oleh pemberian kawat strimin sebagai pengganti sengkang, dengan demikian balok dengan kawat strimin persegi 2 lapis tanpa sengkang memiliki kemampuan yang setara dengan balok menggunakan sengkang (BN).

Pada balok tipe TK2GTS, TSK2P, TSK2G dan TS50K2G nilai kekakuan yang diperoleh mengalami peningkatan sebesar 6%, 27%, 38% dan 32%, sementara nilai P_y bervariasi dan nilai lendutan yang lebih kecil dari balok BN. Dengan demikian pemberian kawat strimin pada balok dapat meningkatkan kekakuan balok itu sendiri.

Faktor kekakuan (EI) balok suatu besaran yang selalu dipakai pada analisis struktur statis-tak-tentu atau dalam menghitung lendutan balok/kolom. Nilai

faktor kekakuan adalah berbanding terbalik dengan nilai kekakuan yang didapat, dari Tabel 5.7 memperlihatkan nilai EI masing-masing tipe balok. Balok tipe TK2TS memiliki nilai faktor kekakuan yang daripada balok BN sebesar 44%, sedangkan balok tipe TSK, TK2G1S, TSK2P, TSK2G dan TS50K2G mengalami penurunan faktor kekakuan sebesar 28%, 51 %, 59%, 40% dan 4%.

5.7.4 Analisa Daktilitas Simpangan Dan Daktililitas kelengkungan

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

Tabel 5.8 Analisa daktilitas balok

Tipe balok	Daktilitas simpangan Δ_u/Δ_y	Persentase terhadap BN (%)	Daktilitas kelengkungan ϕ_u/ϕ_y	Persentase terhadap BN (%)
TSK	2,03	74,55	2,176	46,77
BN	2,723	100	4,653	100
TK2TS	2,094	76,9	4,022	86,44
TK2GTS	2,073	76,13	1,127	24,22
TSK2P	1,727	63,42	1,877	40,34
TSK2G	3,304	121,34	3,499	75,2
TS50K2G	3,138	115,24	4,66	100,15

Dari Tabel 5.8 dapat diketahui bahwa tingkat daktilitas simpangan yang lebih besar terhadap balok BN hanya terjadi pada balok TSK2G dan TS50K2G. Kenaikan daktilitas simpangannya sebesar 21,34% dan 15,24%. Hal ini disebabkan pada beban ultimit kedua balok tersebut mengalami lendutan yang besar dibandingkan dengan balok BN, dengan demikian pemberian kawat strimin persegi 2 lapis pada daerah geser dan daerah lentur yang efektif terjadi pada kedua balok tersebut. Pada balok TSK2P juga diberikan perkuatan pada daerah geser dan lentur dengan kawat strimin persegi 2 lapis, namun karena peningkatan beban ultimit yang terjadi hanya sampai beban 170 kN sehingga lendutannya lebih kecil

dibandingkan dengan balok BN. Sedangkan untuk TSK daktilitas lebih rendah dari balok BN, karena pada balok ini tidak menggunakan sengkang sehingga perkuatan pada daerah geser tidak ada. Lendutan akibat lenturan yang terjadi masih relatif kecil dan kegagalan balok terjadi pada daerah geser maka balok TSK termasuk daktilitas rendah.

Dari daktilitas kelengkungan, ternyata yang paling besar terjadi pada balok TS50K2G dibanding balok dengan kawat strimin yang lain, sedangkan terhadap balok BN persentase kenaikan hanya sebesar 0.15%. Sehingga pengaruh kawat strimin pada balok untuk daktilitas kelengkungan relatif kecil.

5.7.5 Kapasitas Momen

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

Tabel 5.9 Kapasitas momen

Type balok	Kapasitas momen teoritis, M_n (MPa)	Kapasitas momen hasil uji, M_n (MPa)	Persentase terhadap M_n teoritis (%)	Persentase terhadap M_n BN (%)
TSK	55,314	33,6	60,74	67,80
BN	55,314	49,56	89,60	100,00
TK2TS	55,314	50,4	91,12	101,69
TK2GTS	55,314	51,8	93,65	104,52
TSK2P	55,314	47,6	86,05	96,5
TSK2G	55,314	51,8	93,65	104,52
TS50K2G	55,314	52,64	95,17	106,21

Dari Tabel 5.9 dapat diamati bahwa penggunaan kawat strimin persegi 2 lapis tidak memberikan kapasitas momen hasil uji (M_n) lebih besar dibanding M_n teoritisnya, namun penggunaan kawat strimin memberikan peningkatan 1-6% terhadap balok BN. Balok yang mengalami peningkatan yaitu balok TK2TS,

TK2GTS, TSK2G dan TS50K2G. Sedangkan pada tipe balok TSK2P yang sebenarnya merupakan balok yang paling kuat, namun persentase M_n mengalami penurunan sebesar 4%. Hal ini disebabkan oleh kemampuan maksimum kawat strimin persegi 2 lapis belum tercapai tetapi kekuatan maksimum beton sudah terlampaui, kegagalan balok terjadi karena kelemahan betonnya sehingga momen yang dicapai balok relatif kecil dibanding balok BN.

5.7.6 Analisa Geser Balok

1 Kapasitas Geser Pada Retak Miring Pertama

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

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

ultimit menggambarkan kekuatan balok pada saat menjelang runtuh. Hasil pengamatan dari kapasitas geser pada retak miring pertama dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Momen retak miring pertama dan ultimit

Tipe balok	Momen retak miring pertama (kNm)	Momen retak ultimit, M_u (kNm)	Persentase terhadap momen ultimit (%)
TSK	23,8	33,6	70,833
BN	29,4	49,56	59,322
TK2TS	26,6	50,4	52,778
TK2GTS	23,8	51,8	45,946
TSK2P	25,2	47,6	52,941
TSK2G	28	51,8	54,054
TS50K2G	25,2	52,64	47,872

Dari Tabel 5.10 dapat diamati bahwa retak miring pertama tiap balok bervariasi akibat dari penggunaan kawat strimin persegi 2 lapis. Untuk tipe balok TSK dan TK2GTS retak miring pertama sama-sama terjadi pada momen 23,8 kNm, namun balok tipe TK2GTS dapat mencapai momen ultimit sebesar 51,8 kN, nilai ini lebih besar dibandingkan balok TSK. Sedangkan pada tipe balok BN retak miring pertama baru terjadi pada momen 29,4 kNm, sementara momen retak ultimit terjadi pada 49,56 kNm. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan balok TK2TS, TK2GTS, TSK2G dan TS50K2G, yang masing-masing balok dapat mencapai momen retak ultimit sebesar 50,4, 51,8, 51,8 dan 52,64 kNm. Hal ini disebabkan pengaruh kawat strimin persegi 2 lapis sehingga momen retak ultimit yang dihasilkan lebih besar dari balok BN. Persentase momen retak miring pertama terhadap momen retak ultimit yang terbesar terjadi pada balok tipe TSK, sedangkan persentase terhadap momen ultimit yang terkecil terjadi pada balok TK2GTS.

2 Kapasitas Geser Pada Beban Ultimit

Menurut SK SNI T-15-1991-03 daya dukung geser nominal total (V_n) adalah jumlah dari daya dukung geser beton (V_c) dan daya dukung tulangan badan (V_s), yang dapat ditulis dengan persamaan 3.17 dan 3.21, sedangkan Kapasitas geser hasil uji didapat dari beban yang terjadi pada titik ultimit. Rangkuman hasil analisis kuat geser nominal dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Kapasitas geser

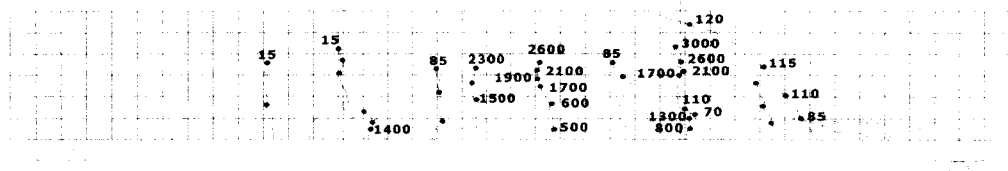
Tipe balok	Kapasitas geser teoritis, V_n (kN)	Kapasitas geser hasil uji, V_n (kN)	Persentase terhadap teoritis (%)	Persentase terhadap BN (%)
TSK	38.916	60	154.178	66.667
BN	82.753	90	108.757	100
TK2TS	38.916	90	231.267	100
TK2GTS	38.916	92.5	237.691	102.778
TSK2P	82.753	85	102.715	94.444
TSK2G	82.753	92.5	111.778	102.778
TS50K2G	60.835	94	154.516	104.444

Dari Tabel 5.11 dapat diamati bahwa semua balok pada kapasitas geser hasil uji (V_n) nilainya lebih besar daripada kapasitas geser teoritisnya. Hal ini menunjukkan bahwa kegagalan balok dalam geser terjadi setelah kapasitas ultimit geser balok tercapai. Sedangkan persentase kapasitas geser pada balok tipe TK2GTS, TSK2G dan TS50K2G mengalami peningkatan antara 2 - 4% dibandingkan dengan balok tipe BN. Hal ini memperlihatkan bahwa kawat strimin persegi 2 lapis memberikan kontribusi terhadap keruntuhan geser secara tiba-tiba/getas. Pada balok TSK persentase kapasitas geser terhadap balok BN sebesar 66.667 %, nilai ini lebih kecil dikarenakan balok tidak menggunakan sengkang. Sedangkan Pada balok TSK2P nilai persentase lebih kecil dikarenakan beton telah mengalami kegagalan dan menyebabkan keruntuhan balok.

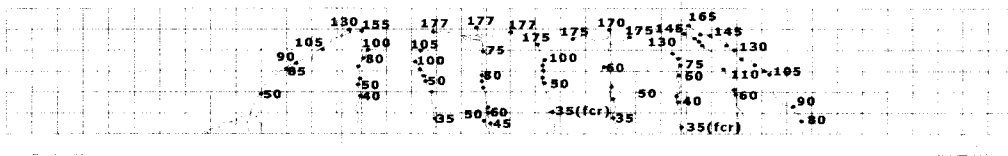
5.8 Analisa Retak Balok

5.8.1 Pola Retak Balok

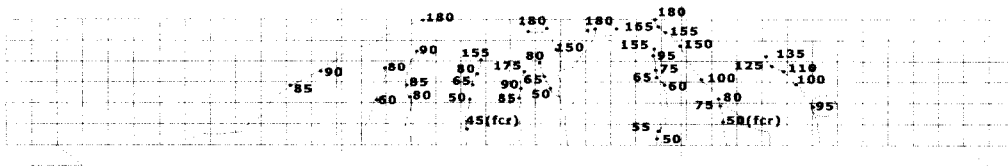
Retak tegak lurus sumbu longitudinal akan terjadi apabila balok mendapat pembebanan. Hal ini disebabkan regangan tarik yang terjadi pada sisi bawah penampang sudah melebihi regangan tarik beton. Penelitian mendapatkan data-data pembebanan, panjang retak dan lebar retak. Retak yang terjadi pada masing-masing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



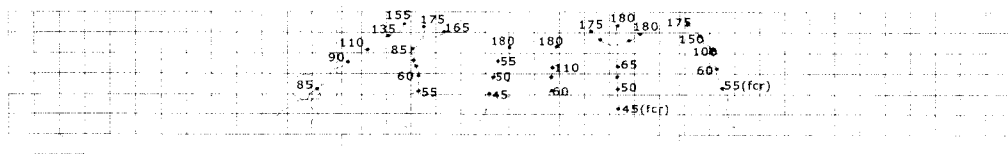
Gambar 5.9 Pola Kerusakan Balok Tanpa Senggang Kawat Strimin (TSK)



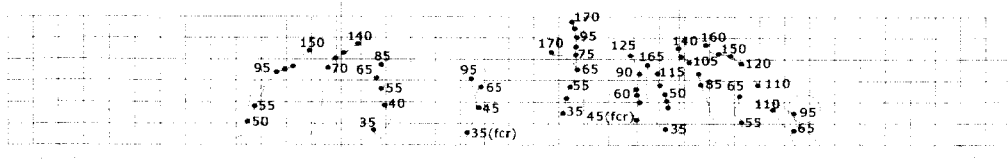
Gambar 5.10 Pola Kerusakan Balok Normal (BN)



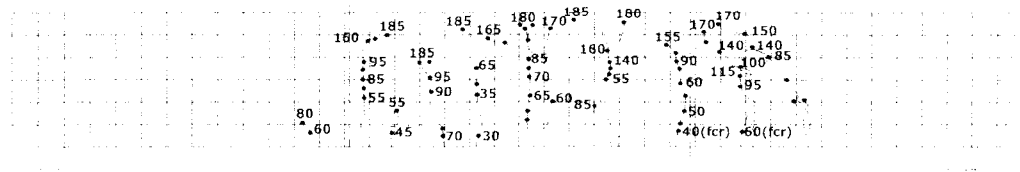
Gambar 5.11 Pola Kerusakan Balok TK2TS



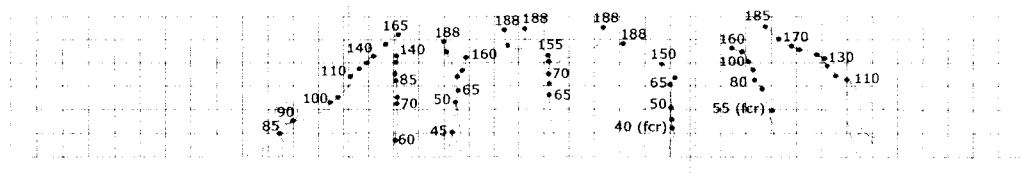
Gambar 5.12 Pola Kerusakan Balok TK2GTS



Gambar 5.13 Pola Kerusakan Balok TSK2P



Gambar 5.14 Pola Kerusakan Balok TSK2G



Gambar 5.15 Pola Kerusakan Balok TS50K2G

Keretakan yang terjadi pada seluruh balok uji memiliki jenis retak yang sama, yaitu berupa retak lentur dan retak geser. Namun demikian pola retak kedua jenis retak tersebut untuk masing-masing balok berbeda. Hal ini disebabkan oleh perlakuan pemberian sengkang dan kawat strimin pada balok. Retak-retak awal berupa retak lentur yang terjadi pada sisi serat tarik daerah momen terbesar yaitu pada lokasi di tengah bentang balok di antara dua titik beban. Untuk itu pengamatan retak lentur dipusatkan pada daerah tersebut.

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

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

Balok kontrol yaitu balok normal tanpa sengkang (TSK) dan balok normal dengan sengkang (BN) akan menjadi acuan untuk menganalisis retak balok

lainnya. Gambar 5.9 dan 5.10 memperlihatkan pola retak balok kontrol, retak lentur terjadi lebih dahulu dibanding retak geser. Retak lentur merambat sesuai dengan pertambahan beban, sedangkan retak geser mulai timbul ketika retak lentur semakin mendekati daerah tekan penampang balok. Retak geser ditandai dengan retak miring yang membentuk sudut kurang lebih 45° . Perambatan retak geser berikutnya sangat cepat dengan retak yang terjadi cukup panjang ketika beban ditambahkan terutama pada balok TSK, hal ini disebabkan balok tidak menggunakan tulangan geser. Untuk balok BN, timbulnya retak geser hampir serupa dengan balok TSK, tetapi retak geser yang terjadi merupakan kelanjutan dari retak lentur, terutama retak lentur di daerah geser.

Sedangkan untuk balok yang menggunakan kawat strimin seperti balok TK2TS, TK2GTS, TSK2P, TSK2P dan TS50K2P. Pola perambatan retak yang terjadi hampir serupa dengan balok kontrol. Dimulai retak awal pada daerah lentur yang terjadi secara vertikal, sedangkan retak pada daerah geser dimulai dari retak lentur kemudian ketika mendekati garis netral penampang balok, perambatan retaknya digambarkan secara miring. Hal yang membedakan pola perambatan retak yang terjadi pada balok yang menggunakan kawat strimin dengan balok kontrol adalah naiknya perambatan retak terjadi secara pelan, ini dapat dilihat pada Gambar 5.11 – 5.15, naiknya perambatan retak setiap beban 5 kN, sedangkan pada balok kontrol naiknya keretakan tidak tentu, kadang terjadi setiap 10 kN atau lebih. Hal ini menandakan bahwa kawat strimin bentuk persegi 2 lapis berpengaruh untuk memperlambat naiknya keretakan yang terjadi.

5.8.2 Pola Runtuh Balok

Kerusakan pada struktur balok beton umumnya terjadi akibat lentur dan geser. Lentur pada balok beton ditahan oleh beton tarik dan tulangan lentur atau tulangan memanjang, sedangkan geser ditahan oleh beton dan tulangan geser yang biasa disebut sengkang. Menurut Wang dan Salmon (1986), tulangan geser yang terlalu sedikit jumlahnya akan meleleh segera setelah terbentuknya retak miring dan kemudian balok runtuh. Jika jumlah tulangan geser terlalu banyak, balok kuat terhadap geser dan berperilaku duktail serta akan terjadi keruntuhan lentur

sebelum tulangan geser leleh. Dalam penelitian ini, untuk perkuatan geser balok digunakan kawat strimin yang diselamatkan pada inti balok. Kawat strimin akan berfungsi sebagaimana sengkang sebagai tulangan geser.

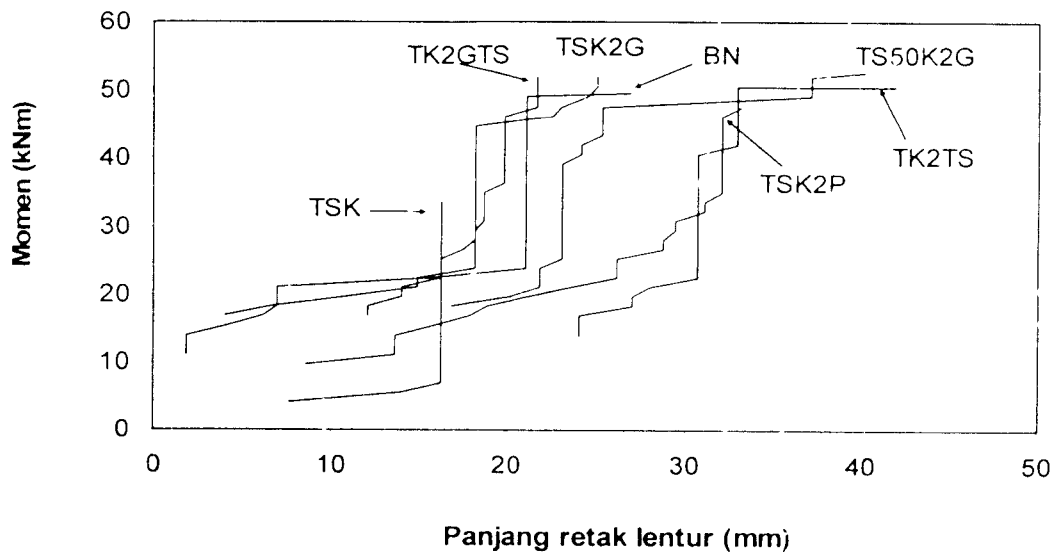
Perambatan retak yang digambarkan dengan angka mulai dari retak awal terjadi sampai dengan retak yang meruntuhkan balok, sehingga menunjukkan pola runtuh balok tersebut. Keruntuhan balok dapat diketahui dengan mengamati retak yang menyebabkan beban tidak bertambah tetapi lendutan terus meningkat. Balok direncanakan runtuh dalam geser dengan memberikan rasio panjang bentang-tinggi balok (a/d) sebesar 2. Balok kontrol TSK dan BN pada Gambar 5.8 dan 5.9 memperlihatkan pola keruntuhan yang terjadi adalah pola keruntuhan geser. Keruntuhan terjadi setelah retak geser masuk lebih dalam ke daerah tekan yang menyebabkan balok kehilangan daya dukungnya, sehingga keruntuhan TSK menjadi sangat tiba-tiba. Sedangkan BN, karena terdapat sengkang keruntuhan geser tidak begitu tiba-tiba, tetapi keruntuhan juga dalam geser. Hal ini sesuai dengan yang diperoleh Bresler dan Scordelis (1963), pada balok sederhana, keruntuhan geser berupa retak tarik diagonal membentang dari titik beban ke tumpuan dengan pola retak tergantung panjang bentang gesernya.

Sedangkan balok yang menggunakan kawat strimin seperti balok TK2TS, TK2GTS, TSK2P, TSK2G dan TS50K2P mengalami pola keruntuhan lentur, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.11 – 5.15, hal ini menandakan bahwa balok yang diperkuat dengan kawat strimin pada daerah geser dapat berperan dengan baik. Dari Gambar 5. 11 – 5.15 diketahui pula masing-masing beban maksimum pada daerah lentur dan daerah geser ketika terjadi keruntuhan lentur. Berikut data yang diketahui, pada balok TK2TS (180 kN, 180 kN), TK2GTS (180 kN, 175 kN), TSK2P (170 kN, 160 kN), TSK2G (185 kN, 170 kN) dan TS50K2G (188 kN, 185 kN).

5.8.3 Hubungan Panjang Retak Dengan Momen

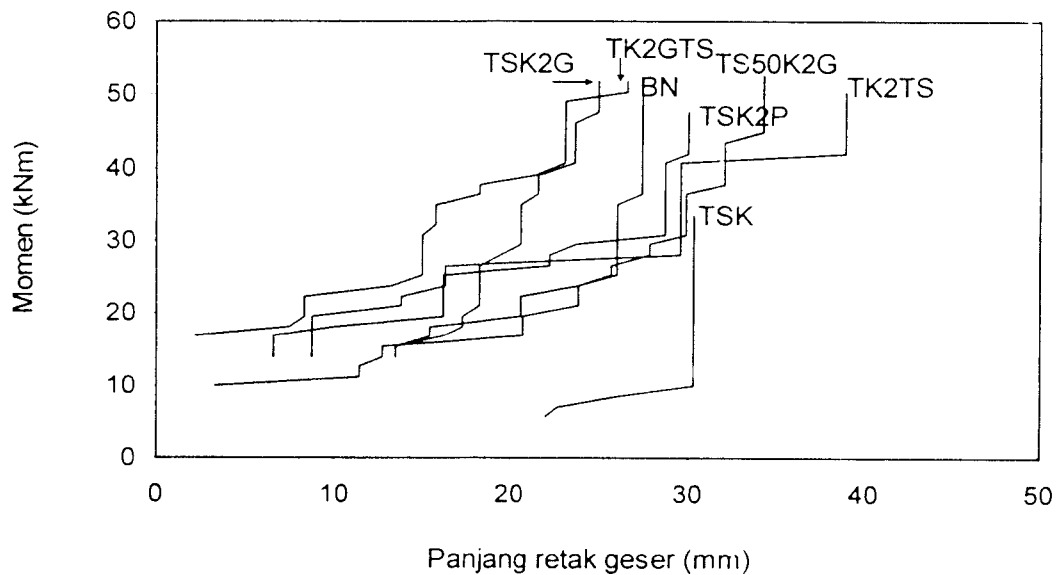
Retak pada daerah lentur ditandai dengan retak tegak lurus sumbu longitudinal, sedangkan retak pada daerah geser berpola retak lentur dahulu baru kemudian keretakan yang terjadi miring $\leq 45^\circ$ dan dari retak miring pertama ini

dinamakan retak geser. Dari hasil pengujian didapatkan hubungan momen dengan panjang retak dari daerah lentur maupun daerah geser, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan 5.17.



Gambar 5.16 Grafik hubungan momen-panjang retak lentur

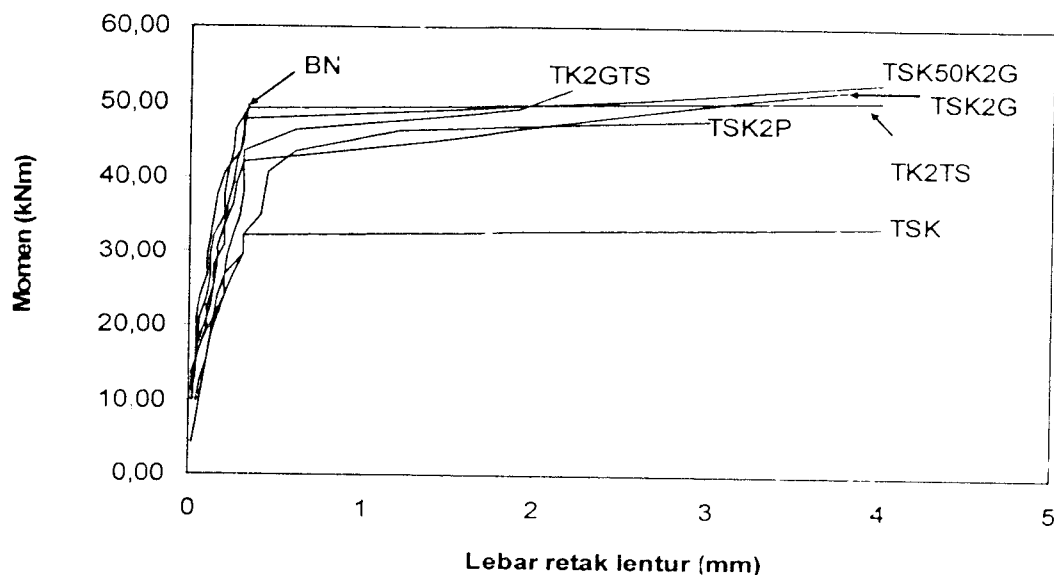
Dari Gambar 5.16 diperoleh bahwa pada daerah lentur balok TSK memiliki momen dan panjang retak yang kecil dan antara balok BN dengan balok yang diberi penambahan kawat strimin dan pengurangan jumlah sengkang pada daerah lentur memiliki kekuatan menahan momen yang hampir sama besarnya. Diantara balok tersebut bila dibandingkan dengan balok BN adanya perbedaan panjang retak lentur yang lebih pendek yaitu balok TK2GTS dan TSK2G dan balok yang memiliki panjang retak lentur yang lebih panjang yaitu balok TSK2P, TS50K2G dan TK2TS. Dari panjang retak lentur diantara balok dapat diketahui bahwa balok dengan penambahan kawat strimin memberi kekuatan dalam menahan gaya lentur.



Gambar 5.17 Grafik hubungan momen-panjang retak geser

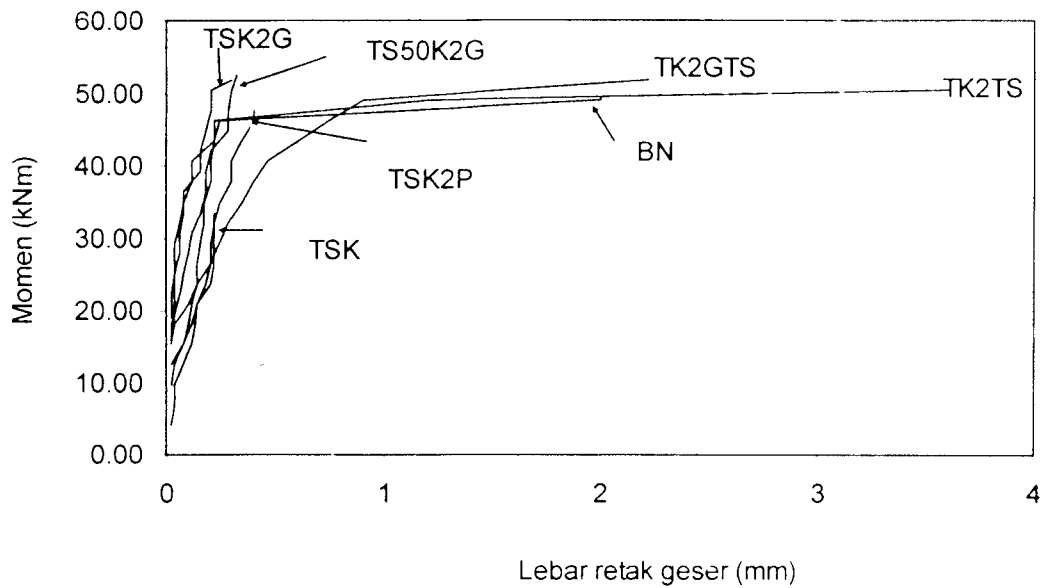
Dari Gambar 5.17 diperoleh hubungan antara momen dan panjang retak geser. Bila dibandingkan antara balok BN dan balok dengan variasi kawat strimin panjang retak geser yang terjadi memiliki perbedaan relatif kecil. Balok dengan variasi kawat strimin lebih panjang retaknya, hal ini disebabkan pada balok strimin dapat menerima beban lebih lama sehingga panjang retaknya lebih besar. Sedangkan balok TSK yang memiliki panjang retak geser yang terkecil, hal ini disebabkan balok tidak menggunakan sengkang dan telah mencapai keruntuhan beton. Balok yang memiliki panjang retak geser yang paling besar terjadi pada balok TK2TS.

5.8.4 Hubungan Lebar Retak Dengan Momen



Gambar 5.18 Grafik hubungan momen-lebar retak lentur

Dari Gambar 5.18 diperoleh hubungan momen dan lebar retak pada daerah lentur, diketahui bahwa pada balok TSK momen yang terjadi hanya sebesar 33,6 kNm dan lebar retak sampai mencapai 4 mm. Hal ini disebabkan balok tidak menggunakan sengkang maupun kawat strimin. Pada balok BN walaupun momen yang terjadi besar yaitu 49,56 kNm namun lebar retak lentur yang terjadi hanya mencapai 0,32 mm. Hal ini disebabkan balok menggunakan sengkang. Dari pada semua balok variasi kawat strimin momen yang terjadi besar kecuali balok TSK2P, hal ini dikarenakan balok TSK2P telah mengalami runtuh beton dahulu sebelum mencapai kuat tarik dari kawat strimin. Lebar retak lentur yang terjadi pada semua balok variasi kawat strimin mengalami peningkatan daripada balok BN. Hal ini menandakan bahwa adanya pengaruh kawat strimin dengan adanya penambahan lebar retak, namun keretakan yang terjadi pada balok kawat strimin peningkatan lebarnya secara pelan atau bertahap.



· Gambar 5.19 Grafik hubungan momen-lebar retak geser

Dari Gambar 5.19 diperoleh diperoleh hubungan momen dan lebar retak geser. Momen yang dapat ditahan oleh balok TSK hanya sebesar 33,6 kNm dan lebar retak geser 0,22 mm, Sedangkan pada balok BN yang merupakan balok penuh sengkang dan balok kontrol momen yang terjadi sebesar 49,56 kNm dan lebar retak gesernya 2 mm. Sedangkan dari semua balok yang mengalami lebar retak geser paling besar terjadi pada balok TK2TS sebesar 3,6 mm dan momennya sebesar 50,4 kNm.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian balok beton bertulang dengan penambahan kawat strimin bentuk persegi 2 lapis terhadap analisis lentur dan geser adalah sebagai berikut:

1. Perbedaan beban yang dapat ditahan antara balok kawat strimin dan balok kontrol relatif sama dan lendutan yang terjadi pada saat beban maksimum antara balok kawat strimin dan lendutan pada balok kontrol lebih kecil.
2. Penggunaan variasi kawat strimin dan sengkang pada balok meningkatkan kekakuan balok itu sendiri, dengan peningkatan persentase antara 6 – 32 % dibandingkan dengan balok kontrol, sedangkan daktilitas yang terjadi pada balok kawat strimin juga mengalami peningkatan yaitu sekitar 15 - 21% dibanding balok kontrol.
3. Pola runtuh yang terjadi pada balok strimin adalah keruntuhan lentur dan yang terjadi pada balok kontrol adalah keruntuhan geser, sedangkan naiknya perambatan retak pada balok kawat strimin terjadi secara pelan dan bertahap dibanding dengan balok kontrol.
4. Panjang retak yang terjadi pada balok strimin lebih panjang dibandingkan dengan balok kontrol.
5. Lebar retak yang terjadi pada balok strimin lebih kecil dibandingkan dengan balok kontrol

6.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik dalam melakukan penelitian balok beton bertulang, dikemukakan saran sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, kekakuan dan daktilitas yang terjadi dapat ditingkatkan dengan penggunaan kawat strimin bentuk persegi.
2. Keretakan yang terjadi dapat dikurangi dengan penggunaan kawat strimin bentuk persegi.

3. Dapat dilakukan penelitian lanjutan berkaitan dengan penambahan kawat strimin terhadap balok beton bertulang, baik dari segi bentuk, jarak bukaan kawat, diameter maupun jenis kawat itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Kadir Aboe, 2000, **STUKTUR BETON I**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Abdullah. 1999, **FEROSEMEN SEBAGAI ALTERNATIF MATERIAL UNTUK MEMPERKUAT KOLOM BETON BERTULANG**, Seminar on Air-PPI Tokyo Institute of Technology, No. 4 (Desember), 143-147.
- Anonim, 1979, **PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA 1971 NI 2**, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Jakarta.
- Ferguson, Phil M., 1986, **DASAR-DASAR BETON BERTULANG**, Terjemahan Budianto Sutanto dan Kris Setianto, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Istimawan Dipohusodo, 1994, **STUKTUR BETON BERTULANG**, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Murdock, L. J. dan Brook, K. M., 1986, **BAHAN DAN PRAKTEK BETON**, Terjemahan Stephanus Hendarko, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, Edward G., 1990, **BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR**, Terjemahan Bambang Suryoatmono, PT. Eresco, Bandung.
- Park, R. dan Paulay, 1975, **REINFORCED CONCRETE STRUCTURES**, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Salmon, C.G. dan Johnson, J.E., 1994, **STRUKTUR BAJA DESAIN DAN PERILAKU**, PT Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Timoschenko, S.P. dan Gere, J.M., 1987, **MEKANIKA BAHAN**, Terjemahan Hans. J. Waspakrik, Jilid 1, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Vis. W.C. dan Gideon Kusuma. 1993, **DASAR-DASAR PERENCANAAN BETON BERTULANG**, Seri 1, Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K. dan Salmon, C.G., 1993, **DESAIN BETON BERTULANG**, Jilid 1, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Winter. G. dan Nilson, Arthur H., 1993, **PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG**, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

- Spiegel, L. Dan Limbrunner, G.F., 1991, **DESAIN BAJA STRUKTURAL TERAPAN**, Terjamahan Bambang Suryoatmono, PT. Eresco, Bandung.
- Bleich, F. Dan Bleich, H.H., 1952, **BUCKLING STRENGTH OF METAL STRUCTURES**, Mc Graw Hill, New York.
- Sudarmoko, 1996, **DIAGRAM PERANCANGAN BALOK BETON BERTULANG MENGACU SNI-03-2847-1992**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Biro Penerbit, Yogyakarta.
- Erna Sukmawati dan Ari Herawati, 2001, **TUGAS AKHIR PENGARUH VARIASI PANJANG DAN PROSENTASE SERAT TERHADAP KUAT GESER PADA BETON BERTULANG**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hari Purwanto dan Cholis Yudianto, 2000, **TUGAS AKHIR PENULANGAN GESER MINIMUM DALAM BALOK BETON MUTU NORMAL DAN BALOK BETON MUTU TINGGI (STUDI EKSPERIMENTAL)** Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Martopo dan Yanuar Hadi, 1997, **TUGAS AKHIR PENELITIAN LABORATORIUM PENGARUH PENAMBAHAN FIBER KAWAT STRIMIN TERHADAP KUAT LENTUR BETON**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Tanjung Rahayu dan M. Nur Trihandoko, 1996, **TUGAS AKHIR PENGARUH KAWAT BAJA LURUS DAN BERKAIT TERHADAP KUAT LENTUR DAN KUAT DESAK BETON FIBER**, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Bresler, B. dan Scordelis, A.C., 1963, *Shear strength of reinforced concrete beams*, Journal of American Concrete Institute, Januari, hal. 51-72.
- [http : //www.sensotec.com/ LVDT.asp](http://www.sensotec.com/LVDT.asp).
- [http : //www.unila.ac.id/~ft-sipil/Ferrocement/Ferosemen.htm](http://www.unila.ac.id/~ft-sipil/Ferrocement/Ferosemen.htm)

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR



KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	N A M A	NO.MHS.	BID.STUDI
1.	Indra Saputra	00 511 050	Teknik Sipil
2.	Heri Sulistiyo	00 511 058	Teknik Sipil

JUDUL TUGAS AKHIR

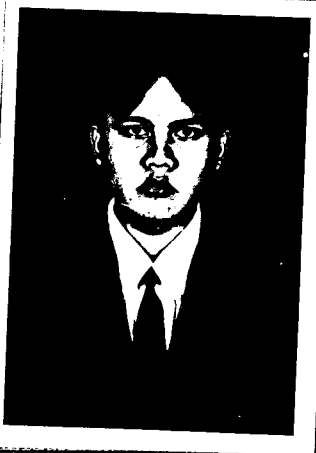
Analisis Kuat Geser Dan Kuat Lentur Pada Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Wire Mesh Bentuk Persegi Dua Lapis

PERIODE KE : IV (Juni 05 - Nop.05)
 Tahun Akademi : 2004 - 2005
 Sampai Akhir Nopember 2005

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		JUN.	JUL.	AGT.	SEP.	OKT.	NOP
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar Proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA.			■	■	■	■
6	Sidang - Sidang					■	■
7	Pendadaran						■

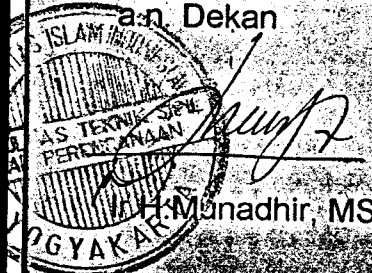
Dosen Pembimbing I : Ade Ilham ,Dr,Ir,MT

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



Seminar
Sidang
Pendadaran

Jogjakarta , 20-Jun-05
a.n. Dekan



KRITA diperpanjang
sampai dengan tgl

20 Mei '06



LAMPIRAN B

DATA HASIL PEMERIKSAAN BAHAN

Lampiran B.1



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

Jln. Kaliurang Km. 14.4 Tlp. (0274) 895707, 895042 fax : (0274) 895330 Yogyakarta 55584

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

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

Penguji : Indra Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Heri Sulistiyo

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 x 100%	3.97	3.627	3.798

Keterangan :

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

Kesimpulan :

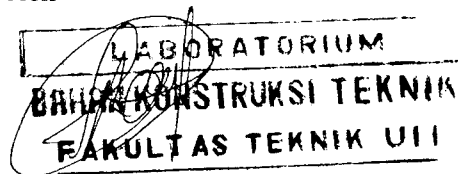
Dari hasil penelitian didapatkan :

- Berat jenis curah = 2,50 g/cm³
- Berat jenis kering muka = 2,60 g/cm³
- Berat jenis semu = 2.80 g/cm³
- Penyerapan air = 3.80 %

Yogyakarta, 18 Juli
2005

Disahkan
oleh

Dikerjakan



Lampiran B.2



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

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

HASIL PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR (KERIKIL)

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

Penguji : Indra Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Heri Sulistiyo

Pasir asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

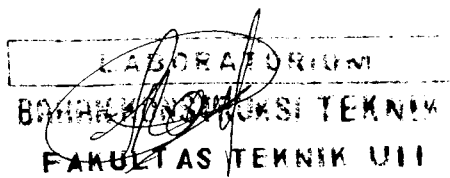
Uraian	Contoh 1	Contoh 2	Rata- rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4879.4	4897.7	4863.55
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka, gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3107.9	3129.5	3118.7
Berat jenis curah,(1) Bk / (Bj - Ba)	2.579	2.592	2.585
Berat jenis jenuh kering muka,(2) 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, 18 Juli
2005

Disyahkan
oleh

Dikerjakan



Lampiran B.3



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

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

DATA MODULUS HALUS BUTIR (MHB) AGREGAT KASAR

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

Penguji : Indra Saputra Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Heri Sulistiyo

Kerikil asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

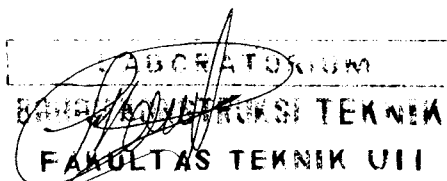
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen lolos komulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	27.5	0.55	0.55	99.45
10,00	2707.6	54.152	54.702	45.298
4,80	2013	40.26	94.962	5.038
2,40	251.9	5.038	100	0
1,20			100	
0,60			100	
0,30			100	
0,15			100	
Sisa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

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

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disyahkan

Dikerjakan oleh



Lampiran B.4



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 / / 2004

Penguji : Indra Saputra

Ditest tanggal : 18 Juli 2005

Heri Sulistiyo

Kerikil asal : Merapi, Kaliurang

Keperluan : Tugas Akhir

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

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

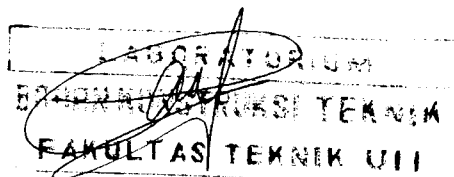
Gradasi pasir

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

Yogyakarta, 18 Juli 2005

Disyahkan

Dikerjakan oleh

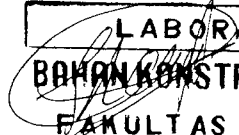


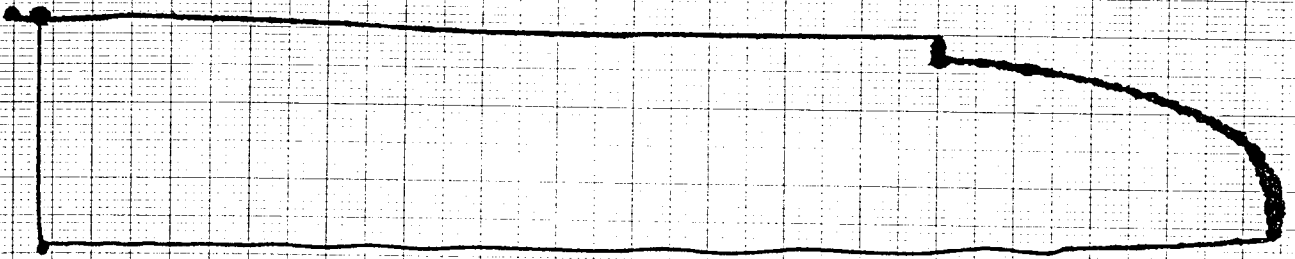
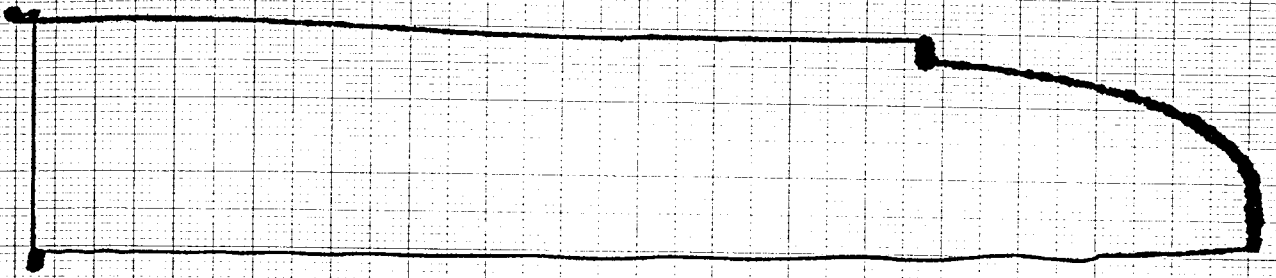
Lampiran B.5

Tabel Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

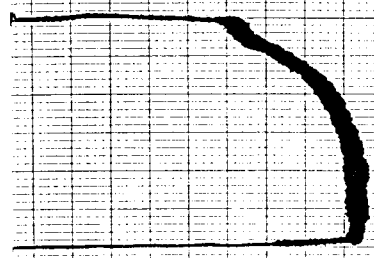
Sampel	Diameter (mm)	Luas tampang (mm ²)	Teg. Leleh	Teg. Maks	Teg. Putus	<i>F_y</i> (MPa)	<i>F_u</i> (MPa)
1	11,4	102,070	3650	4910	4100	357,597	481,041
2	11,4	102,070	3690	4985	4000	361,515	488,389
					Rata-rata	359,556	484,715

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


LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

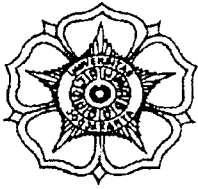


LABORATORIUM
BOLAH KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII



LABORATORIUM
BANGUNAN TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UH

Lampiran B.6



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

HASIL PENGUJIAN WIREMESH

Nama Mahasiswa :

1. Indra Saputra

No. mahasiswa : 00 511 050

2. Heri Sulistiyo

No. mahasiswa : 00 511 058

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil , Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas ,
Islam Indonesia, Yogyakarta

Nomor	Diameter kawat (mm)	Luas penampang kawat (mm ²)	Beban tarik Maksimum 2 kawat (kg _f)	Beban tarik Maksimum 1 kawat (kg _f)	Tegangan tarik Maksimum (kg _f / mm ²)
1	0,9	0,636	59,3	29,65	46,62
2	0,9	0,636	59,2	29,60	46,54
3	0,9	0,636	59,5	29,75	46,77

Yogyakarta, 8 Agustus 2005
Penanggung Jawab Pengujian

Ir. Samsudin
NIP: 130 345 122

LAMPIRAN C

HITUNGAN PERANCANGAN ADUKAN BETON METODE DOE

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

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

Langkah-langkah perencanaan:

1. Kuat tekan beton yang disyaratkan pada 28 hari yaitu $f'_c = 20$ Mpa.
2. Penetapan nilai deviasi standar (Sd) = 4,2 Mpa (didapat dari tabel tingkat pengendalian mutu pekerjaan).
3. Perhitungan nilai tambah (M) = $K \cdot Sd$
 $= 1,64 \cdot (Sd \cdot \text{faktor pengali})$
 $= 1,64 \cdot 4,2 \cdot 1,0$
 $= 6,88$

Keterangan : M = nilai tambah

$K = 1,64$

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

Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

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

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan.

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

Keterangan : f_{cr} = kuat tekan rata-rata

f_c = kuat tekan yang disyaratkan

M = nilai tambah, Nilai tambah diambil 12 Mpa, jika pelaksana tidak mempunyai pengalaman sebelumnya (Triono. B).

5. Menetapkan jenis semen.

Digunakan jenis semen portland merk Nusantara 50 kg.

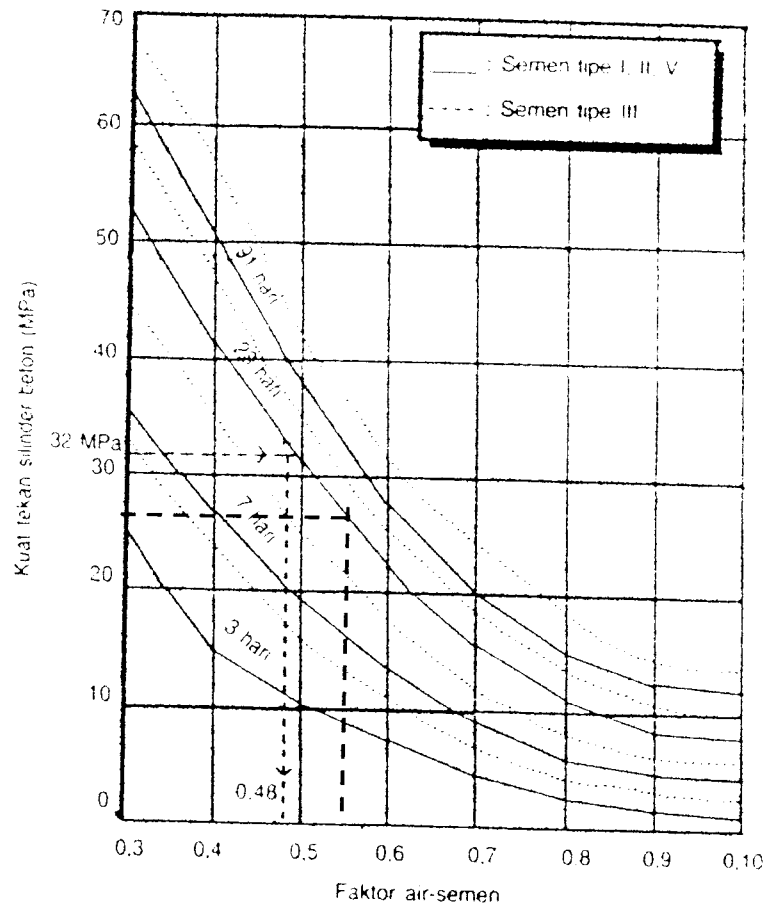
6. Menetapkan jenis agregat (pasir dan kerikil)

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

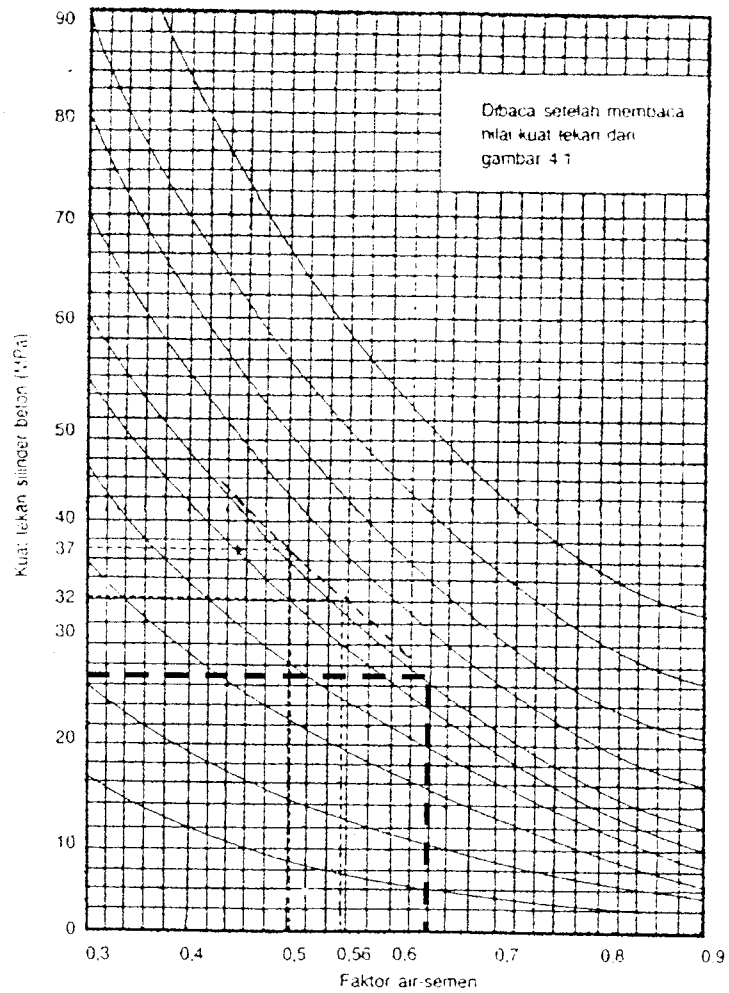


Grafik 1. faktor air semen

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

Tabel 3 Nilai kuat tekan beton

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



Grafik 2. Mencari faktor air semen

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

Diambil yang terkecil, yaitu = 0,56

8. Menetapkan nilai slump = 12 cm

Tabel 4 Penetapan Nilai Slump (cm)

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang koison, struktur dibawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5

Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

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

10. Menetapkan kebutuhan air (A).

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

Dengan : A = jumlah air yang dibutuhkan, liter/m³

A_h = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat halus

A_k = jumlah air yang dibutuhkan menurut jenis agregat kasar

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

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

Tabel 5 Kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besarnya ukuran maks kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	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

11. Menentukan kebutuhan semen.

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

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

13. Menentukan berat jenis agregat campuran pasir dan kerikil.

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

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

15. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil.

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

16. Menentukan kebutuhan pasir.

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

17. Menentukan kebutuhan kerikil.

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

Kesimpulan :

Untuk 1 m³ beton dibutuhkan :

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

LAMPIRAN D

DATA HASIL PENGUJIAN SIFAT MEKANIK BETON



Lampiran D.1

Tabel Hasil Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

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

$$\Sigma = 1076.384$$

$$\text{Kuar Desak Rata-rata} = 35.879$$

$$\text{Kuat Desak (f'c)} = \frac{P}{A}$$

P = Beban Maksimum (kN)

A = Luas (cm²)

n = 30

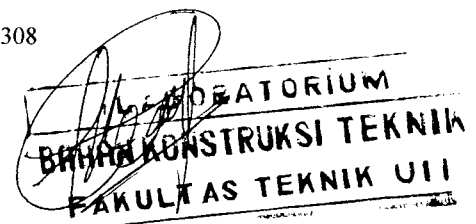
$$\text{Kuat desak rata-rata (f'cr)} = 1076,384/30 = 35,879 \text{ MPa}$$

$$\text{Standar deviasi (sd)} = 3,308$$

$$\text{Kuat desak beton} = f'cr - 1,64 \times sd$$

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

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



Lampiran D.2

Tabel Perhitungan Standar Deviasi (Sd)

No	Data (Xi)	X rata-rata	Xi-Xrata2	(Xi-Xrata2) ²	Xi ²
1	38.933	35.879	3.054	9.325	1515.788
2	39.791	35.879	3.912	15.300	1583.323
3	29.539	35.879	-6.340	40.198	872.570
4	36.193	35.879	0.313	0.098	1309.916
5	41.378	35.879	5.498	30.231	1712.120
6	30.249	35.879	-5.631	31.707	914.977
7	35.575	35.879	-0.304	0.093	1265.594
8	40.447	35.879	4.567	20.861	1635.951
9	35.814	35.879	-0.065	0.004	1282.656
10	36.850	35.879	0.971	0.942	1357.941
11	35.718	35.879	-0.161	0.026	1275.797
12	33.868	35.879	-2.012	4.048	1147.013
13	41.378	35.879	5.498	30.231	1712.120
14	35.103	35.879	-0.777	0.603	1232.194
15	32.970	35.879	-2.919	8.467	1087.000
16	33.979	35.879	-1.900	3.610	1154.595
17	39.170	35.879	3.291	10.829	1534.305
18	32.927	35.879	-2.952	8.717	1084.188
19	40.413	35.879	4.534	20.557	1633.244
20	34.536	35.879	-1.343	1.804	1192.766
21	34.152	35.879	-1.727	2.984	1166.371
22	36.144	35.879	0.265	0.070	1306.417
23	37.297	35.879	1.417	2.009	1391.049
24	35.719	35.879	-0.161	0.026	1275.824
25	36.283	35.879	0.404	0.163	1316.480
26	37.417	35.879	1.538	2.365	1400.045
27	30.452	35.879	-5.427	29.453	927.346
28	33.191	35.879	-2.688	7.228	1101.644
29	31.264	35.879	-4.615	21.299	977.460
30	39.632	35.879	3.753	14.081	1570.695
Σ	1076.384		0.000	317.330	38937.387

n = 30

Xrata-rata = 1076.384 / 30 = 35.879

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

sd = 3.308

Lampiran D.3

Tabel Hasil Pengujian Kuat Geser Balok Beton

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

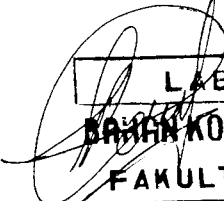
$\Sigma = 80.341$

Kuar Geser Rata-rata = 4.726

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

P = Beban maksimum (kN)

L = Luas benda uji, panjang x lebar (cm²)


LABORATORIUM
BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
FAKULTAS TEKNIK UII

Lampiran D.4

Tabel Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

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

Σ =

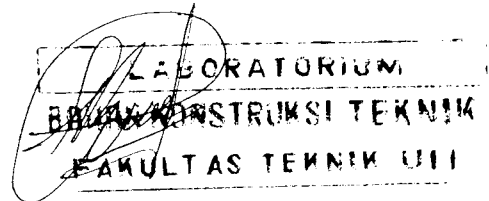
54.663

Kuat Lentur Rata-rata =

5.466

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

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



Lampiran D.5

Tabel Hasil Pengujian Tarik Belah Beton

No	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Luas (cm 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

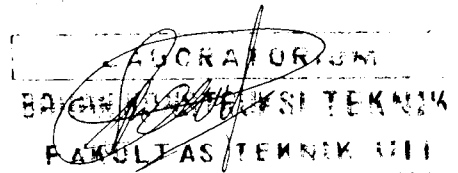
$\Sigma = 22.310$

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)



LAMPIRAN E

DATA HASIL PERHITUNGAN MOMEN KAPASITAS

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

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

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

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

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

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

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

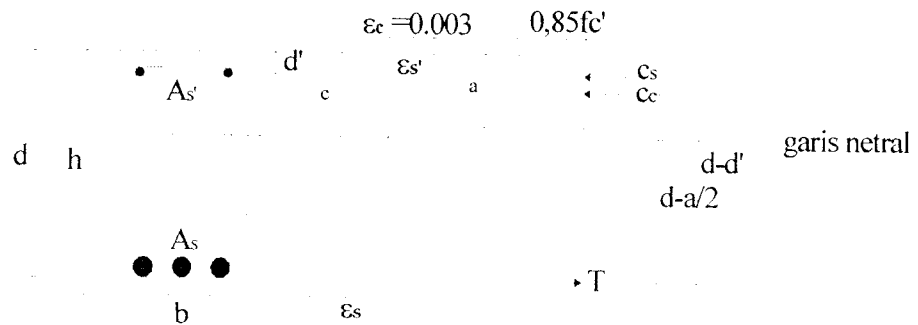
$$f_y = 359 \text{ MPa}$$

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

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

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

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



Gambar diagram regangan dan tegangan balok persegi tulangan rangkap

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

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

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

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

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

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

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

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

Letak garis netral

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{49,773}{0,843}$$

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

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

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

$$= 0,00198$$

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

$$= 0,0112$$

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

$$= 0,00179$$

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.

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

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

$$a/d = 2$$

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

Balok dengan tipe BN, TSK2P dan TSK2G berjarak sengkang (s) = 100 mm

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30.908} \cdot 150 \cdot 280 \\ &= 38.916 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}, A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6^2 \\ &= 56,52 \text{ mm}^2 \\ &= \frac{56,52 \cdot 277.280}{100} \\ &= 43836,912 \text{ N} \\ &= 43,837 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_n &= V_c + V_s \\ &= 38,916 + 43,837 \\ &= 82,753 \text{ kN}\end{aligned}$$

Balok dengan tipe TSK, TK2TS dan TK2GTS tanpa sengkang

$$V_s = 0$$

$$V_n = V_c = 38,916 \text{ kN}$$

Balok dengan tipe TS50K2G berjarak sengkang (s) = 200 mm

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30.908} \cdot 150 \cdot 280 \\ &= 38,916 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}, A_v = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 6^2 \\ &= 56,52 \text{ mm}^2 \\ &= \frac{56,52 \cdot 277.280}{200}\end{aligned}$$

$$= 21918,416\text{N}$$

$$= 21,918 \text{ kN}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$= 38,916 + 21,918$$

$$= 60,834 \text{ kN}$$

LAMPIRAN F

DATA DAN GRAFIK HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN HASIL PENGUJIAN DAN TEORITIS

Lampiran F.1

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (BN)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,12	0,19	0,14	0,15
3	10	0,2	0,29	0,22	0,24
4	15	0,25	0,35	0,29	0,30
5	20	0,31	0,41	0,35	0,36
6	25	0,39	0,51	0,46	0,45
7	30	0,51	0,64	0,59	0,58
8	35	0,63	0,77	0,73	0,71
9	40	0,72	0,9	0,75	0,79
10	45	0,89	1,1	0,93	0,97
11	50	1,05	1,28	1,07	1,13
12	55	1,21	1,47	1,23	1,30
13	60	1,37	1,62	1,36	1,45
14	65	1,85	2,1	1,73	1,89
15	70	1,96	2,17	1,8	1,98
16	75	2,1	2,34	1,93	2,12
17	80	2,24	2,49	2,06	2,26
18	85	2,44	2,69	2,21	2,45
19	90	2,55	2,8	2,3	2,55
20	95	2,72	2,99	2,47	2,73
21	100	2,87	3,16	2,63	2,89
22	105	3,08	3,37	2,84	3,10
23	110	3,33	3,65	3,11	3,36
24	115	3,54	3,85	3,26	3,55
25	120	3,75	4,07	3,46	3,76
26	125	4	4,31	3,65	3,99
27	130	4,26	4,57	3,89	4,24
28	135	4,49	4,81	4,09	4,46
29	140	5,02	5,36	4,72	5,03
30	145	5,27	5,62	5,03	5,31
31	150	5,39	5,73	4,96	5,36
32	155	5,65	6	5,21	5,62
33	160	5,93	6,31	5,49	5,91
34	165	6,22	6,62	5,78	6,21
35	170	7,83	8,75	7,77	8,12
36	175	9,68	11,31	10,17	10,39
37	177	15,96	18,83	15,93	16,91

Lampiran F.2

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TSK)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,15	0,27	0,31	0,24
3	10	0,27	0,43	0,49	0,40
4	15	0,41	0,62	0,71	0,58
5	20	0,46	0,7	0,79	0,65
6	25	0,54	0,8	0,89	0,74
7	30	0,72	0,96	1,04	0,91
8	35	0,8	1,06	1,14	1,00
9	40	0,86	1,15	1,22	1,08
10	45	0,93	1,25	1,31	1,16
11	50	1,01	1,35	1,4	1,25
12	55	1,08	1,43	1,48	1,33
13	60	1,15	1,53	1,57	1,42
14	65	1,28	1,64	1,67	1,53
15	70	1,37	1,75	1,79	1,64
16	75	1,69	2,07	2,04	1,93
17	80	1,78	2,18	2,14	2,03
18	85	1,89	2,31	2,27	2,16
19	90	1,98	2,44	2,38	2,27
20	95	2,11	2,59	2,52	2,41
21	100	2,22	2,72	2,65	2,53
22	105	2,36	2,9	2,81	2,69
23	110	2,5	3,07	2,98	2,85
24	115	2,64	3,26	3,16	3,02
25	120	2,88	3,57	3,52	3,32

Lampiran F.3

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TK2TS)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,36	0,51	0,72	0,53
3	10	0,75	1,09	1,45	1,10
4	15	1,01	1,47	1,39	1,29
5	20	1,17	1,74	2,25	1,72
6	25	1,27	1,91	2,44	1,87
7	30	1,31	2	2,53	1,95
8	35	1,37	2,09	2,63	2,03
9	40	1,43	2,18	2,72	2,11
10	45	1,49	2,28	2,83	2,20
11	50	1,61	2,42	2,96	2,33
12	55	1,73	2,56	3,11	2,47
13	60	1,84	2,72	3,25	2,60
14	65	1,98	2,89	3,43	2,77
15	70	2,12	3,06	3,6	2,93
16	75	2,25	3,23	3,76	3,08
17	80	2,39	3,4	3,92	3,24
18	85	2,52	3,55	4,08	3,38
19	90	2,67	3,72	4,22	3,54
20	95	2,8	3,86	4,36	3,67
21	100	2,93	4,01	4,5	3,81
22	105	3,06	4,16	4,63	3,95
23	110	3,2	4,31	4,78	4,10
24	115	3,34	4,47	4,92	4,24
25	120	3,5	4,63	5,06	4,40
26	125	3,63	4,78	5,2	4,54
27	130	3,81	4,97	5,38	4,72
28	135	4,08	5,22	5,6	4,97
29	140	4,5	5,59	5,9	5,33
30	145	4,72	5,81	6,1	5,54
31	150	4,93	6,03	6,32	5,76
32	155	5,19	6,35	6,62	6,05
33	160	5,42	6,57	6,84	6,28
34	165	5,62	6,76	7,04	6,47
35	170	5,88	7,03	7,29	6,73
36	175	6,48	7,78	8,13	7,46
37	180	7,74	9,47	10,04	9,08
38	180	11,87	15,28	15,11	14,09

Lampiran F.4

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TK2GTS)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,14	0,18	0,02	0,11
3	10	0,22	0,22	0,06	0,17
4	15	0,22	0,24	0,07	0,18
5	20	0,26	0,36	0,17	0,26
6	25	0,29	0,43	0,25	0,32
7	30	0,35	0,53	0,34	0,41
8	35	0,42	0,65	0,46	0,51
9	40	0,42	0,71	0,51	0,55
10	45	0,47	0,84	0,63	0,65
11	50	0,53	1,09	0,85	0,82
12	55	0,61	1,28	1,01	0,97
13	60	0,67	1,47	1,19	1,11
14	65	0,76	1,68	1,38	1,27
15	70	2,1	1,86	1,53	1,83
16	75	2,47	2,02	1,68	2,06
17	80	2,92	2,2	1,84	2,32
18	85	3,3	2,37	1,99	2,55
19	90	3,36	2,55	2,15	2,69
20	95	3,44	2,72	2,3	2,82
21	100	3,58	2,93	2,49	3,00
22	105	3,71	3,12	2,66	3,16
23	110	3,85	3,33	2,84	3,34
24	115	3,97	3,5	3	3,49
25	120	4,14	3,72	3,21	3,69
26	125	4,28	3,9	3,37	3,85
27	130	4,43	4,1	3,55	4,03
28	135	4,61	4,32	3,76	4,23
29	140	4,78	4,55	3,97	4,43
30	145	4,93	4,77	4,17	4,62
31	150	5,22	5,12	4,5	4,95
32	155	5,39	5,34	4,72	5,15
33	160	5,61	5,63	5	5,41
34	165	5,97	6,13	5,49	5,86
35	170	7,05	7,73	7,05	7,28
36	175	8,54	9,76	8,97	9,09
37	180	9,96	11,48	10,53	10,66
38	185	11,33	13,1	12,01	12,15

Lampiran F.5

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TSK2P)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,02	0,05	0,02	0,03
3	10	0,02	0,07	0,03	0,04
4	15	0,04	0,12	0,06	0,07
5	20	0,05	0,21	0,15	0,14
6	25	0,07	0,39	0,25	0,24
7	30	0,09	0,55	0,37	0,34
8	35	0,11	0,75	0,47	0,44
9	40	0,13	0,95	0,6	0,56
10	45	0,27	1,07	0,73	0,69
11	50	0,38	1,23	0,86	0,82
12	55	0,52	1,55	0,99	1,02
13	60	0,52	1,67	1,02	1,07
14	65	0,65	1,89	1,14	1,23
15	70	0,79	2,04	1,3	1,38
16	75	0,92	2,11	1,4	1,48
17	80	1,04	2,26	1,53	1,61
18	85	1,17	2,42	1,67	1,75
19	90	1,31	2,59	1,82	1,91
20	95	1,43	2,73	1,96	2,04
21	100	1,58	2,92	2,14	2,21
22	105	1,74	3,09	2,28	2,37
23	110	1,91	3,28	2,44	2,54
24	115	2,08	3,48	2,63	2,73
25	120	2,26	3,7	2,86	2,94
26	125	2,43	3,89	3,03	3,12
27	130	2,62	4,12	3,24	3,33
28	135	2,78	4,32	3,42	3,51
29	140	2,96	4,54	3,61	3,70
30	145	3,15	4,77	3,81	3,91
31	150	3,34	5	4,01	4,12
32	155	3,54	5,26	4,24	4,35
33	160	3,87	5,7	4,61	4,73
34	165	4,74	7,04	5,64	5,81
35	170	6,6	10	7,92	8,17

Lampiran F.6

Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TSK2G)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,09	0,12	0,32	0,18
3	10	0,19	0,27	0,55	0,34
4	15	0,22	0,3	0,64	0,39
5	20	0,22	0,32	0,73	0,42
6	25	0,22	0,34	0,79	0,45
7	30	0,22	0,37	0,84	0,48
8	35	0,25	0,43	0,91	0,53
9	40	0,3	0,51	1	0,60
10	45	0,39	0,62	1,1	0,70
11	50	0,51	0,76	1,22	0,83
12	55	0,68	0,97	1,42	1,02
13	60	0,85	1,18	1,58	1,20
14	65	1,02	1,38	1,7	1,37
15	70	1,16	1,56	1,79	1,50
16	75	1,32	1,75	1,89	1,65
17	80	1,47	1,92	1,98	1,79
18	85	1,66	2,15	2,12	1,98
19	90	1,8	2,31	2,22	2,11
20	95	1,94	2,49	2,29	2,24
21	100	2,09	2,65	2,4	2,38
22	105	2,24	2,83	2,51	2,53
23	110	2,4	3,02	2,64	2,69
24	115	2,54	3,2	2,76	2,83
25	120	2,71	3,38	2,89	2,99
26	125	2,88	3,59	3,03	3,17
27	130	3,03	3,78	3,16	3,32
28	135	3,21	4,02	3,33	3,52
29	140	3,38	4,22	3,48	3,69
30	145	3,55	4,43	3,61	3,86
31	150	3,69	4,62	3,74	4,02
32	155	3,89	4,86	3,89	4,21
33	160	4,77	6,16	4,85	5,26
34	165	5,71	7,48	5,84	6,34
35	170	6,48	8,52	6,67	7,22
36	175	9,13	12,21	10,36	10,57
37	180	10,3	13,78	11,66	11,91
38	185	12,46	16,17	13,09	13,91

Lampiran F.7
Tabel Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian (TS50K2G)

No	Beban (kN)	Lendutan (mm)			Lendutan Rata-rata (mm)
		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3	
1	0	0	0	0	0,00
2	5	0,01	0	0,04	0,02
3	10	0,04	0,07	0,16	0,09
4	15	0,06	0,14	0,25	0,15
5	20	0,07	0,17	0,28	0,17
6	25	0,09	0,21	0,32	0,21
7	30	0,11	0,21	0,32	0,21
8	35	0,14	0,34	0,48	0,32
9	40	0,18	0,41	0,53	0,37
10	45	0,21	0,41	0,53	0,38
11	50	0,25	0,68	0,78	0,57
12	55	0,3	0,87	0,97	0,71
13	60	0,38	1	1,12	0,83
14	65	0,45	1,16	1,28	0,96
15	70	0,58	1,32	1,41	1,10
16	75	0,71	1,48	1,55	1,25
17	80	0,84	1,64	1,69	1,39
18	85	0,99	1,81	1,84	1,55
19	90	1,2	1,98	2,07	1,75
20	95	1,36	1,98	2,07	1,80
21	100	1,49	2,16	2,24	1,96
22	105	1,66	2,51	2,58	2,25
23	110	1,82	2,69	2,75	2,42
24	115	2	2,91	2,96	2,62
25	120	2,13	3,06	3,1	2,76
26	125	2,28	3,26	3,29	2,94
27	130	2,43	3,45	3,46	3,11
28	135	2,6	3,65	3,65	3,30
29	140	2,79	3,85	3,84	3,49
30	145	3,01	4,1	4,06	3,72
31	150	3,2	4,3	4,25	3,92
32	155	3,43	4,56	4,49	4,16
33	160	3,62	4,77	4,66	4,35
34	165	3,86	5,03	4,9	4,60
35	170	4,07	5,26	5,13	4,82
36	175	5,78	7,91	7,28	6,99
37	180	6,27	8,8	8,02	7,70
38	185	7,94	11,07	9,63	9,55
39	188	8,64	12,52	10,68	10,61
40	188	14,62	17,31	13,81	15,25

Lampiran F.8

Hasil Perhitungan Lentutan Teoritis Pada Balok Normal

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	A maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49	1.76	1.51
177	88.5	88500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49.56	1.78	1.53

Lampiran F.9

Hasil Perhitungan Lentutan Teoritis Pada Balok Tanpa Sengkang

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks. x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

Lampiran F.10

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok TK2TS

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks. x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49	1.76	1.51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	50.4	1.81	1.56
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	50.4	1.81	1.56

Lampiran F.11

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok TK2GTS

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks. x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49	1.76	1.51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	50.4	1.81	1.56
185	92.5	92500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	51.8	1.87	1.60

Lampiran F.12

Hasil Perhitungan Lendutan Teoritis Pada Balok TSK2P

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47

Lampiran F.13

Hasil Perhitungan Lentutan Teoritis Pada Balok TSK2G

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E (N/mm ²)	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49	1.76	1.51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	50.4	1.81	1.56
185	92.5	92500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	51.8	1.87	1.60

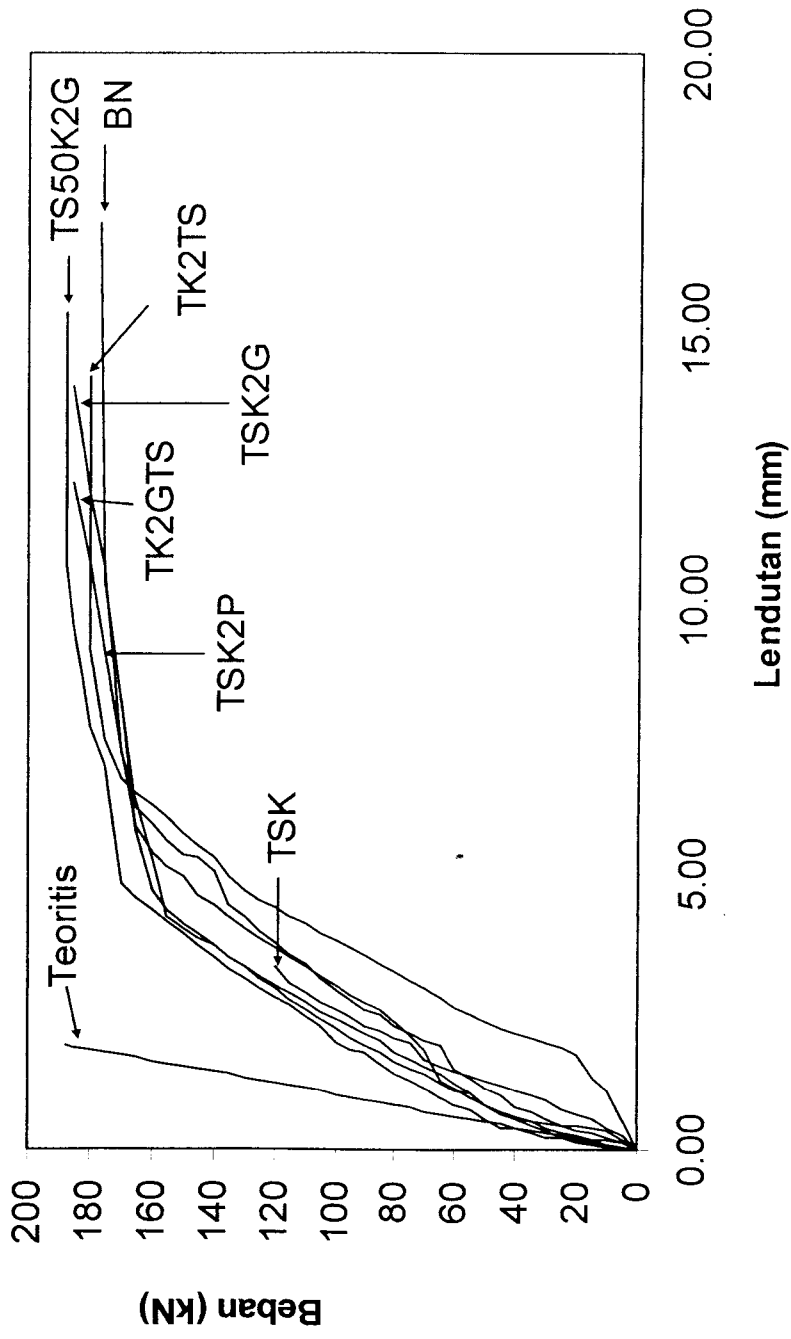
Lampiran F.14

Hasil Perhitungan Lentutan Teoritis Pada Balok TS50K2G

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
0	0	0	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	0	0	0
5	2.5	2500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	1.4	0.05	0.04
10	5	5000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	2.8	0.10	0.09
15	7.5	7500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	4.2	0.15	0.13
20	10	10000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	5.6	0.20	0.17
25	12.5	12500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	7	0.25	0.22
30	15	15000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	8.4	0.30	0.26
35	17.5	17500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	9.8	0.35	0.30
40	20	20000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	11.2	0.40	0.35
45	22.5	22500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	12.6	0.45	0.39
50	25	25000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	14	0.50	0.43
55	27.5	27500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	15.4	0.55	0.48
60	30	30000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	16.8	0.60	0.52
65	32.5	32500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	18.2	0.66	0.56
70	35	35000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	19.6	0.71	0.61
75	37.5	37500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	21	0.76	0.65
80	40	40000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	22.4	0.81	0.69
85	42.5	42500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	23.8	0.86	0.74
90	45	45000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	25.2	0.91	0.78
95	47.5	47500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	26.6	0.96	0.82
100	50	50000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	28	1.01	0.87
105	52.5	52500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	29.4	1.06	0.91
110	55	55000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	30.8	1.11	0.95
115	57.5	57500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	32.2	1.16	1.00
120	60	60000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	33.6	1.21	1.04

P (kN)	P/2 (kN)	P/2 (N)	L (mm)	L ² (mm ²)	a (mm)	a ² (mm ²)	E N/mm ²	I (mm ⁴)	M max (kNm)	Δ maks, x = 860 mm di tengah bentang (mm)	Δ pd x = a a = 560 mm (mm)
125	62.5	62500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	35	1.26	1.08
130	65	65000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	36.4	1.31	1.12
135	67.5	67500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	37.8	1.36	1.17
140	70	70000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	39.2	1.41	1.21
145	72.5	72500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	40.6	1.46	1.25
150	75	75000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	42	1.51	1.30
155	77.5	77500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	43.4	1.56	1.34
160	80	80000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	44.8	1.61	1.38
165	82.5	82500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	46.2	1.66	1.43
170	85	85000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	47.6	1.71	1.47
175	87.5	87500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	49	1.76	1.51
180	90	90000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	50.4	1.81	1.56
185	92.5	92500	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	51.8	1.87	1.60
188	94	94000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	52.6	1.90	1.63
188	94	94000	1720	2958400	560	313600	26129.633	337500000	52.6	1.90	1.63

Lampiran F.15



Gambar Grafik Hubungan Beban-Lendutan Hasil Pengujian Dan Teoritis

LAMPIRAN G

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

Lampiran G.1

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Normal (BN)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	5	2.5	0.12	0.19	0.14	0.00012	0.00019	0.00014	1.4	0.00133
3	10	5	0.2	0.29	0.22	0.0002	0.00029	0.00022	2.8	0.00178
4	15	7.5	0.25	0.35	0.29	0.00025	0.00035	0.00029	4.2	0.00178
5	20	10	0.31	0.41	0.35	0.00031	0.00041	0.00035	5.6	0.00178
6	25	12.5	0.39	0.51	0.46	0.00039	0.00051	0.00046	7	0.00189
7	30	15	0.51	0.64	0.59	0.00051	0.00064	0.00059	8.4	0.00200
8	35	17.5	0.63	0.77	0.73	0.00063	0.00077	0.00073	9.8	0.00200
9	40	20	0.72	0.9	0.75	0.00072	0.0009	0.00075	11.2	0.00367
10	45	22.5	0.89	1.1	0.93	0.00089	0.0011	0.00093	12.6	0.00422
11	50	25	1.05	1.28	1.07	0.00105	0.00128	0.00107	14	0.00489
12	55	27.5	1.21	1.47	1.23	0.00121	0.00147	0.00123	15.4	0.00556
13	60	30	1.37	1.62	1.36	0.00137	0.00162	0.00136	16.8	0.00567
14	65	32.5	1.85	2.1	1.73	0.00185	0.0021	0.00173	18.2	0.00689
15	70	35	1.96	2.17	1.8	0.00196	0.00217	0.0018	19.6	0.00644
16	75	37.5	2.1	2.34	1.93	0.0021	0.00234	0.00193	21	0.00722
17	80	40	2.24	2.49	2.06	0.00224	0.00249	0.00206	22.4	0.00756
18	85	42.5	2.44	2.69	2.21	0.00244	0.00269	0.00221	23.8	0.00811
19	90	45	2.55	2.8	2.3	0.00255	0.0028	0.0023	25.2	0.00833
20	95	47.5	2.72	2.99	2.47	0.00272	0.00299	0.00247	26.6	0.00878
21	100	50	2.87	3.16	2.63	0.00287	0.00316	0.00263	28	0.00911
22	105	52.5	3.08	3.37	2.84	0.00308	0.00337	0.00284	29.4	0.00911
23	110	55	3.33	3.65	3.11	0.00333	0.00365	0.00311	30.8	0.00956
24	115	57.5	3.54	3.85	3.26	0.00354	0.00385	0.00326	32.2	0.01000

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
25	120	60	3.75	4.07	3.46	0.00375	0.00407	0.00346	33.6	0.01033
26	125	62.5	4	4.31	3.65	0.004	0.00431	0.00365	35	0.01078
27	130	65	4.26	4.57	3.89	0.00426	0.00457	0.00389	36.4	0.01100
28	135	67.5	4.49	4.81	4.09	0.00449	0.00481	0.00409	37.8	0.01156
29	140	70	5.02	5.36	4.72	0.00502	0.00536	0.00472	39.2	0.01089
30	145	72.5	5.27	5.62	5.03	0.00527	0.00562	0.00503	40.6	0.01044
31	150	75	5.39	5.73	4.96	0.00539	0.00573	0.00496	42	0.01233
32	155	77.5	5.65	6	5.21	0.00565	0.006	0.00521	43.4	0.01267
33	160	80	5.93	6.31	5.49	0.00593	0.00631	0.00549	44.8	0.01333
34	165	82.5	6.22	6.62	5.78	0.00622	0.00662	0.00578	46.2	0.01378
35	170	85	7.83	8.75	7.77	0.00783	0.00875	0.00777	47.6	0.02111
36	175	87.5	9.68	11.31	10.17	0.00968	0.01131	0.01017	49	0.03078
37	177	88.5	15.96	18.83	15.93	0.01596	0.01883	0.01593	49.56	0.06411

Lampiran G.2

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Tanpa Sengkang (TSK)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)		y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1 (m)	(m)					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2.5	0.15	0.27	0.00015	0.00027	0.00031	1.4	0.00089
3	10	5	0.27	0.43	0.00027	0.00043	0.00049	2.8	0.00111
4	15	7.5	0.41	0.62	0.00041	0.00062	0.00071	4.2	0.00133
5	20	10	0.46	0.7	0.00046	0.0007	0.00079	5.6	0.00167
6	25	12.5	0.54	0.8	0.00054	0.0008	0.00089	7	0.00189
7	30	15	0.72	0.96	0.00072	0.00096	0.00104	8.4	0.00178
8	35	17.5	0.8	1.06	0.0008	0.00106	0.00114	9.8	0.00200
9	40	20	0.86	1.15	0.00086	0.00115	0.00122	11.2	0.00244
10	45	22.5	0.93	1.25	0.00093	0.00125	0.00131	12.6	0.00289
11	50	25	1.01	1.35	0.00101	0.00135	0.0014	14	0.00322
12	55	27.5	1.08	1.43	0.00108	0.00143	0.00148	15.4	0.00333
13	60	30	1.15	1.53	0.00115	0.00153	0.00157	16.8	0.00378
14	65	32.5	1.28	1.64	0.00128	0.00164	0.00167	18.2	0.00367
15	70	35	1.37	1.75	0.00137	0.00175	0.00179	19.6	0.00378
16	75	37.5	1.69	2.07	0.00169	0.00207	0.00204	21	0.00456
17	80	40	1.78	2.18	0.00178	0.00218	0.00214	22.4	0.00489
18	85	42.5	1.89	2.31	0.00189	0.00231	0.00227	23.8	0.00511
19	90	45	1.98	2.44	0.00198	0.00244	0.00238	25.2	0.00578
20	95	47.5	2.11	2.59	0.00211	0.00259	0.00252	26.6	0.00611
21	100	50	2.22	2.72	0.00222	0.00272	0.00265	28	0.00633
22	105	52.5	2.36	2.9	0.00236	0.0029	0.00281	29.4	0.00700
23	110	55	2.5	3.07	0.0025	0.00307	0.00298	30.8	0.00733
24	115	57.5	2.64	3.26	0.00264	0.00326	0.00316	32.2	0.00800
25	120	60	2.88	3.57	0.00288	0.00357	0.00352	33.6	0.00822

Lampiran G.3

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Kawat Strimin (Tegak) 2 lapis Tanpa Sengkang (TK2TS)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2.5	0.36	0.51	0.72	0.0004	0.0005	0.0007	1.4	0.00067
3	10	5	0.75	1.09	1.45	0.0008	0.0011	0.0015	2.8	0.00022
4	15	7.5	1.01	1.47	1.39	0.0010	0.0015	0.0014	4.2	0.00600
5	20	10	1.17	1.74	2.25	0.0012	0.0017	0.0023	5.6	0.00067
6	25	12.5	1.27	1.91	2.44	0.0013	0.0019	0.0024	7	0.00122
7	30	15	1.31	2	2.53	0.0013	0.0020	0.0025	8.4	0.00178
8	35	17.5	1.37	2.09	2.63	0.0014	0.0021	0.0026	9.8	0.00200
9	40	20	1.43	2.18	2.72	0.0014	0.0022	0.0027	11.2	0.00233
10	45	22.5	1.49	2.28	2.83	0.0015	0.0023	0.0028	12.6	0.00267
11	50	25	1.61	2.42	2.96	0.0016	0.0024	0.0030	14	0.00300
12	55	27.5	1.73	2.56	3.11	0.0017	0.0026	0.0031	15.4	0.00311
13	60	30	1.84	2.72	3.25	0.0018	0.0027	0.0033	16.8	0.00389
14	65	32.5	1.98	2.89	3.43	0.0020	0.0029	0.0034	18.2	0.00411
15	70	35	2.12	3.06	3.6	0.0021	0.0031	0.0036	19.6	0.00444
16	75	37.5	2.25	3.23	3.76	0.0023	0.0032	0.0038	21	0.00500
17	80	40	2.39	3.4	3.92	0.0024	0.0034	0.0039	22.4	0.00544
18	85	42.5	2.52	3.55	4.08	0.0025	0.0036	0.0041	23.8	0.00556
19	90	45	2.67	3.72	4.22	0.0027	0.0037	0.0042	25.2	0.00611
20	95	47.5	2.8	3.86	4.36	0.0028	0.0039	0.0044	26.6	0.00622
21	100	50	2.93	4.01	4.5	0.0029	0.0040	0.0045	28	0.00656
22	105	52.5	3.06	4.16	4.63	0.0031	0.0042	0.0046	29.4	0.00700
23	110	55	3.2	4.31	4.78	0.0032	0.0043	0.0048	30.8	0.00711
24	115	57.5	3.34	4.47	4.92	0.0033	0.0045	0.0049	32.2	0.00756

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y _{i-1} (m)	y _i (m)	y _{i-1} (m)	Momen kN-m	φ 1/m
			LVD1 1	LVD1 2	LVD1 3					
25	120	60	3.5	4.63	5.06	0.0035	0.0046	0.0051	33.6	0.00778
26	125	62.5	3.63	4.78	5.2	0.0036	0.0048	0.0052	35	0.00811
27	130	65	3.81	4.97	5.38	0.0038	0.0050	0.0054	36.4	0.00833
28	135	67.5	4.08	5.22	5.6	0.0041	0.0052	0.0056	37.8	0.00844
29	140	70	4.5	5.59	5.9	0.0045	0.0056	0.0059	39.2	0.00867
30	145	72.5	4.72	5.81	6.1	0.0047	0.0058	0.0061	40.6	0.00889
31	150	75	4.93	6.03	6.32	0.0049	0.0060	0.0063	42	0.00900
32	155	77.5	5.19	6.35	6.62	0.0052	0.0064	0.0066	43.4	0.00989
33	160	80	5.42	6.57	6.84	0.0054	0.0066	0.0068	44.8	0.00978
34	165	82.5	5.62	6.76	7.04	0.0056	0.0068	0.0070	46.2	0.00956
35	170	85	5.88	7.03	7.29	0.0059	0.0070	0.0073	47.6	0.00989
36	175	87.5	6.48	7.78	8.13	0.0065	0.0078	0.0081	49	0.01056
37	180	90	7.74	9.47	10.04	0.0077	0.0095	0.0100	50.4	0.01289
38	180	90	11.87	15.28	15.11	0.0119	0.0153	0.0151	50.4	0.03978

Lampiran G.4

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Kawat Strimin (Tegak) 2 Lapis Geser Tanpa Senggang (TK2GTS)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y _{i-1} (m)	y _i (m)	y _{i+1} (m)	Momen kN-m	φ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2.5	0.14	0.18	0.02	0.0001	0.0002	0.0000	1.4	0.00222
3	10	5	0.22	0.22	0.06	0.0002	0.0002	0.0001	2.8	0.00230
4	15	7.5	0.22	0.24	0.07	0.0002	0.0002	0.0001	4.2	0.00360
5	20	10	0.26	0.36	0.17	0.0003	0.0004	0.0002	5.6	0.00411
6	25	12.5	0.29	0.43	0.25	0.0003	0.0004	0.0003	7	0.00450
7	30	15	0.35	0.53	0.34	0.0004	0.0005	0.0003	8.4	0.00496
8	35	17.5	0.42	0.65	0.46	0.0004	0.0007	0.0005	9.8	0.00524
9	40	20	0.42	0.71	0.51	0.0004	0.0007	0.0005	11.2	0.00544
10	45	22.5	0.47	0.84	0.63	0.0005	0.0008	0.0006	12.6	0.00644
11	50	25	0.53	1.09	0.85	0.0005	0.0011	0.0009	14	0.00889
12	55	27.5	0.61	1.28	1.01	0.0006	0.0013	0.0010	15.4	0.01044
13	60	30	0.67	1.47	1.19	0.0007	0.0015	0.0012	16.8	0.01200
14	65	32.5	0.76	1.68	1.38	0.0008	0.0017	0.0014	18.2	0.01356
15	70	35	2.1	1.86	1.53	0.0021	0.0019	0.0015	19.6	0.01370
16	75	37.5	2.47	2.02	1.68	0.0025	0.0020	0.0017	21	0.01412
17	80	40	2.92	2.2	1.84	0.0029	0.0022	0.0018	22.4	0.01452
18	85	42.5	3.3	2.37	1.99	0.0033	0.0024	0.0020	23.8	0.01475
19	90	45	3.36	2.55	2.15	0.0034	0.0026	0.0022	25.2	0.01564
20	95	47.5	3.44	2.72	2.3	0.0034	0.0027	0.0023	26.6	0.01655
21	100	50	3.58	2.93	2.49	0.0036	0.0029	0.0025	28	0.01722
22	105	52.5	3.71	3.12	2.66	0.0037	0.0031	0.0027	29.4	0.01812
23	110	55	3.85	3.33	2.84	0.0039	0.0033	0.0028	30.8	0.01840
24	115	57.5	3.97	3.5	3	0.0040	0.0035	0.0030	32.2	0.01952
25	120	60	4.14	3.72	3.21	0.0041	0.0037	0.0032	33.6	0.02305

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVD1 1	LVD1 2	LVD1 3					
26	125	62.5	4.28	3.9	3.37	0.0043	0.0039	0.0034	35	0.02425
27	130	65	4.43	4.1	3.55	0.0044	0.0041	0.0036	36.4	0.02534
28	135	67.5	4.61	4.32	3.76	0.0046	0.0043	0.0038	37.8	0.02555
29	140	70	4.78	4.55	3.97	0.0048	0.0046	0.0040	39.2	0.02613
30	145	72.5	4.93	4.77	4.17	0.0049	0.0048	0.0042	40.6	0.02654
31	150	75	5.22	5.12	4.5	0.0052	0.0051	0.0045	42	0.02700
32	155	77.5	5.39	5.34	4.72	0.0054	0.0053	0.0047	43.4	0.02725
33	160	80	5.61	5.63	5	0.0056	0.0056	0.0050	44.8	0.02781
34	165	82.5	5.97	6.13	5.49	0.0060	0.0061	0.0055	46.2	0.02821
35	170	85	7.05	7.73	7.05	0.0071	0.0077	0.0071	47.6	0.02854
36	175	87.5	8.54	9.76	8.97	0.0085	0.0098	0.0090	49	0.02933
37	180	90	9.96	11.48	10.53	0.0100	0.0115	0.0105	50.4	0.02987
38	185	92.5	11.33	13.1	12.01	0.0113	0.0131	0.0120	51.8	0.03178

Lampiran G.5

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Dengan Sengkang Dan Kawat Strimin (Tegak) 2 Lapis Penuh (TSK2P)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	5	2.5	0.02	0.05	0.02	0.00002	0.00005	0.00002	1.4	0.00067
3	10	5	0.02	0.07	0.03	0.00002	0.00007	0.00003	2.8	0.00100
4	15	7.5	0.04	0.12	0.06	0.00004	0.00012	0.00006	4.2	0.00156
5	20	10	0.05	0.21	0.15	0.00005	0.00021	0.00015	5.6	0.00244
6	25	12.5	0.07	0.39	0.25	0.00007	0.00039	0.00025	7	0.00511
7	30	15	0.09	0.55	0.37	0.00009	0.00055	0.00037	8.4	0.00711
8	35	17.5	0.11	0.75	0.47	0.00011	0.00075	0.00047	9.8	0.01022
9	40	20	0.13	0.95	0.6	0.00013	0.00095	0.0006	11.2	0.01300
10	45	22.5	0.27	1.07	0.73	0.00027	0.00107	0.00073	12.6	0.01267
11	50	25	0.38	1.23	0.86	0.00038	0.00123	0.00086	14	0.01356
12	55	27.5	0.52	1.55	0.99	0.00052	0.00155	0.00099	15.4	0.01767
13	60	30	0.52	1.67	1.02	0.00052	0.00167	0.00102	16.8	0.02000
14	65	32.5	0.65	1.89	1.14	0.00065	0.00189	0.00114	18.2	0.02211
15	70	35	0.79	2.04	1.3	0.00079	0.00204	0.0013	19.6	0.02211
16	75	37.5	0.92	2.11	1.4	0.00092	0.00211	0.0014	21	0.02111
17	80	40	1.04	2.26	1.53	0.00104	0.00226	0.00153	22.4	0.02167
18	85	42.5	1.17	2.42	1.67	0.00117	0.00242	0.00167	23.8	0.02222
19	90	45	1.31	2.59	1.82	0.00131	0.00259	0.00182	25.2	0.02278
20	95	47.5	1.43	2.73	1.96	0.00143	0.00273	0.00196	26.6	0.02300
21	100	50	1.58	2.92	2.14	0.00158	0.00292	0.00214	28	0.02356
22	105	52.5	1.74	3.09	2.28	0.00174	0.00309	0.00228	29.4	0.02400
23	110	55	1.91	3.28	2.44	0.00191	0.00328	0.00244	30.8	0.02456
24	115	57.5	2.08	3.48	2.63	0.00208	0.00348	0.00263	32.2	0.02500
25	120	60	2.26	3.7	2.86	0.00226	0.0037	0.00286	33.6	0.02533

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVD1 1	LVD1 2	LVD1 3					
26	125	62.5	2.43	3.89	3.03	0.00243	0.00389	0.00303	35	0.02578
27	130	65	2.62	4.12	3.24	0.00262	0.00412	0.00324	36.4	0.02644
28	135	67.5	2.78	4.32	3.42	0.00278	0.00432	0.00342	37.8	0.02711
29	140	70	2.96	4.54	3.61	0.00296	0.00454	0.00361	39.2	0.02789
30	145	72.5	3.15	4.77	3.81	0.00315	0.00477	0.00381	40.6	0.02867
31	150	75	3.34	5	4.01	0.00334	0.005	0.00401	42	0.02944
32	155	77.5	3.54	5.26	4.24	0.00354	0.00526	0.00424	43.4	0.03044
33	160	80	3.87	5.7	4.61	0.00387	0.0057	0.00461	44.8	0.03244
34	165	82.5	4.74	7.04	5.64	0.00474	0.00704	0.00564	46.2	0.04111
35	170	85	6.6	10	7.92	0.0066	0.01	0.00792	47.6	0.06089

Lampiran G.6

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Dengan Sengkang Dan Kawat Strimin (Tegak) 2 Lapis Geser (TSK2G)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y _{i-1} (m)	y _i (m)	y _{i+1} (m)	Momen kN-m	φ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	5	2.5	0.09	0.12	0.32	0.00009	0.00012	0.00032	1.4	0.00189
3	10	5	0.19	0.27	0.55	0.00019	0.00027	0.00055	2.8	0.00222
4	15	7.5	0.22	0.3	0.64	0.00022	0.0003	0.00064	4.2	0.00289
5	20	10	0.22	0.32	0.73	0.00022	0.00032	0.00073	5.6	0.00344
6	25	12.5	0.22	0.34	0.79	0.00022	0.00034	0.00079	7	0.00367
7	30	15	0.22	0.37	0.84	0.00022	0.00037	0.00084	8.4	0.00356
8	35	17.5	0.25	0.43	0.91	0.00025	0.00043	0.00091	9.8	0.00333
9	40	20	0.3	0.51	1	0.0003	0.00051	0.001	11.2	0.00311
10	45	22.5	0.39	0.62	1.1	0.00039	0.00062	0.0011	12.6	0.00325
11	50	25	0.51	0.76	1.22	0.00051	0.00076	0.00122	14	0.00362
12	55	27.5	0.68	0.97	1.42	0.00068	0.00097	0.00142	15.4	0.00378
13	60	30	0.85	1.18	1.58	0.00085	0.00118	0.00158	16.8	0.00396
14	65	32.5	1.02	1.38	1.7	0.00102	0.00138	0.0017	18.2	0.00456
15	70	35	1.16	1.56	1.79	0.00116	0.00156	0.00179	19.6	0.00478
16	75	37.5	1.32	1.75	1.89	0.00132	0.00175	0.00189	21	0.00512
17	80	40	1.47	1.92	1.98	0.00147	0.00192	0.00198	22.4	0.00563
18	85	42.5	1.66	2.15	2.12	0.00166	0.00215	0.00212	23.8	0.00578
19	90	45	1.8	2.31	2.22	0.0018	0.00231	0.00222	25.2	0.00667
20	95	47.5	1.94	2.49	2.29	0.00194	0.00249	0.00229	26.6	0.00833
21	100	50	2.09	2.65	2.4	0.00209	0.00265	0.0024	28	0.00900
22	105	52.5	2.24	2.83	2.51	0.00224	0.00283	0.00251	29.4	0.01011
23	110	55	2.4	3.02	2.64	0.0024	0.00302	0.00264	30.8	0.01111
24	115	57.5	2.54	3.2	2.76	0.00254	0.0032	0.00276	32.2	0.01222
25	120	60	2.71	3.38	2.89	0.00271	0.00338	0.00289	33.6	0.01289

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			Y _{i-1} (m)	Y _i (m)	Y _{i+1} (m)	Momen kN-m	φ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
26	125	62.5	2.88	3.59	3.03	0.00288	0.00359	0.00303	35	0.01411
27	130	65	3.03	3.78	3.16	0.00303	0.00378	0.00316	36.4	0.01522
28	135	67.5	3.21	4.02	3.33	0.00321	0.00402	0.00333	37.8	0.01667
29	140	70	3.38	4.22	3.48	0.00338	0.00422	0.00348	39.2	0.01756
30	145	72.5	3.55	4.43	3.61	0.00355	0.00443	0.00361	40.6	0.01889
31	150	75	3.69	4.62	3.74	0.00369	0.00462	0.00374	42	0.02011
32	155	77.5	3.89	4.86	3.89	0.00389	0.00486	0.00389	43.4	0.02156
33	160	80	4.77	6.16	4.85	0.00477	0.00616	0.00485	44.8	0.03000
34	165	82.5	5.71	7.48	5.84	0.00571	0.00748	0.00584	46.2	0.03789
35	170	85	6.48	8.52	6.67	0.00648	0.00852	0.00667	47.6	0.04322
36	175	87.5	9.13	12.21	10.36	0.00913	0.01221	0.01036	49	0.05478
37	180	90	10.3	13.78	11.66	0.0103	0.01378	0.01166	50.4	0.06222
38	185	92.5	12.46	16.17	13.09	0.01246	0.01617	0.01309	51.8	0.07544

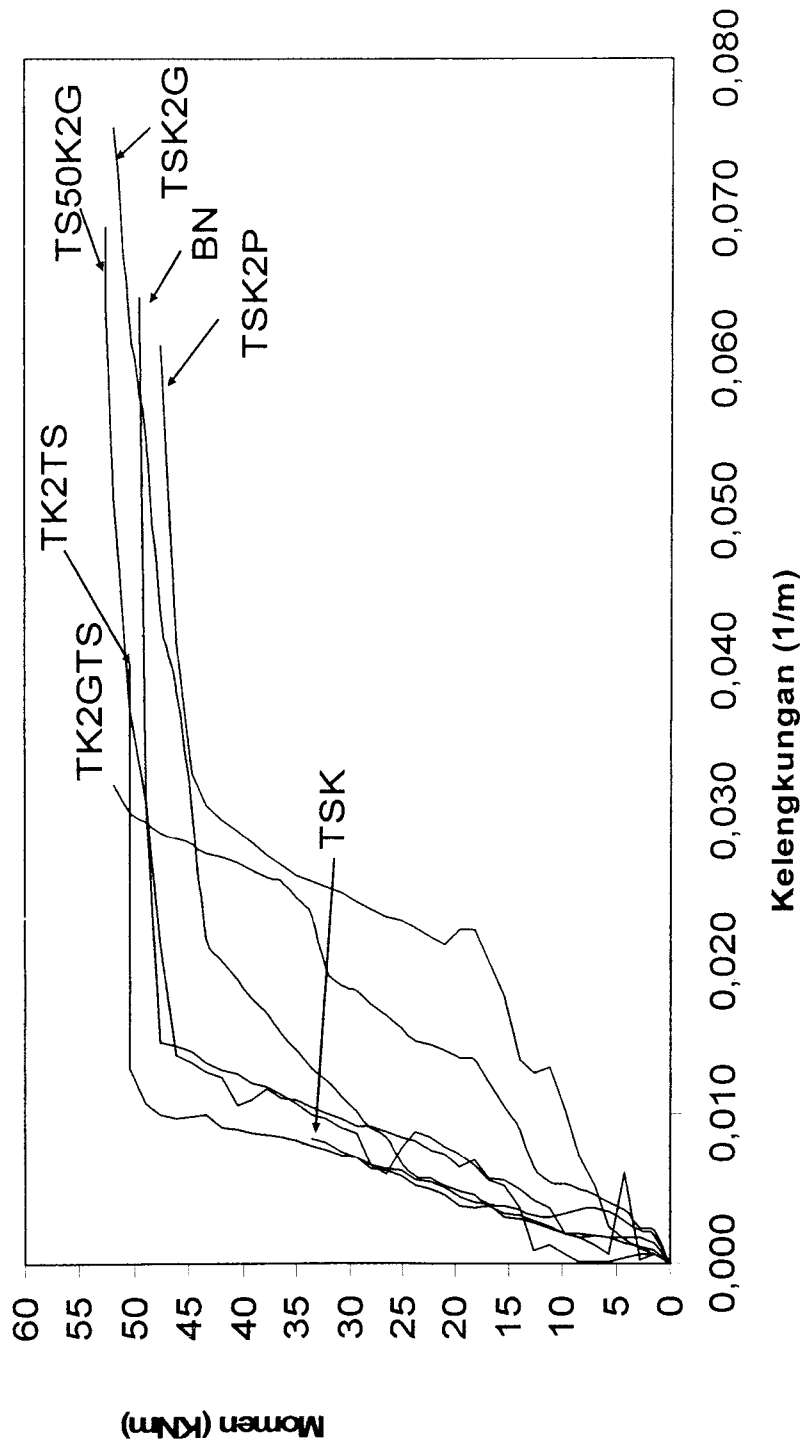
Lampiran G.7

Tabel Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian Balok Dengan Sengkang 50% Dan Kawat Strimin (Tegak) 2 Lapis Geser (TSS0K2G)

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	5	2.5	0.01	0	0.04	0.00001	0	0.00004	1.4	0.00056
3	10	5	0.04	0.07	0.16	0.00004	0.00007	0.00016	2.8	0.00067
4	15	7.5	0.06	0.14	0.25	0.00006	0.00014	0.00025	4.2	0.00033
5	20	10	0.07	0.17	0.28	0.00007	0.00017	0.00028	5.6	0.00011
6	25	12.5	0.09	0.21	0.32	0.00009	0.00021	0.00032	7	0.00011
7	30	15	0.11	0.21	0.32	0.00011	0.00021	0.00032	8.4	0.00011
8	35	17.5	0.14	0.34	0.48	0.00014	0.00034	0.00048	9.8	0.00067
9	40	20	0.18	0.41	0.53	0.00018	0.00041	0.00053	11.2	0.00122
10	45	22.5	0.21	0.41	0.53	0.00021	0.00041	0.00053	12.6	0.00089
11	50	25	0.25	0.68	0.78	0.00025	0.00068	0.00078	14	0.00367
12	55	27.5	0.3	0.87	0.97	0.0003	0.00087	0.00097	15.4	0.00522
13	60	30	0.38	1	1.12	0.00038	0.001	0.00112	16.8	0.00556
14	65	32.5	0.45	1.16	1.28	0.00045	0.00116	0.00128	18.2	0.00656
15	70	35	0.58	1.32	1.41	0.00058	0.00132	0.00141	19.6	0.00722
16	75	37.5	0.71	1.48	1.55	0.00071	0.00148	0.00155	21	0.00778
17	80	40	0.84	1.64	1.69	0.00084	0.00164	0.00169	22.4	0.00833
18	85	42.5	0.99	1.81	1.84	0.00099	0.00181	0.00184	23.8	0.00878
19	90	45	1.2	1.98	2.07	0.0012	0.00198	0.00207	25.2	0.00767
20	95	47.5	1.36	1.98	2.07	0.00136	0.00198	0.00207	26.6	0.00589
21	100	50	1.49	2.16	2.24	0.00149	0.00216	0.00224	28	0.00656
22	105	52.5	1.66	2.51	2.58	0.00166	0.00251	0.00258	29.4	0.00867
23	110	55	1.82	2.69	2.75	0.00182	0.00269	0.00275	30.8	0.00900
24	115	57.5	2	2.91	2.96	0.002	0.00291	0.00296	32.2	0.00956

No	Beban (P) (kN)	Beban (1/2P) (kN)	Lendutan (mm)			y_{i-1} (m)	y_i (m)	y_{i+1} (m)	Momen kN-m	ϕ 1/m
			LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3					
25	120	60	2.13	3.06	3.1	0.00213	0.00306	0.0031	33.6	0.00989
26	125	62.5	2.28	3.26	3.29	0.00228	0.00326	0.00329	35	0.01056
27	130	65	2.43	3.45	3.46	0.00243	0.00345	0.00346	36.4	0.01122
28	135	67.5	2.6	3.65	3.65	0.0026	0.00365	0.00365	37.8	0.01167
29	140	70	2.79	3.85	3.84	0.00279	0.00385	0.00384	39.2	0.01189
30	145	72.5	3.01	4.1	4.06	0.00301	0.0041	0.00406	40.6	0.01256
31	150	75	3.2	4.3	4.25	0.0032	0.0043	0.00425	42	0.01278
32	155	77.5	3.43	4.56	4.49	0.00343	0.00456	0.00449	43.4	0.01333
33	160	80	3.62	4.77	4.66	0.00362	0.00477	0.00466	44.8	0.01400
34	165	82.5	3.86	5.03	4.9	0.00386	0.00503	0.0049	46.2	0.01444
35	170	85	4.07	5.26	5.13	0.00407	0.00526	0.00513	47.6	0.01467
36	175	87.5	5.78	7.91	7.28	0.00578	0.00791	0.00728	49	0.03067
37	180	90	6.27	8.8	8.02	0.00627	0.0088	0.00802	50.4	0.03678
38	185	92.5	7.94	11.07	9.63	0.00794	0.01107	0.00963	51.8	0.05078
39	188	94	8.64	12.52	10.68	0.00864	0.01252	0.01068	52.64	0.06356
40	188	94	14.62	17.31	13.81	0.01462	0.01731	0.01381	52.64	0.06878

Lampiran G.8



Gambar Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Hasil Pengujian

Lampiran G.9

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 tekan (n) = 2 buah, dengan diameter 6 mm

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

$$\rho = \frac{A_s}{b.d} = \frac{603,186}{150.280} = 0.01436$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b.d} = \frac{56,549}{150.280} = 0.00135$$

1. Sebelum Retak

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

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

Statis Momen

$$y_a = \frac{[(b.h.1/2h) + ((n-1).A_s.d) + ((n-1).A_s'.d')]}{[(b.h) + ((n-1).(A_s + A_s'))]}$$

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

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

$$y_b = h - y_a$$

$$= 300 - 159,574$$

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

Momen Inersia (I)

I

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

$$= \left[\left(\frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 300^3 \right) + \left(150 \cdot 300 \cdot \left(159,574 - \frac{300}{2} \right)^2 \right) \right] + (603,186 \cdot (7,654 - 1) \cdot (140,425 - 20)^2) + (56,549 \cdot (7,654 - 1) \cdot (159,574 - 20)^2)$$

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

Modulus retak (fr)

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

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

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

2. Setelah Retak Pada Saat Leleh Pertama

Dengan menganggap beban elastis, maka.

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

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

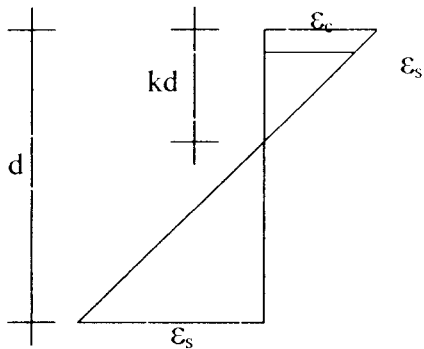
$$= 0,365$$

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

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

Dari diagram

didapat:



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

Jadi:

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

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

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

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

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

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

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

Jadi

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

Maka:

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

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

3. Setelah leleh pada saat beban maksimum (ultimit)

Dianggap tulangan tekan telah leleh

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

jadi

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

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

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

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

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

Maka:

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

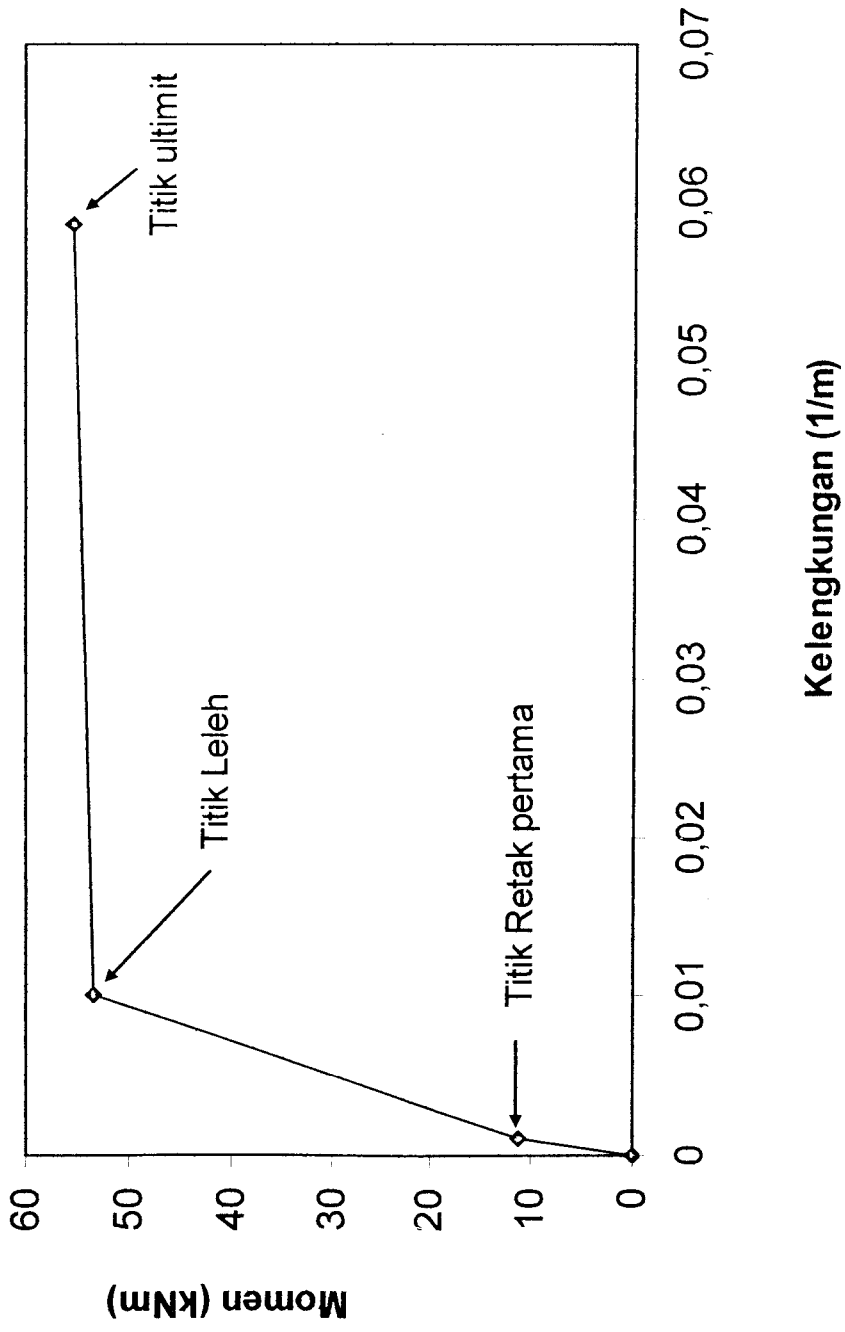
=

$$\left[(0,85 \cdot 30,908 \cdot 150 \cdot 49,875) \cdot \left(280 - \frac{49,875}{2} \right) \right] + ((56,549 \cdot 359,556) \cdot (280 - 20))$$

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

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

Lampiran G.10



Gambar Grafik Hubungan Momen-Kelengkungan Teoritis

LAMPIRAN H

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

Lampiran H.1

**Tabel Hubungan Momen-Lebar Retak Dan Momen-Panjang Retak
Pada Balok Normal Penuh Senggang (BN)**

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80	0,02	0,02		3,20
40	20,0	11,20			1,8	11,40
45	22,5	12,60	0,03	0,04	1,8	11,40
50	25,0	14,00			1,8	12,70
55	27,5	15,40	0,04	0,08	4	12,70
60	30,0	16,80			6,1	20,70
65	32,5	18,20	0,05	0,1	6,9	20,70
70	35,0	19,60			6,9	20,70
75	37,5	21,00	0,06	0,12	6,9	23,90
80	40,0	22,40			15,7	23,90
85	42,5	23,80	0,1	0,14	21	23,90
90	45,0	25,20			21	26,00
95	47,5	26,60	0,12	0,14	21	26,00
100	50,0	28,00			21	26,00
105	52,5	29,40	0,12	0,16	21	26,00
110	55,0	30,80			21	26,00
115	57,5	32,20	0,14	0,17	21	26,00
120	60,0	33,60			21	26,00
125	62,5	35,00	0,2	0,17	21	26,00
130	65,0	36,40			21	27,40
135	67,5	37,80	0,2	0,2	21	27,40
140	70,0	39,20			21	27,40
145	72,5	40,60	0,22	0,2	21	27,40
150	75,0	42,00			21	27,40
155	77,5	43,40	0,24	0,22	21	27,40
160	80,0	44,80			21	27,40
165	82,5	46,20	0,25	0,24	21	27,40
170	85,0	47,60			21	27,40
175	87,5	49,00	0,32	2	21	27,40
177	88,5	49,56	0,32	2	26,9	27,40

Lampiran H.2

**Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok Normal Tanpa Senggang (TSK)**

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

Lampiran H.3

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok TK2TS

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20				
45	22,5	12,60	0,02			
50	25,0	14,00			24	8,7
55	27,5	15,40	0,04	0,02	24	8,7
60	30,0	16,80			24	8,7
65	32,5	18,20	0,04	0,02	27	8,7
70	35,0	19,60			27	8,7
75	37,5	21,00	0,04	0,04	28	13,8
80	40,0	22,40			30,7	13,8
85	42,5	23,80	0,06	0,04	30,7	16,3
90	45,0	25,20			30,7	16,3
95	47,5	26,60	0,1	0,04	30,7	16,3
100	50,0	28,00			30,7	29,6
105	52,5	29,40	0,1	0,04	30,7	29,6
110	55,0	30,80			30,7	29,6
115	57,5	32,20	0,12	0,06	30,7	29,6
120	60,0	33,60			30,7	29,6
125	62,5	35,00	0,14	0,08	30,7	29,6
130	65,0	36,40			30,7	29,6
135	67,5	37,80	0,16	0,12	30,7	29,6
140	70,0	39,20			30,7	29,6
145	72,5	40,60	0,2	0,12	30,7	29,6
150	75,0	42,00			32,9	38,9
155	77,5	43,40	0,28	0,22	32,9	38,9
160	80,0	44,80			32,9	38,9
165	82,5	46,20	0,3	0,22	32,9	38,9
170	85,0	47,60			32,9	38,9
175	87,5	49,00	0,32	1,2	32,9	38,9
180	90,0	50,40			32,9	38,9
180	90,0	50,40	4	3,6	41,9	38,9

Lampiran H.4

**Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok TK2GTS**

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20				
45	22,5	12,60	0,02			
50	25,0	14,00				
55	27,5	15,40	0,04	0,02		13,5
60	30,0	16,80			12	16,2
65	32,5	18,20	0,08	0,04	12	17,2
70	35,0	19,60			14	17,2
75	37,5	21,00	0,14	0,1	14	18,2
80	40,0	22,40			16,2	18,2
85	42,5	23,80	0,2	0,14	16,2	18,2
90	45,0	25,20			16,2	18,2
95	47,5	26,60	0,2	0,2	17,4	18,2
100	50,0	28,00			18,1	19,4
105	52,5	29,40	0,22	0,24	18,1	20,6
110	55,0	30,80			18,6	20,6
115	57,5	32,20	0,24	0,28	18,6	20,6
120	60,0	33,60			18,6	20,6
125	62,5	35,00	0,28	0,34	18,6	20,6
130	65,0	36,40			19,8	21,6
135	67,5	37,80	0,3	0,4	19,8	21,6
140	70,0	39,20			19,8	21,6
145	72,5	40,60	0,3	0,46	19,8	23,1
150	75,0	42,00			19,8	23,1
155	77,5	43,40	0,3	0,6	19,8	23,1
160	80,0	44,80			19,8	23,1
165	82,5	46,20	0,6	0,74	19,8	23,1
170	85,0	47,60			21,6	23,1
175	87,5	49,00	1,9	0,9	21,6	23,1
180	90,0	50,40			21,6	26,6
185	92,5	51,80	2,2	2,22	21,6	26,6

Lampiran H.5

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok TSK2P

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80	0,04		8,5	
40	20,0	11,20			13,6	
45	22,5	12,60	0,06	0,02	13,6	
50	25,0	14,00			13,6	6,5
55	27,5	15,40	0,1	0,08	15,6	6,5
60	30,0	16,80			17,8	6,5
65	32,5	18,20	0,12	0,12	18,8	10
70	35,0	19,60			21,1	16,2
75	37,5	21,00	0,16	0,14	23,5	16,2
80	40,0	22,40			26,2	16,2
85	42,5	23,80	0,2	0,18	26,2	16,2
90	45,0	25,20			26,2	16,2
95	47,5	26,60	0,24	0,2	28,8	22,2
100	50,0	28,00			28,8	22,2
105	52,5	29,40	0,3	0,2	29,5	23,7
110	55,0	30,80			29,5	28,7
115	57,5	32,20	0,3	0,22	31,1	28,7
120	60,0	33,60			31,1	28,7
125	62,5	35,00	0,4	0,24	32,1	28,7
130	65,0	36,40			32,1	28,7
135	67,5	37,80	0,42	0,3	32,1	28,7
140	70,0	39,20			32,1	28,7
145	72,5	40,60	0,44	0,3	32,1	28,7
150	75,0	42,00			32,1	30
155	77,5	43,40	0,6	0,34	32,1	30
160	80,0	44,80			32,1	30
165	82,5	46,20	1,2	0,4	32,1	30
170	85,0	47,60	3	0,4	33,1	30

Lampiran H.6

**Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok TSK2G**

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20	0,02			
45	22,5	12,60				
50	25,0	14,00	0,04			
55	27,5	15,40				
60	30,0	16,80	0,04	0,02	4	2,2
65	32,5	18,20			6,6	7,4
70	35,0	19,60	0,08	0,02	10,8	8,2
75	37,5	21,00			14,8	8,2
80	40,0	22,40	0,12	0,02	14,8	8,2
85	42,5	23,80			18,1	13,2
90	45,0	25,20	0,14	0,04	18,1	15
95	47,5	26,60			18,1	15
100	50,0	28,00	0,16	0,06	18,1	15
105	52,5	29,40			18,1	15
110	55,0	30,80	0,16	0,06	18,1	15
115	57,5	32,20			18,1	15,7
120	60,0	33,60	0,2	0,08	18,1	15,7
125	62,5	35,00			18,1	15,7
130	65,0	36,40	0,24	0,08	18,1	18,2
135	67,5	37,80			18,1	18,2
140	70,0	39,20	0,26	0,16	18,1	21,9
145	72,5	40,60			18,1	23,6
150	75,0	42,00	0,3	0,16	18,1	23,6
155	77,5	43,40			18,1	23,6
160	80,0	44,80	1,4	0,18	18,1	23,6
165	82,5	46,20			22,5	23,6
170	85,0	47,60	2,3	0,2	23	24,9
175	87,5	49,00			24,5	24,9
180	90,0	50,40	3,2	0,2	25	24,9
185	92,5	51,80	3,8	0,3	25	24,9

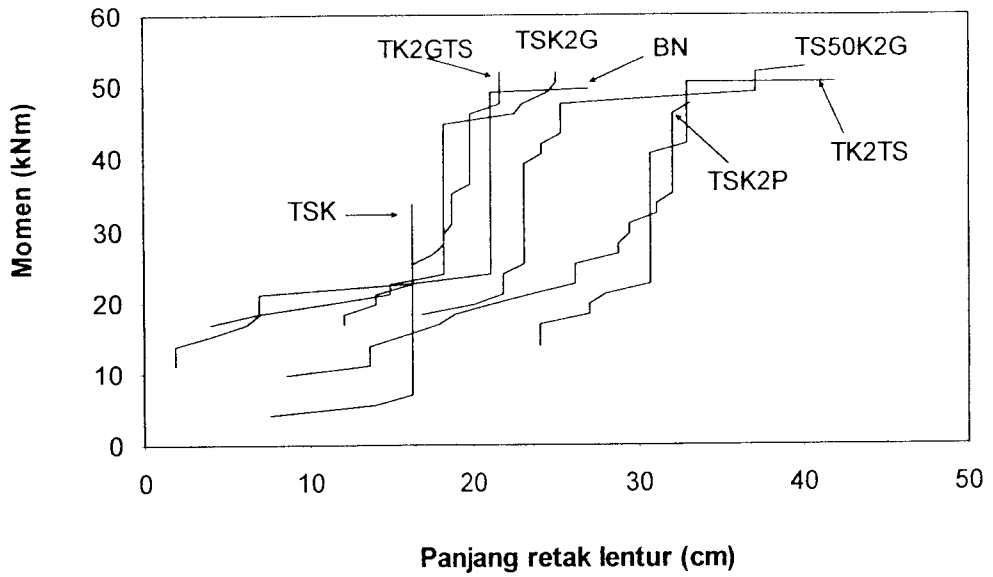
Lampiran H.7

Tabel Hubungan Momen-Panjang Retak Dan Momen-Lebar Retak
Pada Balok TS50K2G

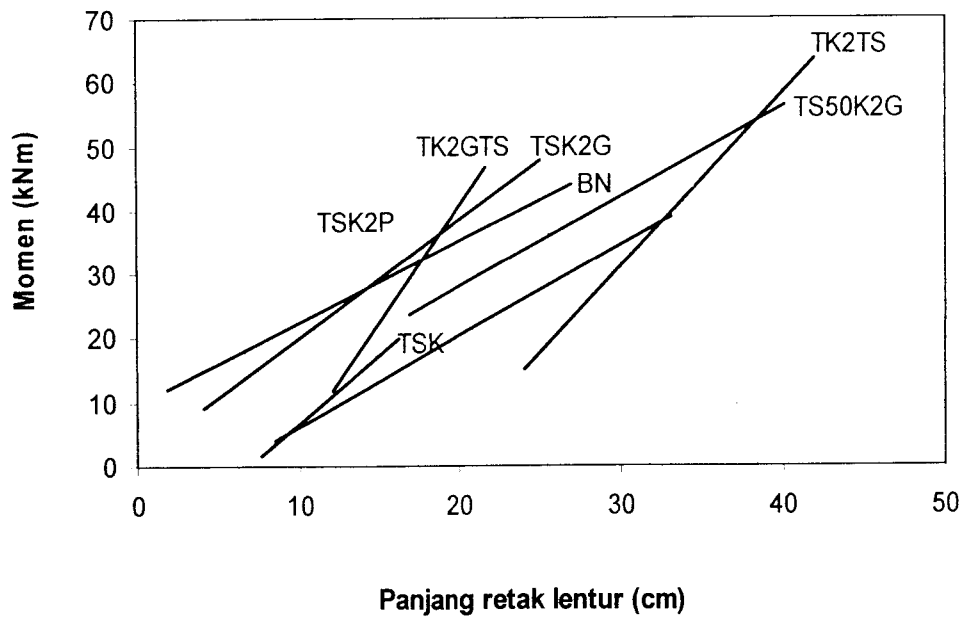
Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
0	0,0	0,00				
5	2,5	1,40				
10	5,0	2,80				
15	7,5	4,20				
20	10,0	5,60				
25	12,5	7,00				
30	15,0	8,40				
35	17,5	9,80				
40	20,0	11,20	0,02			
45	22,5	12,60				
50	25,0	14,00	0,02			13,4
55	27,5	15,40				13,4
60	30,0	16,80	0,06	0,02		15,4
65	32,5	18,20			16,8	15,4
70	35,0	19,60	0,1	0,04	20,1	20,6
75	37,5	21,00			21,8	20,6
80	40,0	22,40	0,1	0,06	21,8	20,6
85	42,5	23,80			21,8	23,9
90	45,0	25,20	0,14	0,08	23,1	25,7
95	47,5	26,60			23,1	25,7
100	50,0	28,00	0,14	0,1	23,1	27,9
105	52,5	29,40			23,1	27,9
110	55,0	30,80	0,2	0,12	23,1	29,9
115	57,5	32,20			23,1	29,9
120	60,0	33,60	0,2	0,16	23,1	29,9
125	62,5	35,00			23,1	29,9
130	65,0	36,40	0,22	0,18	23,1	29,9
135	67,5	37,80			23,1	32,1
140	70,0	39,20	0,24	0,18	23,1	32,1
145	72,5	40,60			24,1	32,1
150	75,0	42,00	0,26	0,2	24,1	32,1
155	77,5	43,40			25,3	32,1
160	80,0	44,80	0,3	0,28	25,3	34,3
165	82,5	46,20			25,3	34,3
170	85,0	47,60	0,3	0,28	25,3	34,3
175	87,5	49,00			37,1	34,3
180	90,0	50,40	2,6	0,3	37,1	34,3
185	92,5	51,80			37,1	34,3

Beban (P) kN	Beban (1/2P) kN	Momen (M) kNm	Lebar Retak		Panjang Retak	
			Lentur mm	Geser mm	Lentur cm	Geser cm
188	94,0	52,64			40,1	34,3
188	94,0	52,64	4	0,32	40,1	34,3

Lampiran H.8

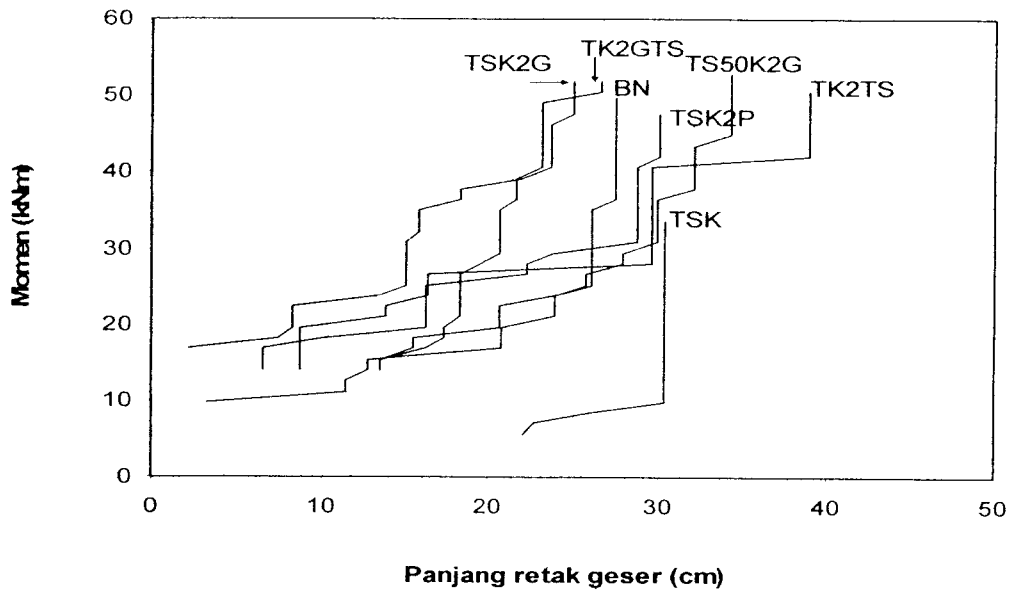


Gambar Grafik Hubungan Momen-Panjang Retak Lentur

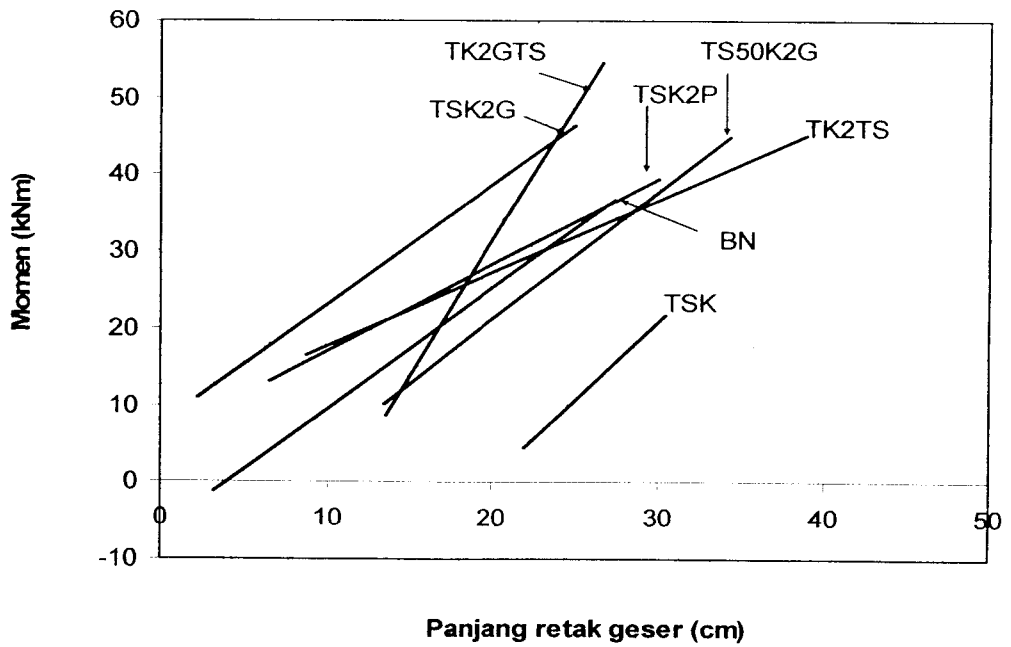


Gambar Grafik Regresi Hubungan Momen-Panjang Retak Lentur

Lampiran H.9

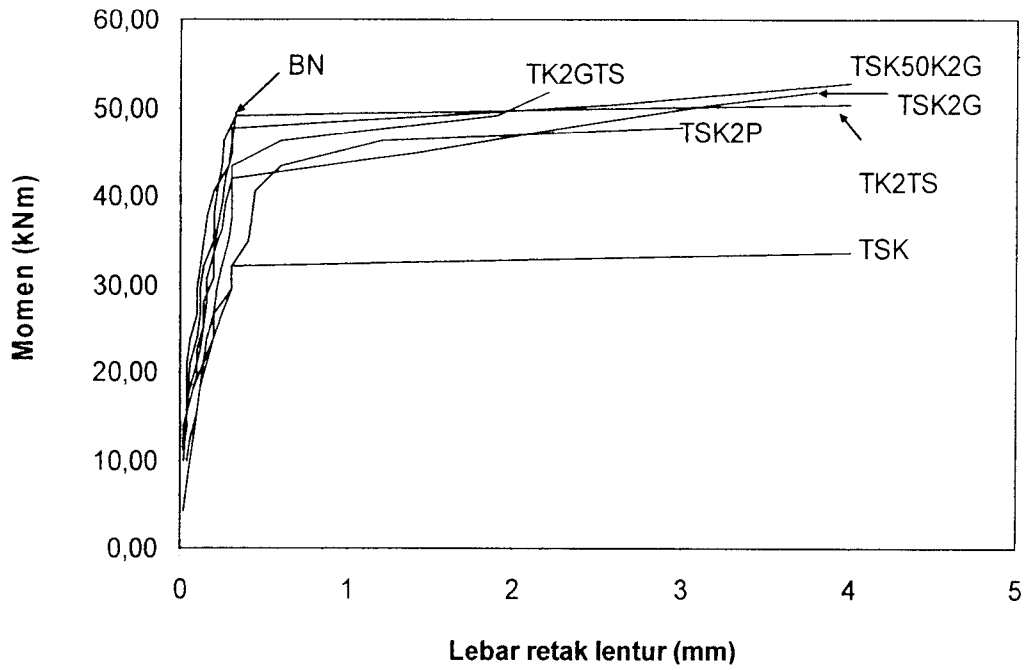


Gambar Grafik Hubungan Momen-Panjang Retak Geser

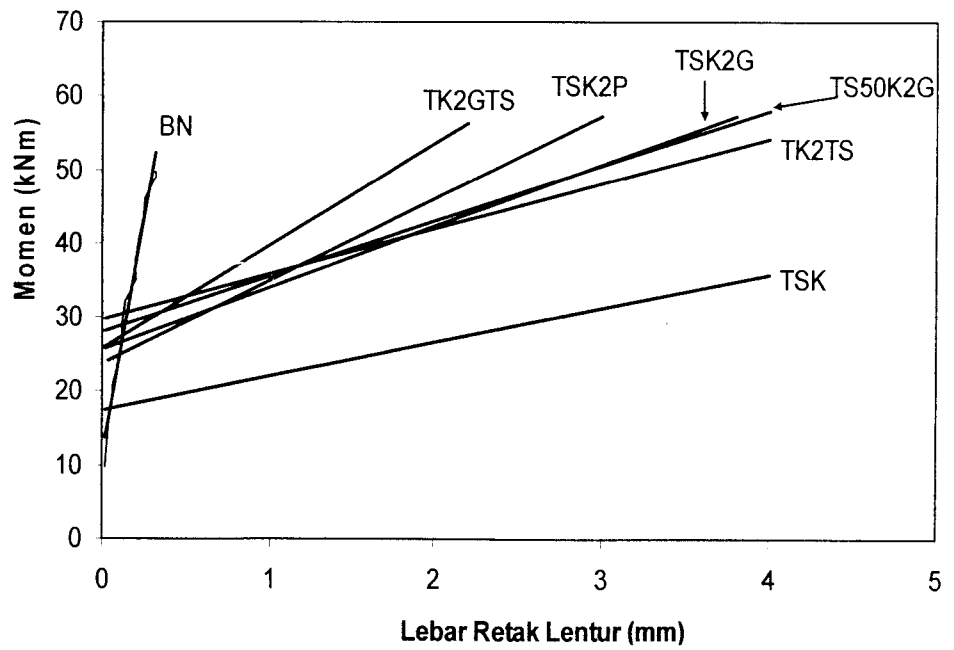


Gambar Grafik Regresi Hubungan Momen-Panjang Retak Geser

Lampiran H.10

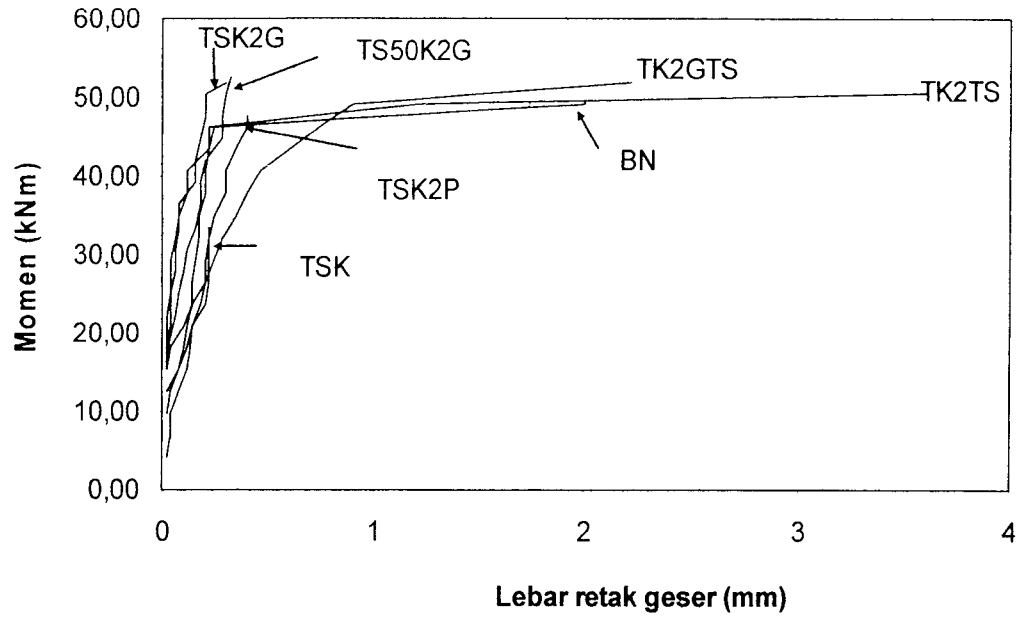


Gambar Grafik Hubungan Momen-Lebar Retak Lentur

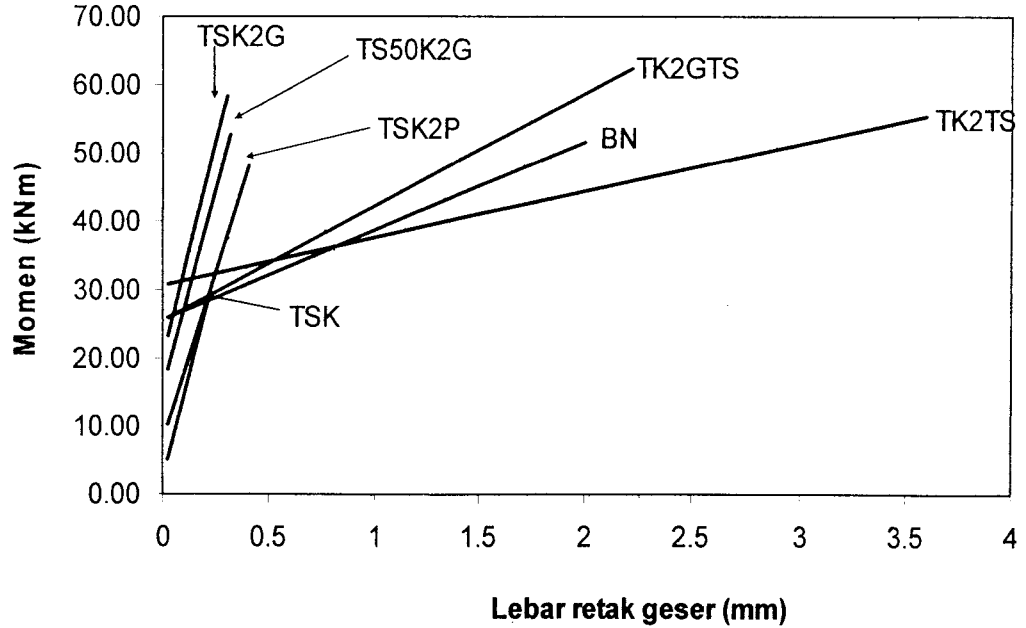


Gambar Grafik Regresi Hubungan Momen-Lebar Retak Lentur

Lampiran H.11



Gambar Grafik Hubungan Momen-Lebar Retak Geser



Gambar Grafik Regresi Hubungan Momen-Lebar Retak Geser

LAMPIRAN I

FOTO-FOTO PENGUJIAN

Lampiran I.1

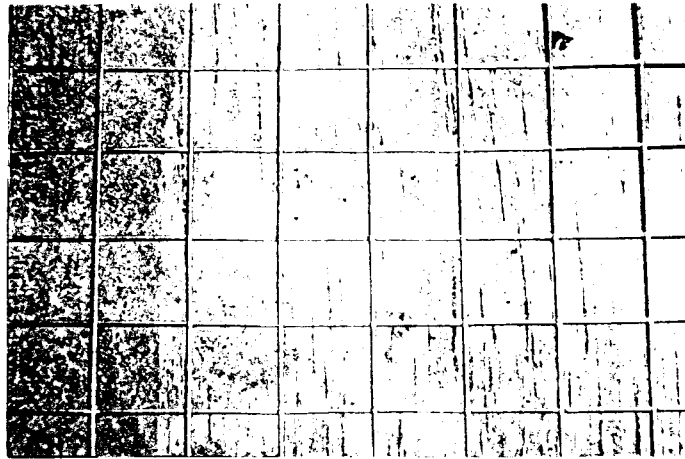


Foto Bentuk kawat strimin persegi

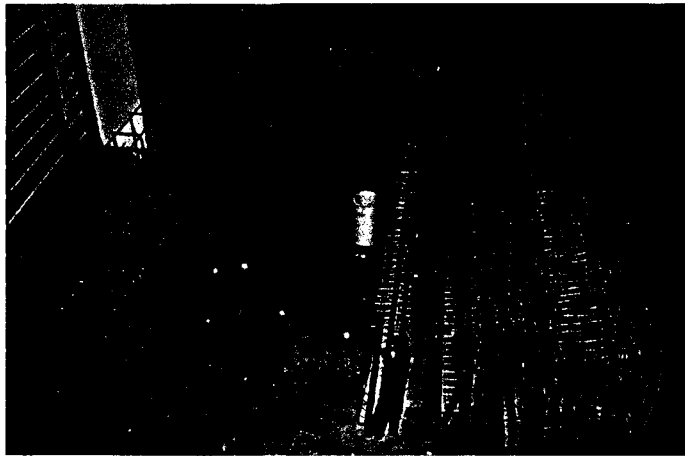


Foto Rangkaian Baja Tulangan dan Kawat strimin bentuk persegi



Foto Pengujian *slump*

Lampiran I.2

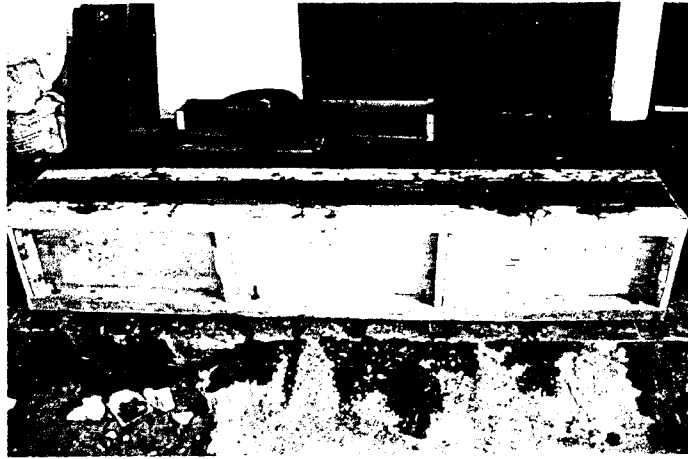


Foto Pengecoran balok beton bertulang

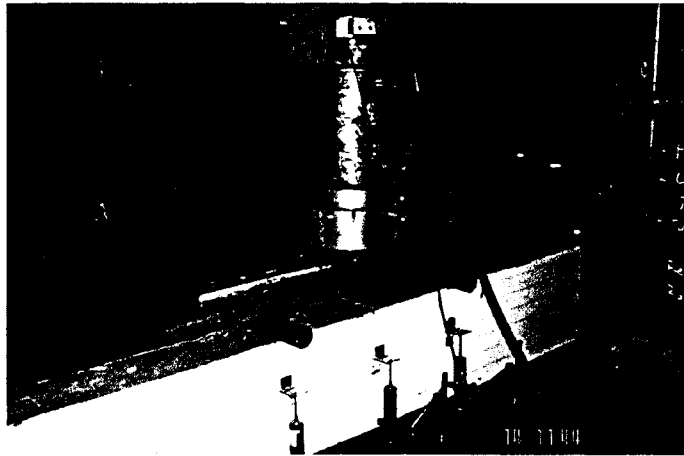


Foto Pengujian balok

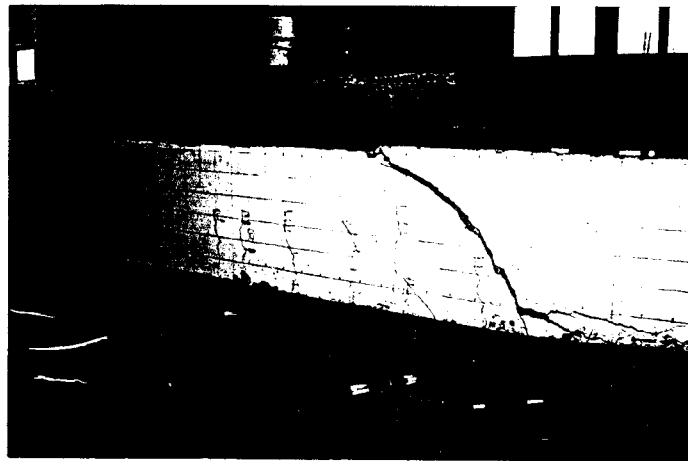


Foto Keruntuhan balok kontrol pada daerah geser

Lampiran I.3

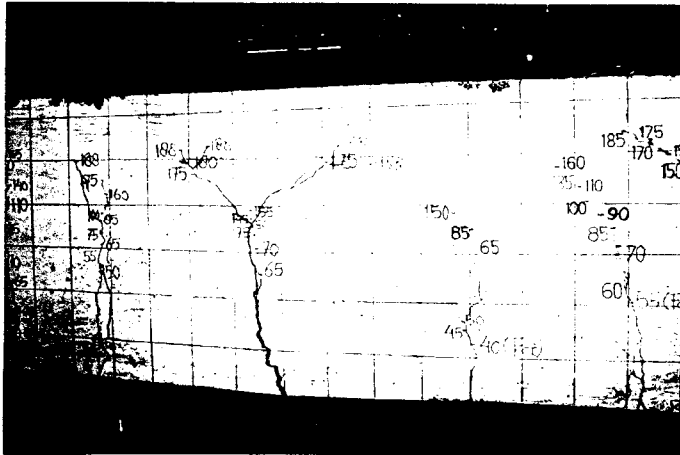


Foto Keruntuhan balok TS50K2G pada daerah lentur

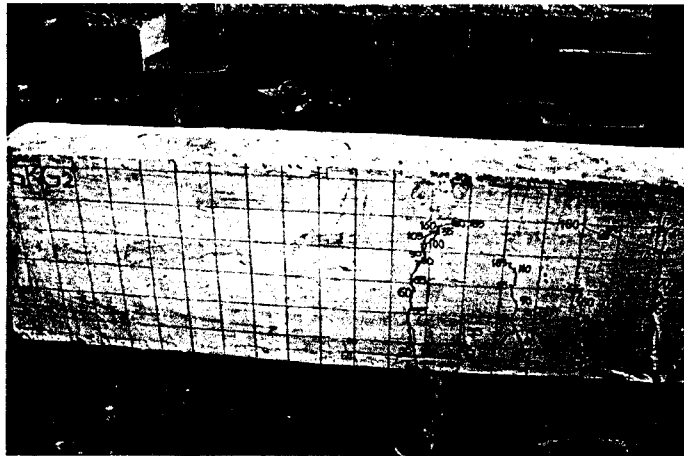


Foto Keruntuhan balok TSK2G (SKG2) pada daerah lentur

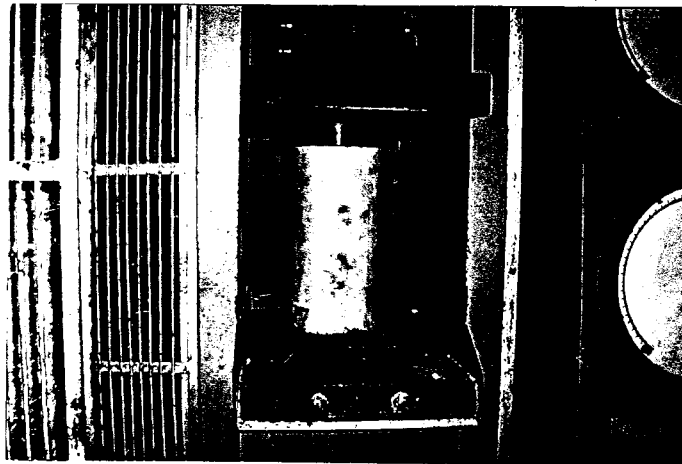


Foto Pengujian kuat desak beton

Lampiran 1.4

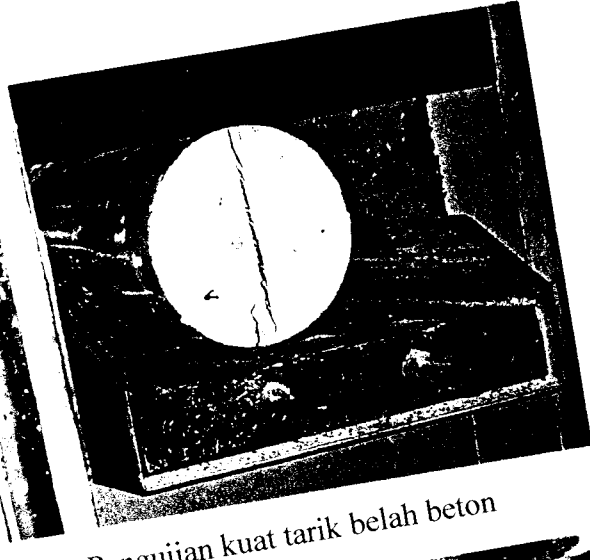


Foto Pengujian kuat tarik belah beton



Foto Pengujian kuat lentur beton



Foto Pengujian kuat geser beton