

# **SKRIPSI**

**PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN  
LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-TIGA BENTANG TERHADAP  
KEKUATAN BALOK T (LENDUTAN, KUAT LENTUR, KUAT GESER,  
PERILAKU RETAK, DAN KERUNTUHAN PADA BALOK BETON  
BERTULANG)**



Disusun Oleh :

**DEWI ALFIYATIN NURLAILI**

**10.21.007**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG**

**2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN  
LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-TIGA BENTANG TERHADAP  
KEKUATAN BALOK T (LENDUTAN, KUAT LENTUR, KUAT GESER,  
PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN PADA BALOK BETON  
BERTULANG)**

*Dipertahankan dihadapan dewan penguji ujian skripsi jenjang Strata Satu (S-1)*

*Pada Hari Senin 16 Februari 2015*

*Dan diterima untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Sipil*

Disusun Oleh :

**DEWI ALFIYATIN NURLAILI**

**10.21.007**

Disahkan Oleh

**Panitia Ujian Skripsi :**

**Ketua**

**Sekretaris**



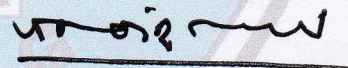
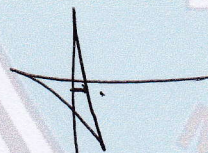
**(Ir. A. Agus Santosa, MT)**

**(Lila Ayu Ratna Winanda, ST., MT)**

**Anggota Penguji :**

**Penguji I**

**Penguji II**



**(Ir. A. Agus Santosa, MT)**

**(Ir. Sudirman Indra, MSc)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2015**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN  
LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-TIGA BENTANG TERHADAP  
KEKUATAN BALOK T (LENDUTAN, KUAT LENTUR, KUAT GESER,  
PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN PADA BALOK BETON  
BERTULANG)**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :**

**DEWI ALFIYATIN NURLAILI  
10.21.007**

**Menyetujui :**

**Dosen pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**(Ir. Ester Priskasari MT.)**

**(Ir. Togi H Nainggolan, MS.)**

**Mengetahui :**

**Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1**



**(Ir. A Agus Santosa, MT)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2015**

## ABSTRAK

### **PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-TIGA BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK “T” (LENDUTAN, KUAT LENTUR, KUAT GESER, PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN BALOK BETON BERTULANG)**

Nama : Dewi Alfiyatin Nurlaili  
Nim : 10.21.007  
Dosen Pembimbing I : Ir. Ester Priskasari, MT.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Togi H Nainggolan, MS

---

Dalam pembangunan konstruksi di Indonesia banyak dirancang dengan konstruksi yang kuat sehingga akan mempengaruhi jumlah kebutuhan cor beton dan terkadang pelaksanaannya dihentikan karena tidak tersedianya dana. Oleh karena itu menyebabkan pelaksanaan dengan cara disambung-sambung pada pekerjaan struktur beton dan tulangan. Sehingga dilakukan berbagai penelitian tentang pengaruh sambungan beton dan tulangan terhadap kekuatan balok.

Dengan model penyambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sepertiga bentang ( $B-1/3$ ) balok “T” diharapkan bisa memberikan informasi tentang pengaruh sambungan beton dan tulangan terhadap kekuatan balok “T”. Tujuan penelitian ini adalah: Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok pada jarak sambungan  $1/3$  bentang berpengaruh terhadap lendutan, kuat lentur, kuat geser, pola retak dan keruntuhan balok bertulang.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil pengujian dengan  $P_{maks} = 2865,72$  kg didapat nilai lendutan rata-rata pada balok tanpa sambungan (BTS) = 9,41 mm, kuat lentur = 16840362,55 Nmm, kuat geser = 16290,241 N, dan untuk ( $B-1/3$ ) didapat  $P_{maks} = 2296,25$  dengan nilai lendutan rata-rata = 6,28 mm, kuat lentur = 13708277,55 Nmm, kuat geser = 13442,891 N. Dari hasil pengujian didapat selisih nilai lendutan sebesar 9,139 %, kuat lentur sebesar 24,438 % dan kuat geser sebesar 22,941 % ( $B-1/3$ ) terhadap (BTS).

Kata kunci: beban, kuat geser, kuat lentur, lendutan, pola retak, sambungan.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Pengekangan pada Beton.....	15
2.3 Metode Perencanaan.....	16
2.4 Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan.....	17
2.5 Baja Tulangan.....	19
2.6 Prinsip – Prinsip Perencanaan.....	20
2.7 Perencanaan Balok T.....	26
2.8 Perencanaan Balok Terhadap Geser.....	34
2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak.....	36
2.10 Defleksi Balok T.....	39
	vii

2.11 Defleksi Balok Yang Bertulangan Tekan.....	42
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Parameter Penelitian.....	47
3.2 Model Analisa.....	48
3.3 Pengujian di Laboratorium.....	49
3.4 Umum.....	59
3.5 Analisis Hasil Laboratorium.....	59
3.6 Analisis Teoritis.....	64
3.7 Perhitungan Kuat Lentur Teoritis.....	102
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisis Eksperimen Lendutan .....	108
4.1.1 Balok Tanpa Sambungan Beton Dan Tulangan.....	109
1. Balok Tanpa Sambungan A ( <i>BTS-A</i> ).....	109
2. Balok Tanpa Sambungan B ( <i>BTS-B</i> ).....	114
3. Balok Tanpa Sambungan B ( <i>BTS-C</i> ).....	119
4. Gabungan Hub. Beban-Lendutan Balok Tanpa Sambungan	125
4.1.2 Balok dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan (1/3)	
bentang.....	131
4.2 Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen.....	172
4.3 Perhitungan Kuat Geser Eksperimen.....	190
4.4 Pembahasan.....	208
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	217
5.2 Saran .....	218
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

3.1 Komposisi Campuran Beton Hasil Mix Design.....	60
3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pertama.....	61
3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kedua.....	62
3.4 Tegangan Hancur Silinder Rata-Rata.....	63
3.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	63
3.6 Kuat Geser Teoritis.....	77
3.7 Hasil Analisa Teoritis Lendutan.....	92
3.8 Hasil Analisa Teoritis Kuat Lentur.....	102
4.1 Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambungan <b>A (BTS-A)</b> .....	109
4.2 Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambungan <b>B (BTS-B)</b> .....	115
4.3 <i>Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambungan C (BTS-C)</i> .....	120
4.4 Hubungan beban – lendutan BTS A,B,C, dan rata-rata.....	125
4.5 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan B 1/3- A pada letak LVDT 1/3 B.....	132
4.6 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan B 1/3- A pada letak LVDT 1/2 B.....	134
4.7 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3 B pada letak LVDT 1/3 B.....	139
4.8 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3 B pada letak LVDT 1/2 B.....	145
4.10 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3-C pada letak LVDT 1/3 B.....	147

4.11 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3-C pada letak LVDT 1/2 B 153.....	149
4.12 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/3 A,B,C, dan Rata-rata Pada Letak LVDT di 1/3 Bentang.....	154
4.13 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/3 A,B,C, dan Rata-rata Pada Letak LVDT di 1/2 Bentang.....	156
4.14a Hasil perhitungan balok T teoritis,.....	165
4.14b Hasil Perhitungan balok T tanpa sambungan.....	164
4.14c Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/3 B rata-rata....	165
4.14d Hasil perhitungan balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang rata-rata.....	166
4.14e Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/4 B rata-rata....	166
4.14f Hasil perhitungan balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang rata-rata.....	167
4.14g Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/2 B rata-rata....	167
4.15a Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/3 bentang dan balok T jarak sambungan 1/3 tengah bentang.....	169
4.15b Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/4 bentang dan balok T jarak sambungan 1/4 tengah bentang.....	170
4.15c Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/2 Bentang.....	171
4.16 Kuat lentur eksperimen balok tanpa sambungan(BTS) rata-rata.....	173
4.17 Kuat lentur eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata- rata pada letak LVDT di 1/3 bentang.....	177



4.18 Kuat lentur eksperimen Balok dengan jarak sambungan $1/3$ bentang rata-rata pada letak LVDT di $1/2$ bentang.....	182
4.19 Perbandingan Beban -Momen Lentur Teoritis BTS dan B- $1/3$ bentang..	189
4.20 Kuat Geser Eksperimen Balok Tanpa Sambungan (BTS) rata-rata.....	190
4.21 Kuat Geser Eksperimen Balok Dengan jarak Sambungan $1/3$ bentang rata-rata pada LVDT di $1/3$ bentang.....	195
4.22 Kuat Geser Eksperimen Balok dengan jarak sambungan $1/3$ bentang rata-rata pada LVDT di $1/2$ bentang.....	200
4.23 Perbedaan Beban - Kuat Geser BTS dan B- $1/3$ bentang.....	207
4.24 Perbandingan Beban Maks-Kuat Geser Maks BTS dan B- $1/3$ Bentang..	207

## DAFTAR GAMBAR

2.1 Model Sambungan Balok.....	6
2.2 Diagram Tegangan Regangan Beton.....	18
2.3 Diagram Tegangan Regangan Baja Tulangan.....	20
2.4 Diagram Tegangan Regangan Balok.....	21
2.5 Diagram Tegangan Regangan Pada Kondisi Balance .....	25
2.6 Penampang Balok-T.....	27
2.7 Balok-T dengan $a < hf$ .....	28
2.8 Balok-T Murni dengan $a > hf$ .....	31
2.9 Hubungan beban defleksi pada balok. Daerah I, taraf praretak; daerah II, taraf pascaretak; daerah III, taraf pasca-serviceability ( tulangan baja meleleh ) .....	37
2.10 Distribusi tegangan dan regangan melintasi kedalaman penampang berflens : (a) geometri ; (b) regangan ; (c) tegangan.....	40
2.11 Distribusi tegangan dan regangan pada saat beban layan dalam balok persegi bertulangan ganda : (a) geometri; (b) regangan; (c) tegangan.....	43
2.12 Distribusi tegangan dan regangan pada saat beban layan dalam balok T bertulangan ganda : (a) geometri; (b) regangan; (c) tegangan.....	44
3.13 Pengertian Strain.....	46
3.1a Penulangan Balok Tanpa Sambungan Benda uji A, B dan C.....	50
3.1b Penulangan Balok dengan Jarak Sambungan $1/3$ Bentang ( $B-1/3$ ).....	51
3.2 Proses pengujian lendutan.....	55
3.3 Bagan Alir Analisa Balok T.....	56
3.4 Bagan Alir Rencana Penelitian.....	58
3.5 Penampang Balok T.....	65
3.6 Penulangan Geser Akibat Beban (Perhitungan Teoritis).....	73
3.7 Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflen.....	83
3.8 Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflens.....	86

4.1 Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan <b>A (BTS-A)</b> .....	113
4.2 Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan <b>A (BTS-A)</b> .....	113
4.3 Pengujian Kuat Lentur Balok Tanpa Sambungan <b>B (BTS-B)</b> .....	118
4.4 Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan <b>B (BTS-B)</b>	119
4.5 Pengujian Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan <b>C (BTS-C)</b> .....	124
4.6 Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan <b>C (BTS-C)</b>	124
4.7 Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>A( 1/3-A)</b> ..	137
4.8 Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>A( 1/3-A)</b> .....	138
4.9 Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>B( 1/3-B)</b> ...	145
4.10 Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>B</b> <b>( 1/3-B)</b> .....	146
4.11 Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>C( 1/3-C)</b>	153
4.12 Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang <b>C</b> <b>( 1/3-C)</b> .....	153

## DAFTAR GRAFIK

3.1 Hubungan Beban – Kuat Geser Teoritis.....	81
3.2 Hubungan Beban – Lendutan Teoritis.....	101
3.3 Hubungan Beban – Kuat Lentur Teoritis.....	107
4.1 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan <b>A (BTS-A)</b> .....	112
4.2 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan <b>B (BTS-B)</b> .....	117
4.3 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan <b>B (BTS-B)</b> .....	123
4.4 Hubungan Beban – Lendutan BTSA,B,C, dan Rata-Rata BTS.....	128
4.5 Hubungan Beban-Lendutan BTS Rata-Rata dan Teoritis.....	130
4.6 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan (1/3)-A pada letak LVDT 1/3 B dan LVDT 1/2 B.....	136
4.7 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan (1/3)-B pada letak LVDT 1/3 B dan LVDT 1/2 B.....	144
4.8 Hubungan beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3 (B-1/3) A, B, C, dan (B-1/3) rata-rata Pada Letak LVDT di 1/3 B.....	158
4.9 Hubungan beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3 (B-1/3) A, B, C, dan (B-1/3) rata-rata Pada Letak LVDT di 1/2 B.....	160
4.10 Hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata,(1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang, (1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang dan teoritis.....	162
4.11 Hubungan beban – kuat lentur balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata	175
4.12 Hubungan beban – kuat lentur balok dengan jarak sambungan 1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang.....	180
4.13 Hubungan beban – kuat lentur balok dengan jarak sambungan 1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang.....	185
4.14 Hubungan Beban- Kuat Lentur teoritis,BTS, B-1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang dan B1/3 rata-rata pada letak LVDT	

di $\frac{1}{2}$ bentang.....	187
4.15 Hubungan beban – kuat geser balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata	193
4.16 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan B $\frac{1}{3}$ rata-rata pada jarak LVDT di $\frac{1}{3}$ bentang.....	198
4.17 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan B $\frac{1}{3}$ rata-rata pada jarak LVDT di $\frac{1}{2}$ bentang.....	203
4.18 Hubungan Beban- Kuat Geser teoritis,BTS, dan B- $\frac{1}{3}$ rata-rata (pada letak LVDT di $\frac{1}{2}$ Bentang.....	205

## DAFTAR NOTASI

$BTS$  = Balok Tanpa Sambungan

$B-1/4$  = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan  $1/4$  Bentang

$B-1/3$  = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan  $1/3$  Bentang

$B-1/2$  = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan  $1/2$  Bentang

$n$  = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton

$h$  = Tinggi Balok (mm)

$b$  = Lebar Balok (mm)

$l$  = Panjang Balok (mm)

$\varnothing$  = Diameter tulangan baja (mm)

$q$  = Beban Sendiri (N/mm)

$P$  = Beban (N)

$A$  = Luas benda uji ( $\text{mm}^2$ )

$d$  = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tarik tulangan (mm)

$d'$  = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan (mm)

$y$  = Jarak sumbu netral penampang ke serat paling tertekan (mm)

$A_s$  = Luas tulangan tekan ( $\text{mm}^2$ )

$Z$  = Besaran pembatas distribusi tulangan lentur (mm)

$C_c$  = Gaya tekan beton (N)

$C_s$  = Gaya tekan baja (N)

$M_n$  = Momen nominal (Nmm)

$M_{cr}$  = Momen retak pada beton (Nmm)

$\Delta$  = Defleksi yang terjadi pada balok (mm)

- $I_{cr}$  = Momen inersia penampang retak transformasi ( $\text{mm}^4$ )
- $I_g$  = Momen inersia penampang utuh ( $\text{mm}^4$ )
- $I_e$  = Momen inersia (Nmm)
- $f_r$  = Modulus keruntuhan lentur beton (MPa)
- $y_t$  = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan keberadaan tulangan, ke serat tarik terluar (mm)
- $f_c'$  = Kuat tekan beton rencana (MPa)
- $f_y$  = Kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)
- $v_c$  = Regangan beton
- $v_y$  = Regangan baja tulangan
- $E_s$  = Modulus elastisitas baja tulangan(MPa)
- $E_c$  = Modulus elastisitas beton(MPa)
- $V_u$  = Gaya Geser terfaktor pada penampang (N)
- $V_c$  = Kuat geser nominal (N)
- $M_a$  = Momen (Nmm)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah S.W.T yang telah memberikan Berkat dan Rahmat-Nya, sehingga Penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan judul **“Pengaruh Letak Sambungan Beton Dan Tulangan Longitudinal Pada Jarak Seper-tiga Bentang Terhadap Kekuatan Balok T (Lendutan, Kuat Lentur, Kuat Geser, Perilaku Retak Dan Keruntuhan Pada Balok Beton Bertulang)”**. Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam penyelesaian Skripsi akhir ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu tak lupa kiranya penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.Ir. Lalu Mulyadi,MT selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Dr.Ir. Kustamar, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna W, ST,MT selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil S-1.
5. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT selaku Ketua Koordinator Bidang Struktur.
6. Ibu Ir. Ester Priskasari, MT selaku dosen pembimbing I.
7. Bapak Ir.Togi H Nainggolan, MS. selaku dosen pembimbing II.
8. Kedua orang tua dan keluarga, terima kasih atas segala dukungan materil serta doanya.
9. Rekan-rekan Teknik sipil yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu dengan segala kerendahan hati penyusun mohon maaf yang sebesar-besarnya jika masih banyak terdapat kekurangan di dalamnya. Untuk itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan, diakhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermamfaat bagi kita semua.

Penyusun

Dewi Alfiyatin Nurlaili  
Nim. 10.21.007



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Dalam pembangunan konstruksi di Indonesia banyak dirancang dengan konstruksi yang kuat, sehingga akan mempengaruhi jumlah kebutuhan cor beton yang tidak sedikit untuk konstruksi yang kuat. Pembangunan konstruksi gedung bertingkat dalam proses pelaksanaannya, dilakukan secara bertahap baik pembangunan konstruksi ke arah vertikal maupun pembangunan ke arah horizontal. Namun terkadang dalam pelaksanaan pengecoran proyek tidak dilakukan sekaligus dan terkadang pelaksanaannya dihentikan karena tidak tersedianya dana. Oleh karena itu, pelaksanaan dengan cara disambung-sambung pada pekerjaan konstruksi struktur beton kolom dan balok.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 dalam perancangan struktur balok beton bertulang tahan gempa, syarat untuk pemakaian tulangan longitudinal dan tulangan pengekang agar tercapai daktilitas sesuai syarat. Pada konstruksi bangunan yang didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk wilayah gempa zona 5 dan zona 6 atau gempa kuat, pendetailan khusus dalam bentuk pengekangan diberikan terutama di daerah yang mempunyai potensi terjadinya sendi plastis (pada semua ujung balok dan semua ujung kolom) untuk meratakan energi gempa yang masuk, sesuai dengan konsep perancangan struktur tahan gempa saat ini. Sedangkan pada daerah yang mengalami gaya dalam yang dominan atau tegangan, sama seperti di daerah sambungan tulangan

longitudinal dan pada ujung-ujung, membutuhkan pengekangan yang lebih ketat, untuk menjamin daktilitas yang cukup agar konstruksi bangunan tidak mengalami kegagalan yang tidak diinginkan.

Salah satu cara untuk menyambung antara beton lama dan beton baru yaitu dengan menggunakan bahan perekat beton yaitu *bond crete* atau bahan yang sejenisnya. Pada sambungan antara beton lama dan beton baru pada balok sering dilaksanakan tanpa menggunakan bahan perekat beton. Penelitian ini akan dilakukan penyambungan beton lama dan beton baru tanpa dengan menggunakan bahan perekat beton (*bond crete*), mengingat harga untuk perekat beton ini masih cukup mahal dan masih langka, sehingga bahan perekat tersebut tidak ideal jika ada pembangunan kontruksi dilaksanakan di luar Pulau Jawa. Pada Sambungan tulangan longitudinal harus diperhatikan panjang penyaluran dan pengekangan pada daerah penyambungan tersebut, serta yang paling penting adalah pada letak atau titik sambungan pada beton balok T dan tulangan longitudinal di sepanjang balok T.

Untuk penelitian mengenai pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T ini masih begitu jarang dijumpai, oleh karena itu penulis merasa termotivasi, agar sangat perlu untuk melakukan penelitian ini, dan mengharapkan memperoleh hasil dari penelitian ini dapat dan kesimpulan mengenai letak sambungan beton balok T dan tulangan longitudinal balok T. Perencanaan terhadap penelitian ini, terutama balok T beton bertulang yang didesain untuk sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di wilayah gempa 5 dan 6 atau wilayah gempa yang kuat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

- a. Apakah berpengaruh lendutan terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T dengan jarak  $1/3$  bentang?
- b. Apakah berpengaruh kuat lentur terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak  $1/3$  bentang?
- c. Apakah berpengaruh kuat geser terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak  $1/3$ ?
- d. Apakah berperilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak  $1/3$  bentang?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaruh lendutan terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak sambungan  $1/3$  bentang.
- b. Dapat mengetahui pengaruh kuat lentur terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak sambungan  $1/3$  bentang.
- c. Dapat mengetahui pengaruh kuat geser terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak sambungan  $1/3$  bentang.
- d. Dan dapat mengetahui pengaruh perilaku retak dan keruntuhan terhadap letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak sambungan  $1/3$  bentang.

#### **1.4 Ruang Lingkup Masalah**

Ruang lingkup masalah dalam penelitian ini untuk memfokuskan permasalahan pokok, yaitu sebagai berikut :

- a. Dalam ruang lingkup pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/3$  bentang terhadap lendutan.
- b. Dalam ruang lingkup pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/3$  bentang terhadap kuat lentur.
- c. Dalam ruang lingkup pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/3$  bentang terhadap kuat geser.
- d. Dalam ruang lingkup pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sambungan  $1/3$  bentang terhadap perilaku retak dan keruntuhan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

##### 1. Bagi Peneliti :

- Menjadi prasyarat penyusunan dalam menempuh jejang strata satu dan memperoleh kelulusan strata satu.
- Merupakan kesempatan yang baik untuk menerapkan teori yang ada, khususnya mengenai beton guna menambah wawasan pengetahuan.
- Memberikan gambaran umum tentang perilaku beton di lapangan jika nantinya menggunakan metode yang di teliti.

- Dapat memahami proses pembuatan beton dengan benda uji sesuai ketentuan dan syarat yang berlaku.

2. Bagi Lembaga Pendidikan :

Laporan hasil pendidikan ini dapat menambah pembaruan kepustakaan dan referensi tugas akhir untuk mahasiswa, khususnya mengenai beton, sehingga dapat digunakan sebagai referensi tambahan dalam proses akademik.

3. Bagi Perencanaan dan Pelaksanaan Proyek

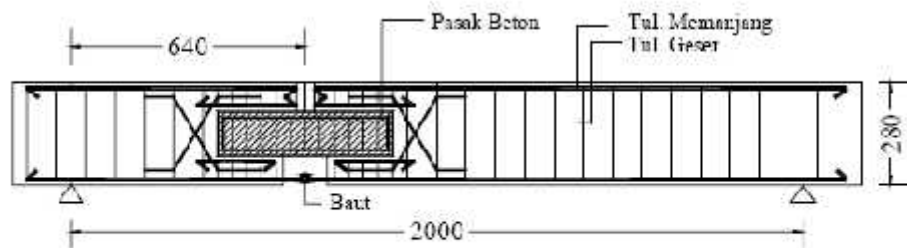
Memberikan sumbangan informasi tentang pengaruh variasi sambungan terhadap kekuatan beton, sehingga dapat membantu perencanaan dan pelaksanaan proyek untuk memperkirakan kekuatan konstruksi dan struktur suatu bangunan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian terdahulu yang meneliti tentang letak sambungan pada balok beton bertulang maupun beton pracetak yaitu Budi Setiawan (2006, hal ; 61) dengan judul : Tinjauan Kekuatan Dan Analisis Teoritis Model Sambungan Untuk Momen Dan Geser Pada Balok Beton Bertulang, Universitas Muhammadiyah Surakarta yang menganalisa secara teoritis kekuatan dan model sambungan untuk momen dan geser balok beton bertulang. Salah satu upaya untuk mempertahankan kemampuan balok dalam mendukung beban pada bagian sambungan momen dan geser, yaitu dibuat sistem penyambungan dengan menggunakan pasak beton pada sisi tengah balok, serta menyambung bagian tulangan tariknya dengan baut, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Model Sambungan Balok

Penelitian tentang sambungan momen dan geser pernah dilakukan oleh Ningsih (2004) dengan judul : Penggunaan Pasak Kayu Bentuk Ekor Burung Sebagai Sambungan Momen dan Geser Pada Balok Kayu, serta penelitian Ujianto (2004) tentang balok beton berlubang dengan judul : Perilaku Balok Beton Berlubang Dengan Lubang Segi Empat Akibat Beban Siklik. Dari kedua penelitian tersebut dicoba dilakukan suatu penelitian tentang penyambungan balok dengan material beton pada bagian yang menahan momen lentur dan gaya geser (pada posisi antara 1/4 hingga 1/3 bentangan balok) dengan alat sambung berupa model pasak segi empat dari beton bertulang.

2. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh Francisso Natalino D.J.S Da Silva,dkk (2013, hal; 136) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Pada Jarak Seper-Dua Bentang Terhadap Kekuatan Balok Persegi, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan  $\frac{1}{2}$  bentang.

Dari hasil penelitian pengaaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak seper dua bentang kekuatan balok dari hasil teoritis kekuaan lentur terbesar dengan beban  $P = 862 \text{ Kg} = 8459 \text{ N}$  dengan beban merata sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan Panjang  $L = 2000 \text{ mm}$  menghasilkan kuat lentur sebesar  $4409488,31 \text{ Nmm}$  dengan defleksi terhadap balok sebesar  $6,53 \text{ mm}$ .Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban  $P = 862,281$

Kg = 8459 N dengan berat sendiri balok sebesar 0,36 N/mm dan panjang 2000 mm kuat geser 4589,488 N dengan defleksi sebesar 6,53 mm. Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar 1962 N. Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah 0,083 dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah.

Dari hasil penelitian nilai beban lendutan pada balok tanpa sambungan dapat menerima beban maksimum sebesar 1090 Kg dengan lebar defleksi 9,19 mm, dan balok dengan sambungan  $\frac{1}{2}$  bentang nilai beban maksimum sebesar 900 Kg dengan defleksi 10.18 mm. Berdasarkan nilai beban kuat lentur yang terjadi pada balok tanpa sambungan dengan beban 1090 Kg mendapatkan nilai kuat lentur 6150119,297 Nmm, dan pada sambungan setengah bentang dengan beban 900 Kg mendapat nilai lentur 5903166,154 Nmm. Berdasarkan kuat geser pada balok tanpa sambungan dengan beban 1090 Kg mendapat nilai kuat geser 6330,119 N, dan pada balok sambungan  $\frac{1}{2}$  bentang dengan beban 900 Kg mendapatkan kuat geser 6083,116 N.

3. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh Mohhamad Saleh,dkk (2013, hal ;123) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Tiga Bentang Terhadap Kekuatan Balok Persegi, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan  $\frac{1}{6}$  bentang.



Dari hasil penelitian perbedaan nilai lendutan sebesar -21,9804% (B 1/3) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan logitudinal balok dengan jarak 1/3 bentang (B – 1/3) berpengaruh terhadap lendutan. Terjadi perbedaan nilai kuat lentur sebesar -22,5352% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan logitudinal balok dengan jarak 1/3 bentang (B1/3) berpengaruh terhadap kuat lentur. Terjadi perbedaan nilai kuat geser sebesar -21,8944% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan logitudinal balok dengan jarak 1/3 bentang (B1/3) berpengaruh terhadap kuat geser. Posisi retak awal yang terjadi terhadap BTS, terjadi ditengah atau retak awal diposisi pemberian beban terpusat, sedangkan B 1/3 retak awal lebih mendekati terhadap posisi sambungan. Jadi letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak 1/3 bentang (B 1/3) berpengaruh terhadap perilaku retak. Sehingga dalam pelaksanaan dilapangan, metode sambungan beton dan tulangan longitudinal dengan jarak 1/3 bentang (B 1/3) tidak disarankan untuk diterapkan, karena lendutan, kuat lentur dan kuat geser terlalu besar pengaruhnya terhadap kekuatan balok.

4. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh Lucky Cahya Permana, dkk (2013, hal; 127) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Empat Bentang Terhadap Kekuatan Balok Persegi, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh

retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan  $1/4$  bentang.

Dari hasil penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak seper dua bentang kekuatan balok dari hasil teoritis kekuatan lentur terbesar dengan beban  $P = 778,94706 \text{ Kg} = 7789,47 \text{ N}$  dengan beban merata sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan Panjang  $L = 2000 \text{ mm}$  menghasilkan kuat lentur sebesar  $4074735,30 \text{ Nmm}$  dengan defleksi terhadap balok sebesar  $5,92 \text{ mm}$ . Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban  $P = 778,971 \text{ Kg} = 7789,47 \text{ N}$  dengan berat sendiri balok sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan panjang  $2000 \text{ mm}$  kuat geser  $4254,74 \text{ N}$  dengan defleksi sebesar  $5,92 \text{ mm}$ . Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar  $2000 \text{ N}$ . Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah  $0,083$  dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah.

Dari hasil penelitian terjadinya perbedaan nilai lendutan balok sambungan  $1/4$  bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar  $14,45\%$ , hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap lendutan. Perbedaan nilai kuat lentur balok sambungan  $1/4$  bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar  $14,21\%$ , hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap kuat lentur. Perbedaan nilai kuat geser balok sambungan  $1/4$  bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar  $13,80\%$ , hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap

kuat geser. Dan posisi retak awal yang terjadi terhadap balok tanpa sambungan, terjadi ditengah bentang dengan lebar retak akhir  $\pm 3,5$  mm, sedangkan untuk balok sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang retak awal lebih mendekati pada posisi sambungan dengan lebar retak akhir  $\pm 3,64$  mm, jadi letak balok sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang sedikit berpengaruh terhadap perilaku retak.

5. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh Alhidayatulloh Febrianto S.P,dkk (2013, hal; 120) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Lima Bentang Terhadap Kekuatan Balok Persegi, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan  $\frac{1}{5}$  bentang.

Dari hasil penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak  $\frac{1}{5}$  bentang kekuatan balok dari hasil teoritis kekuatan lentur terbesar dengan beban  $P = 778 \text{ Kg} = 7632,2 \text{ N}$  dengan beban merata sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan Panjang  $L = 2000 \text{ mm}$  menghasilkan kuat lentur sebesar  $3996090 \text{ Nmm}$  dengan defleksi terhadap balok sebesar  $6,04 \text{ mm}$ . Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban  $P = 778 \text{ Kg} = 7632,2 \text{ N}$  dengan berat sendiri balok sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan panjang  $2000 \text{ mm}$  kuat geser  $4176,09 \text{ N}$  dengan defleksi sebesar  $6,04 \text{ mm}$ . Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar  $2000 \text{ N}$ .

Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah 0,083 dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah.

Dari hasil penelitian terjadinya perbedaan nilai lendutan balok sambungan 1/5 bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 8,81%, dimana untuk balok tanpa sambungan pada  $P_{max} = 1090$  kg terjadi lendutan sebesar = 9,19 mm. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada  $P_{max} = 1035$  kg terjadi lendutan sebesar = 8,83 mm. Hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak 1/5 bentang berpengaruh terhadap lendutan. Terjadinya perbedaan nilai kuat lentur balok sambungan 1/5 bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 8,74%, dimana untuk balok tanpa sambungan pada  $P_{max} = 1090$  kg terjadi kuat lentur sebesar = 6046095,44 Nmm. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada  $P_{max} = 1035$  kg terjadi kuat lentur sebesar = 5582803,29 Nmm. Hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak 1/5 bentang berpengaruh terhadap kuat lentur. Terjadinya perbedaan nilai kuat geser balok sambungan 1/5 bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 8,50%, dimana untuk balok tanpa sambungan pada  $P_{max} = 1090$  kg terjadi kuat geser sebesar = 6642,19 N. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada  $P_{max} = 1035$  kg terjadi kuat geser sebesar = 5990,61 N. Hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak 1/5 bentang berpengaruh terhadap kuat geser. Dan posisi retak awal yang terjadi terhadap balok tanpa sambungan, terjadi ditengah bentang dengan lebar retak akhir  $\pm 3,5$  mm, sedangkan untuk balok sambungan 1/5 bentang

retak awal lebih mendekati pada posisi sambungan dengan lebar retak akhir  $\pm$  2,5 mm, jadi letak balok sambungan 1/5 bentang sedikit berpengaruh terhadap perilaku retak.

6. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh M. Vianey M. Putra, dkk (2013, hal; 138) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Enam Bentang Terhadap Kekuatan Balok Persegi, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan 1/6 bentang.

Dari hasil penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak 1/6 bentang kekuatan balok dari hasil teoritis kekuatan lentur terbesar dengan beban  $P = 778,97 \text{ Kg} = 7789,7 \text{ N}$  dengan beban merata sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan Panjang  $L = 2000 \text{ mm}$  menghasilkan kuat lentur sebesar  $4074850 \text{ Nmm}$  dengan defleksi terhadap balok sebesar  $6,05 \text{ mm}$ . Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban  $P = 778,97 \text{ Kg} = 7789,7 \text{ N}$  dengan berat sendiri balok sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan panjang  $2000 \text{ mm}$  kuat geser  $4254,85 \text{ N}$  dengan defleksi sebesar  $6,05 \text{ mm}$ . Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar  $2500 \text{ N}$ . Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah  $0,083$  dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah.

Berdasarkan hasil penelitian persentasi perbandingan nilai lendutan ( ) rata – rata BTS dan B – 1/6 adalah maks  $8,81\%$ , dan runtuh  $-0,36\%$ . Sehingga

dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan  $1/6$  bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dari hasil penelitian persentasi perbandingan nilai kuat lentur ( $M$ ) rata – rata BTS dan B –  $1/6$  adalah  $M_{maks}$  8,74%, dan  $M_{runtuh}$  -0,56%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan  $1/6$  bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dari hasil penelitian persentasi perbandingan nilai kuat geser ( $V_c$ ) rata – rata BTS dan B –  $1/6$  adalah  $V_{cmaks}$  8,49%, dan  $V_{Cruntuh}$  -0,54%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan  $1/6$  bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dan perilaku retak akibat sambungan beton dan tulangan  $1/6$  bentang (B –  $1/6$ ) rata – rata tidak mengalami perbedaan dengan balok tanpa sambungan (BTS) rata – rata. Retak awal yang terjadi pada beban 2500 N dan posisi retak awal terjadi pada tengah balok atau pada pemberian beban terpusat, jadi dapat dikatakan bahwa B –  $1/6$  tidak berpengaruh terhadap perilaku retak, terlebih pada retak awal balok.

Adapun Perbedaan penelitian – penelitian di atas adalah Penelitian ini menggunakan sambungan tulangan memanjang balok dan tulangan geser sesuai persyaratan seperti pada umumnya pelaksanaan penyambungan tulangan balok yang dilaksanakan di lapangan, tanpa menggunakan sambungan pasak kayu atau pasak beton. Penelitian ini juga menempatkan

sambungan pada beberapa bagian sepanjang bentang balok yaitu  $1/5L$ ,  $1/4L$ ,  $1/3L$  dan  $1/2L$  dengan panjang penyaluran tulangan memanjang mengikuti SNI 03-2847-2002. Pada daerah penyambungan beton juga akan dipertimbangkan menggunakan perekat beton seperti bondcrete atau adibond, yang penggunaannya akan dilakukan jika hasil yang didapat dari balok dengan penyambungan tulangan tanpa perekat beton berbeda jauh terhadap hasil analisis teoritis.

## **2.2 Pengekangan Pada Beton**

Pengekangan pada beton perlu dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 agar elemen struktur balok tidak mengalami kegagalan akibat geser. Keruntuhan beton akibat beban tekan biasanya ditandai oleh adanya penambahan volume yang tidak terkontrol. Dengan adanya mekanisme pembatasan gerakan yang bekerja pada beton, proses keruntuhan yang terjadi dapat diperlambat/dikontrol. Tulangan transversal sangat berperan dalam mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada balok, dan mencegah *premature buckling* tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas penampang balok beton bertulang. Semakin besar beban yang bekerja terhadap balok, semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan agar struktur balok tersebut lebih kuat dan daktil.

Beton dapat dikekang dengan tulangan sengkang yang berbentuk sengkang tunggal biasa (*hoop*), sengkang pengikat silang (*crossies*) atau sengkang tumpuk

(*overlapping hoops*). Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada sudut-sudut sengkang. Sedangkan tekanan pada sisi sengkang cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar. Sengkang persegi juga memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada beton, untuk itulah telah diadakan berbagai modifikasi bentuk sengkang persegi dengan berbagai macam pola pengekangan.

### **2.3 Metode Perencanaan**

Metode-metode yang dikembangkan didalam kaitannya untuk perencanaan elemen-elemen struktur beton bertulang meliputi (1) Metode elastis, (2) Metode kekuatan batas (ultimit). Sebelumnya peraturan beton yang dipakai menggunakan salah satu metode yang dikenal dengan metode elastis atau dikenal pula dengan cara “n” yang dituangkan didalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI’71). Didalam perhitungan dengan metode elastis dibuat anggapan (1) Bidang penampang rata saat sebelum terjadi lentur akan tetap rata setelah mengalami lentur sehingga dihasilkan distribusi regangan yang linier, (2) Baik bahan baja maupun beton diberlakukan hukum Hooke dimana nilai tegangan sebanding linier dengan regangan, (3) Bahan beton tidak diperhitungkan menahan gaya tarik sehingga beban tarik sepenuhnya dipikul oleh tulangan tarik baja, (4) Batang tulangan baja terlekat sempurna dengan beton sehingga tidak terjadi penggelinciran.

Setelah itu dikembangkan metode kekuatan batas (Metode Ultimate) dengan anggapan (1) Bidang penampang rata sebelum terjadinya lentur tetap rata setelah terjadinya lentur dan tetap berkedudukan tegak lurus pada sumbu bujur balok, oleh



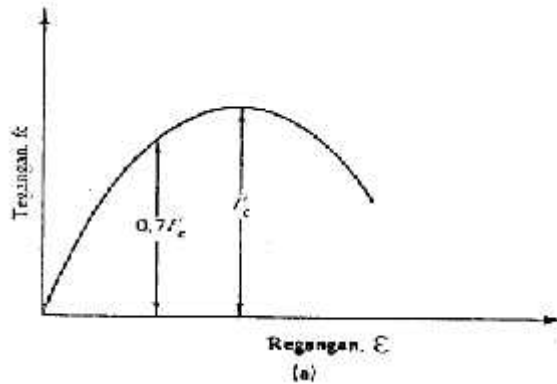
karena itu nilai regangan dalam penampang komponen struktur terdistribusi linier atau sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral, (2) tegangan sebanding dengan regangan pada kondisi tegangan beton tekan  $1/2f_c'$ , apabila beban terus meningkat tegangan yang terjadi tidak linier dengan regangan, (3) dalam perhitungan kapasitas momen ultimate kuat tarik beton diabaikan dan seluruh gaya tarik dibebankan seluruhnya kepada tulangan tarik.

#### **2.4 Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan**

Kekuatan tekan dari campuran percobaan yang dirancang bukanlah kekuatan yang dispesifikasikan oleh perencana. Melainkan kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Campuran ini harus berkekuatan lebih untuk menjamin bahwa kekuatan struktur aktualnya adalah beton yang mempunyai kekuatan tekan minimum yang dispesifikasikan. Lebihnya kekuatan campuran ini bergantung pada control kualitas yang ada (Nawy, hal; 44).

Dalam kaitan terhadap metode perencanaan sebenarnya adalah berkaitan dengan asumsi-asumsi yang dipergunakan sesuai dengan pembahasan diatas. Untuk bahan beton perhatian sebenarnya terutama dipusatkan kepada persoalan bagaimanakah perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntir atau merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut tergantung pada hubungan tegangan regangan yang terjadi di dalam beton. Hubungan tegangan – regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan – persamaan analisis dan desain juga

prosedur – prosedur pada struktur beton. Gambar 2.2 memperlihatkan kurva tegangan – tegangan.



**Gambar 2.2.** Diagram tegangan regangan beton

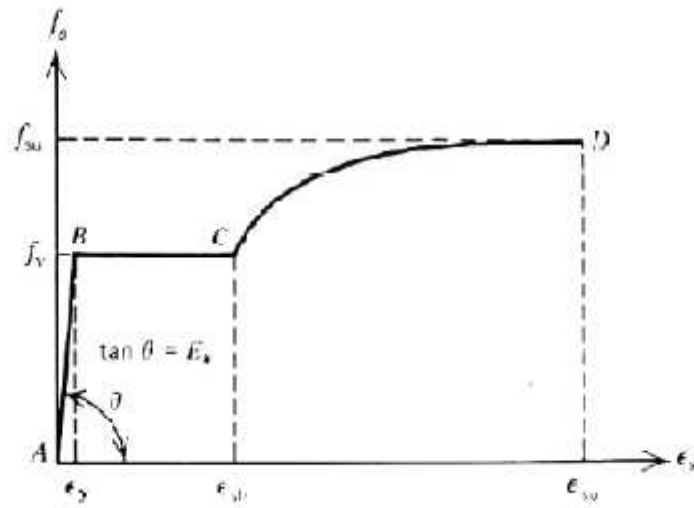
Kekuatan beton didalam tarik adalah juga sutau sifat yang penting yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak didalam struktur. Tetapi karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, dan hubungan tegangan regangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan.

Karena sifat dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat yang lain (misalnya: kuat tarik, modulus elastisitas beton) dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan di Indonesia (PBI -1971, diperbaiki dengan SK SNI T – 15 – 1991 – 03 dan SNI 03 – 2847 – 2002) kuat tekan beton diberi notasi dengan  $f'_c$  dengan satuan  $N/mm^2$  (MPa), yaitu kuat tekan silinder beton yang diisyaratkan pada waktu umur 28 hari. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar

antara nilai 10-65 MPa. Untuk Struktur Beton Bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang dipergunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar 30-45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dengan pengawasan cukup ketat di laboratorium.

## **2.5 Baja Tulangan**

Menurut SNI 03 – 2847 – 2002, tulangan yang dapat digunakan pada elemen beton bertulang dibatasi hanya pada baja tulangan dan kawat baja saja. Belum ada peraturan yang mengatur penggunaan tulangan lain, selain dari baja tulangan atau kawat baja tersebut. Dalam kaitan dengan struktur beton bertulang maka sifat fisik baja tulangan yang paling penting digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh ( $f_y$ ) dan Modulus Elastisitas ( $E_s$ ). Suatu hubungan tegangan regangan baja tulangan dapat dilihat pada gambar 2.3. Tegangan Leleh dalam hal ini didefinisikan sebagai tegangan baja pada saat dimana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

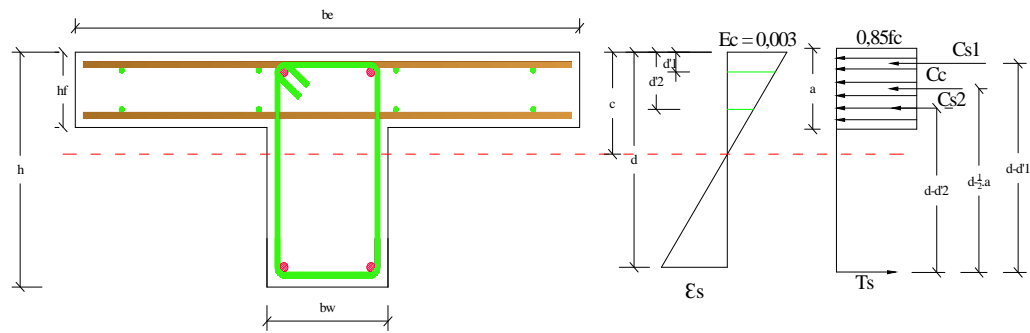


*Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan.*

## 2.6 Prinsip-Prinsip Perencanaan

1. Pada dasarnya di dalam perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi ketentuan yang tertera di dalam SNI 03-2847-2002 pasal 20.7

Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas tegangan dan regangan dengan menggunakan rumus SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.4



**Gambar 2.4.** Diagram tegangan regangan balok

2. Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang ditentukan  $f_y$  pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas asumsi 0,003
3. Untuk komponen struktur lentur, dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana  $\phi P_n$  kurang dari nilai yang terkecil antara  $0,1 \cdot f_c' \cdot A_g$  dan  $P_b$  rasio tulangan yang ada tidak boleh melampaui  $0,75 \cdot b$  yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian  $b$  yang disamakan dengan tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan factor 0,75
4. Peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan. Sebelum dilakukan penulangan terhadap elemen-elemen struktur tentunya

harus dilakukan analisa gaya dalam baik gaya momen ( $M$ ), gaya lintang/geser ( $D$ ) maupun gaya Torsi ( $T$ ). Penulangan dilakukan berdasarkan gaya dalam maksimum yang dihasilkan dari analisa gaya dalam. Untuk menghasilkan gaya dalam yang maksimum sesuai yang diinginkan maka perlu dibuat kombinasi pembebanan sesuai dengan fungsi struktur, lokasi dan perilaku beban yang kemungkinan akan terjadi terhadap struktur yang dianalisa. Besar factor beban yang diberikan untuk masing – masing beban yang bekerja ada suatu penampang struktur akan berbeda – beda, tergantung dari jenis kombinasi beban yang bersangkutan. Menurut pasal 11.2 SNI 03 – 2847 – 2002, agar supaya struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam – macam kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari kombinasi – kombinasi beban terfaktor sebagai berikut :

- 1) Jika struktur atau komponen struktur hanya menahan beban mati  $D$  saja, maka dirumuskan :

$$U = 1,4 D \quad (2.1)$$

Kuat perlu  $U$  untuk menahan beban mati  $D$ , beban hidup  $L$ , dan juga beban atap  $A$  atau beban hujan  $R$ , paling tidak harus sama dengan

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.1a)$$

- 2) Bila ketahanan struktur terhadap beban angin  $W$  harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$  berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai  $U$  yang terbesar, yaitu:1)

2)

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (2.2)$$

Kombinasi beban juga harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup  $L$  yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, yaitu:<sup>1)</sup>

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \quad (2.2a)$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$ , kuat perlu  $U$  tidak boleh kurang dari persamaan 5.

- 3) Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa  $E$  harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu  $U$  harus diambil sebagai:<sup>2)</sup>

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \text{ atau} \quad (2.3)$$

*atau*

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \quad (2.3a)$$

dalam hal ini nilai  $E$  ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI 03-1726-1989-F, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung*, atau penggantinya.

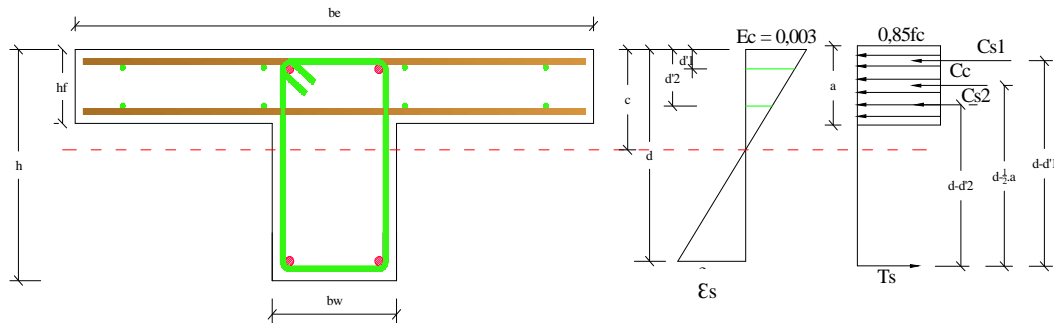
Kondisi perencanaan sendiri dibagi atas beberapa bagian :

- a. **Kondisi balanced** ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ ,  $A_s = A_{sb}$ ,  $\rho = \rho_b$ ,  $f_s = f_y$ ,  $\epsilon_{cu} = 0,003$ )

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu  $\epsilon_y = f_y/E_s$ .

Apabila akan dilakukan perencanaan struktur dengan kondisi balanced mempunyai pengertian bahwa tegangan baja yang terjadi sama dengan tegangan lelehnya atau dengan kata lain baja tarik (tulangan tarik) tepat mencapai tegangan leleh. Untuk menjadikan kondisi tersebut maka penulangan terpasang ( pada struktur rencana sedemikian rupa direncanakan sama dengan balanced dengan  $x$  rencana juga sebesar  $x$  balanced. Dengan kata lain juga bisa disampaikan bahwa struktur yang direncanakan dalam kondisi balanced akan menjadikan lelehnya tulangan tarik bersamaan dengan hancurnya beton.

$$x_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{200.000}} \cdot (d) = \frac{600}{600 + f_y} (d) \quad (2.4)$$



**Gambar 2.5.** Diagram tegangan regangan pada kondisi balanced

$$\Leftrightarrow \frac{v_s}{(d - x_b)} = \frac{0,003}{x_b} \quad (2.4a)$$

$$\Leftrightarrow v_s = 0,003 \frac{(d - x_b)}{x_b} \quad (2.4b)$$

$$\Leftrightarrow f_s = 600 \frac{(d - x_b)}{x_b} \quad (2.4c)$$



$$\Leftrightarrow \frac{v_y}{0,003} = \frac{(d - xb)}{xb} \quad (2.4d)$$

$$\Leftrightarrow v_y = 0,003 \cdot \left( \frac{d}{xb} - 1 \right) \quad (2.4e)$$

$$\Leftrightarrow \frac{0,003d}{xb} = v_y + 0,003 \quad (2.4f)$$

$$\Leftrightarrow xb = \frac{0,003d}{v_y + 0,003} \cdot \frac{Es}{Es} \quad (2.4g)$$

$$\Leftrightarrow xb = \frac{600}{f_y + 600} \cdot d \quad (2.4h)$$

$$\Leftrightarrow ab = S_1 \cdot xb \quad (2.4i)$$

$$\Leftrightarrow ab = S_1 \cdot \left\{ \frac{600}{600 + f_y} d \right\} \quad (2.4j)$$

$$\Leftrightarrow 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot ab = \dots \cdot b \cdot d \cdot f_y \quad (2.4k)$$

$$\Leftrightarrow b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot S_1}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.4l)$$

dengan ketentuan :

$$S_1 = 0,85 \quad f_c' \leq 30 \text{Mpa}$$

$$S_1 = 0,85 - \frac{0,005}{7} \cdot (f_c' - 30) \quad f_c' > 30 \text{ Mpa}$$

b. **Kondisi Under Reinforced** ( $f_s > f_y$ ,  $A_s < A_{sb}$ ,  $f_s = f_y$ ,  $c_u = 0,003$ )

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik. Tulangan ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan ( $s$ ) diatas regangan leleh ( $y$ ).

Untuk perencanaan pada kondisi undereinforced sedemikian rupa dibuat rencana lebih kecil dari balanced, dengan pasang lebih kecil dari balanced sehingga jumlah tulangan relatif sedikit sehingga tulangan akan meleleh sebelum beton hancur, yang menghasilkan suatu ragam keruntuhan daktail (ductile) dengan deormasi besar.

c. ***Kondisi Over Reinforced*** ( $f_s < f_y$ ,  $A_s > A_{sb}$ ,  $f_s = f_y$ ,  $c_u = 0,003$ )

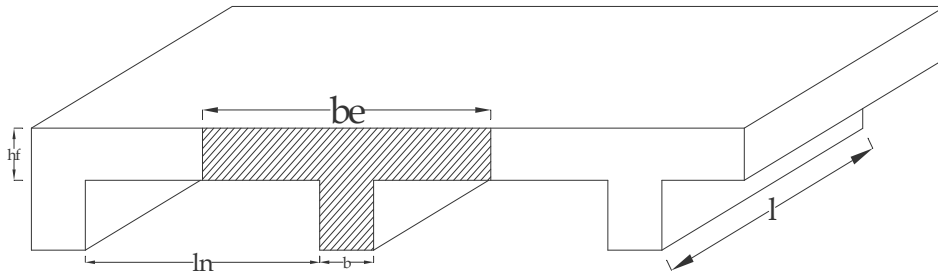
Kehancuran ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja ( $s$ ) yang terjadi masih lebih kecil dari pada regangan lelehnya ( $y$ )

Pada kondisi ini tulangan terpasang relatif banyak yang akan menyebabkan tulangan untuk tetap berada pada kondisi elastis pada saat terjadinya kehancuran beton, yang menghasilkan ragam keruntuhan getas (brittle).

## **2.7 Perencanaan Balok-T**

Balok yang dicor menjadi satu kesatuan monolit dengan pelat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa pelat dan balok terjadi interaksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Interaksi antara pelat dan balok

tersebut membentuk huruf-T sehingga disebut balok-T. Pelat akan berlaku sebagai sayap (*flens*) dan balok akan berlaku sebagai badan (*web*).



**Gambar 2.6.** Penampang Balok-T

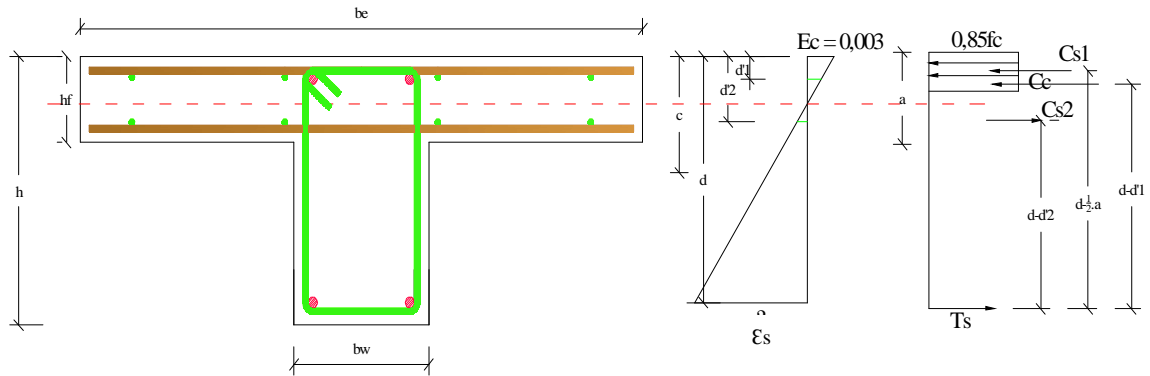
Bedasarkan SNI 03-2847-2002 Pasal 10.10 memberikan batasan lebar pelat efektif ( $b_{eff}$ ) balok-T seperti pada *gambar 2.6* adalah sebagai berikut:

1. Lebar pelat efektif sebagai bagian dari sayap balok-T adalah:
  - $b_{eff} = \frac{1}{4}$  bentang balok ( $\frac{1}{4} L$ )
  - $b_{eff} = b_w + 8hf_{kiri} + 8hf_{kanan}$
  - $b_{eff} = b_w + \frac{1}{2}Ln_{kiri} + \frac{1}{2}Ln_{kanan}$ .
  
2. Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap adalah:
  - $b_{eff} = b_w + \frac{1}{12}L$
  - $b_{eff} = b_w + 6hf$
  - $b_{eff} = b_w + \frac{1}{2}Ln$ .

Dalam merencanakan balok-T, pada langkah awal disarankan untuk menentukan apakah balok tersebut berperilaku sebagai balok-T persegi atau balok-T murni. Apabila  $M_R > M_U$  ( $a < hf$ ), maka balok akan berperilaku sebagai balok-T

persegi dengan lebar  $b$ , dan apabila  $M_R < M_U$  ( $a > hf$ ), maka balok berperilaku sebagai balok-T murni.

### 2.7.1 Balok-T Persegi



**Gambar 2.7.** Balok-T dengan  $a < hf$

$M_R > M_u \Rightarrow$  berperilaku sebagai Balok – T Persegi

Dengan demikian analisis momen kapasitas sesuai dengan gambar 2.7 dapat dijelaskan sebagai berikut:

Rasio penulangan adalah berkisar antara harga di bawah ini:

$$\frac{1,4}{f_y} < \dots < 0,75 \dots_b \quad (2.5)$$

Gaya tarik T pada keadaan batas dihitung berdasarkan persamaan berikut;

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y \quad (2.6)$$

$$T_2 = A_{s2} \cdot f_y \quad (2.6a)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (2.6b)$$

Gaya D harus seimbang dengan gaya T sehingga:

$$D_1 = 0,85.f'c.a.b_e \quad (2.7)$$

$$D_2 = A_s'.fy \quad (2.7a)$$

$$0,85.f'c.a.b_e + A_s'.fy = A_s.fy \quad (2.7b)$$

$$a = \frac{(a_s - A_s').fy}{0,85.f'c.b_e} = \frac{A_s.fy}{0,85.f'c.b_e} \quad (2.7c)$$

$$a = \frac{...b_e.d.fy}{0,85.f'c.b_e} = \frac{...d.fy}{0,85.f'c} \quad \check{S} = \frac{...fy}{f'c} \quad ... = \frac{\check{S}.f'c}{fy} \quad (2.7d)$$

$$a = S \frac{d}{0,85} \quad (2.7e)$$

$$k = f'c. (1 - 0,59 ) \quad (2.7f)$$

Menghitung  $k_{\text{perlu}}$ ,  $k = \frac{M_u}{w.b.d^2}$ , dan  $k$  koefisien tahanan. Setelah nilai  $k$  diketahui maka

dapat dicari nilai  $\check{S}$  yang kemudian dapat menentukan nilai  $a$ .

Penentuan rasio penulangan ( $R_n$ ):

$$R_n = \frac{M_n}{b_e.d^2} \quad (2.8)$$

$$m = \frac{fy}{0,85.f'c} \quad (2.9)$$

$$\check{S} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{fy}} \right) \quad (2.10)$$

Penentuan luas tulangan:

$$A_s = \check{S}.b.d \quad (2.11)$$

Kontrol :

$$\min = \frac{1,4}{fy} \quad (2.12)$$

$$\text{aktual} = \frac{As_{ada}}{b_w \cdot d} \quad (2.13)$$

Syarat:  $\text{aktual}$  harus lebih besar dari  $\min$

Momen kapasitas dalam nominal dapat ditentukan:

$$Mn_1 = As_1 \cdot fy \cdot (d - 0,5a) \quad (2.13)$$

$$Mn_2 = As_2 \cdot fy \cdot (d - d') \quad (2.13a)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 \quad (2.13b)$$

Momen kapasitas  $M_R$  adalah:

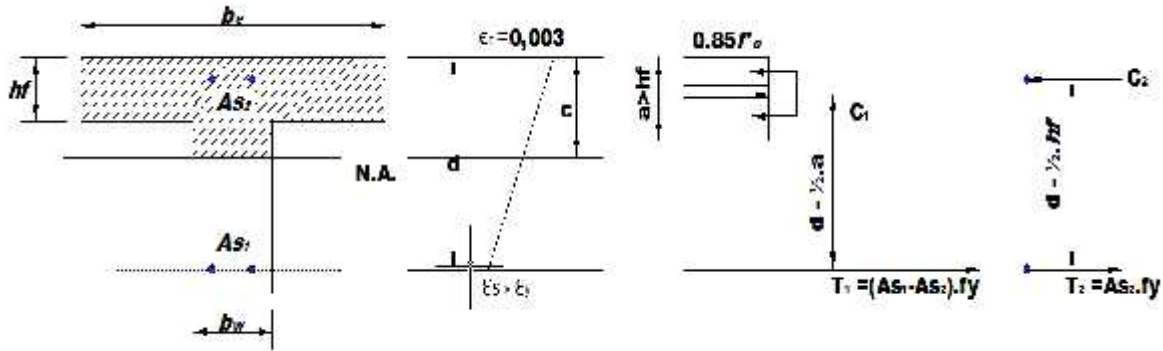
$$M_R = \phi Mn \quad (2.14)$$

Periksa Persyaratan Daktilitas:

$$As_{(maks)} = 0,0319 \cdot hf \left\{ b + b_w \left( \frac{0,150 \cdot d}{hf} - 1 \right) \right\} \quad (2.15)$$

$$As_{(maks)} > As_{(perlu)}$$

## 2.7.2 Balok-T Murni



**Gambar 2.8.** Balok-T Murni dengan  $a > hf$

$M_R < M_u \Rightarrow$  berperilaku sebagai Balok – T Murni

Analisis momen kapasitas total dapat dijelaskan berdasarkan gambar 11 adalah sebagai berikut:<sup>1</sup>

$$\text{Sayap: } D_1 = 0,85 \cdot f'_c \cdot t \cdot (b_e - b_w) \quad (2.16)$$

$$T_1 = As_1 \cdot fy$$

$$\text{dengan } D_1 = T_1$$

$$\text{Maka: } As_1 \cdot fy = 0,85 \cdot f'_c \cdot hf \cdot (b_e - b_w) \quad (2.16a)$$

$$As_1 = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot hf \cdot (b_e - b_w)}{fy}$$

$$Mn_1 = T_1 \cdot Z_1 = As_1 \cdot fy \cdot (d - 0,5 a) \quad (2.16b)$$

$$\text{Badan: } D_2 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot bw \quad (2.16c)$$

$$T_2 = As_2 \cdot fy$$

$$Mn_2 = T_2 \cdot Z_2 = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - 0,5 a) \quad (2.16d)$$

Tulangan:  $D_3 = A_{s'} \cdot f_y \quad (2.16e)$

$$T_3 = A_{s3} \cdot f_y$$

$$Mn_3 = T_3 \cdot Z_3 = A_{s3} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.16f)$$

Dari persamaan (2.16 - 2.16f) maka didapat rumus  $M_n$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 + Mn_3 \quad (2.16g)$$

Maka:  $M_R = w Mn \quad (2.16h)$

Dengan menganggap seluruh flens tertekan maka, letak batas tepi bawah blok tekan di daerah badan di bawah flens.

$$N_T - N_D = (0,85 f_c') b_w (a - t) \quad (2.17)$$

$$a = \frac{N_T - N_D}{(0,85 \cdot f_c')} + t \quad (2.17a)$$

*dimana:*

$N_T$  = gaya tarik total dimana tulangan baja tarik dianggap telah meleleh

$$= A_s \cdot f_y$$

$N_D$  = gaya tekan yang ada di mana seluruh flens dianggap sebagai daerah tekan

$$= 0,85 \cdot f_c' \cdot c \cdot t + A_s' \cdot f_y$$

$b_w$  = lebar badan

$t$  = tebal pelat

Periksa :

$$\min = \frac{1,4}{f_y}$$



$$\text{aktual} = \frac{A_s}{b_w \cdot d}$$

aktual harus lebih besar dari min

Letak titik pusat daerah tekan total:

$$Y = \frac{\Sigma(Ay)}{\Sigma A}$$

dimana:

Y = letak titik pusat daerah tekan (mm)

A = luas daerah tekan (mm<sup>2</sup>)

Perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam:

$$Z = d - \frac{1}{2} t = d - y$$

dimana:

d = kedalaman efektif (mm)

Periksa Persyaratan Daktilitas:

$$A_{s(\text{maks})} = 0,0319 \cdot t \left\{ b + b_w \left( \frac{0,150 \cdot d}{t} \right) - 1 \right\} \quad (2.18)$$

A<sub>s(maks)</sub> harus lebih besar dari A<sub>s(perlu)</sub>.

$$A_{s(\text{perlu})} = \frac{M_u}{W \cdot f_y \cdot z} \quad (2.19)$$

dimana: M<sub>u</sub> = momen ultimit

z = perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam

w = faktor reduksi kekuatan

## 2.8 Perencanaan Balok Terhadap Geser

Komponen struktur yang mengalami lentur akan mengalami juga kehancuran geser, selain kehancuran tarik atau tekan. Sehingga dalam perencanaan struktur yang mengalami lentur selain direncanakan tulangan lentur, juga harus direncanakan tulangan geser.

Kuat geser pada struktur yang mengalami lentur harus didasarkan pada SNI 03-2847-2002 :

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2.20)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.20a)$$

*dimana:*  $V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_c$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada penampang yang ditinjau

$V_s$  = Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan pada penampang yang ditinjau

$V_n$  = Kuat geser nominal pada penampang yang ditinjau

Dalam perencanaan tulangan geser di dalam daerah sendi plastis, kuat geser yang disumbangkan oleh beton,  $V_c = 0$  dianggap tidak menyumbangkan kuat geser sama sekali. Jadi seluruh gaya geser ditahan oleh tulangan geser saja. Sedangkan di luar daerah sendi plastis,  $V_c$  yang bekerja sebesar:  $V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$

Untuk gaya geser yang dipakai dalam perhitungan tulangan geser daerah sendi plastis ini adalah gaya geser sejauh  $d$ ,  $V_{u(d)}$ . Sedangkan di daerah diluar sendi plastis adalah gaya geser sejauh  $2h$ ,  $V_{u(2h)}$ .

- $V_{s \text{ perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c \rightarrow \phi$  adalah faktor reduksi untuk geser = 0,6
- $S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s \text{ perlu}}}$

Pada daerah sendi plastis, jarak antar tulangan geser tidak boleh lebih dari

- $d/4$
  - 8 x diameter tulangan tarik
  - 24 x diameter tulangan sengkang
  - $\frac{1600 \cdot f_{y \text{ tul. sengkang}} \cdot A_{s \text{ sengkang}}}{A_{s \text{ tul. tarik}} \cdot f_{y \text{ tul. tarik}}}$
- } pilih yang terkecil

Sedangkan pada daerah di luar sendi plastis jarak antar tulangan geser tidak boleh lebih dari:

- $d/2$
  - 600 mm
- } pilih yang terkecil

- $V_{s \text{ pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \text{ sengkang} \cdot d}{S_{\text{pakai}}} \quad (22)$

- $V_{s \max} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$  ( 23 )

- $V_n = V_c + V_s$

Jika terjadi  $V_u > \phi \cdot V_c$  maka hanya perlu dipasang tulangan geser minimum dengan

jarak maksimum adalah :  $s_{maks} = \frac{Av \cdot 3 \cdot fy}{b}$

## 2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak

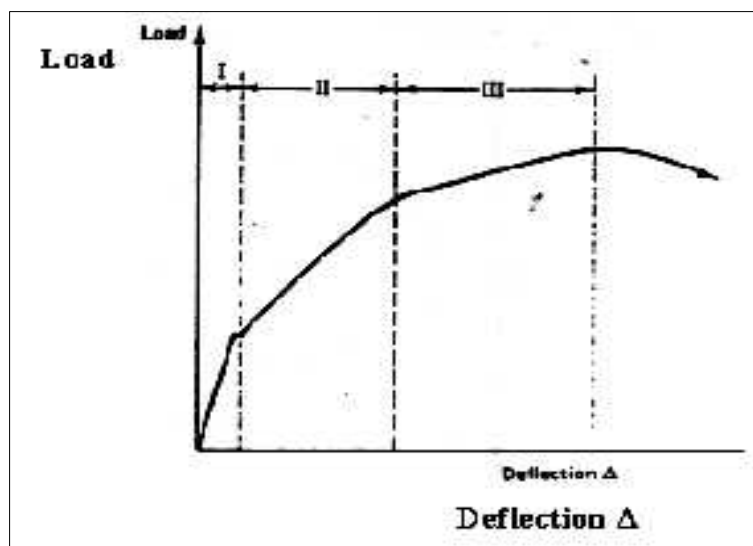
Nawy ( 2010:292 ) hubungan beban-lendutan beton bertulang pada dasarnya diidealisasikan menjadi bentuk trilinier seperti yang dilihat pada gambar 8.1.

hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum menjadi *rupture*.

Daerah I : taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak ( gambar 8.3)

Daerah II : Taraf paska retak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III : Taraf paska-serviceability, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya.



**Gambar 2.9** Hubungan beban defleksi pada balok. Daerah I, taraf praretak; daerah II, taraf pascaretak; daerah III, taraf pasca-serviceability ( tulangan baja meleleh ).

Harga modulus untuk beton bobot-normal sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 11.5.2.3 dapat diambil sebesar

$$f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \quad (2.21)$$

dimana :  $f_r$  = Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)

Jika jarak serat tarik terluar dari pusat gravitasi penampang adalah  $y_t$  dan momen retak adalah  $M_{cr}$ ,

$$M_{cr} = \frac{I_g f_r}{y_t} \quad (2.22)$$

Dimana ;  $f_r$  = Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)

$I_g$  = Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu, dengan pengabaikan tulangan ( $\text{mm}^4$ )

$Y_t$  = Tarak dari pusat penampang bruto dengan mengabaikan keberadaan tulangan, keserat tarik terluar (mm)

Untuk suatu penampang persegi

$$y_t = \frac{h}{2} \quad (2.23)$$

Dimana :  $Y_t$  = Tarak dari pusat penampang bruto dengan mengabaikan keberadaan tulangan, keserat tarik terluar (mm)

$h$  = Tinggi balok (mm)

Untuk menghitung momen inersia, harga kedalaman sumbu netral, harus ditentukan dari keseimbangan gaya horizontal (Nawy, 2010 ; 261)

$$A_s f_s = bc \frac{f_c}{2} \quad (2.24)$$

Karena tegangan baja  $f_s = E_s \epsilon_s$  dan tegangan beton  $f_c = E_c \epsilon_c$  maka ;

$$A_s E_s \epsilon_s = \frac{bc}{2} E_s \epsilon_c \quad (2.24a)$$

$$\frac{E_c}{c} = \frac{E_s}{d - c} \quad (2.24b)$$

atau

$$\epsilon_s = \epsilon_c \left( \frac{d}{c} - 1 \right) \quad (2.24c)$$

Dari Pers. 8.24a dan 2.24c maka didapatkan didapatkan rumus sbb;

$$A_s E_s \epsilon_c \left( \frac{d}{c} - 1 \right) = \frac{bc}{2} E_s \epsilon_c \quad (2.24d)$$

atau

$$\frac{AsEs}{Ec} \left[ \frac{d}{c} - 1 \right] = \frac{bc}{2} \quad (2.24e)$$

Dengan menggantikan rasio modular  $E_s/E_c$  dengan  $n$ , Pers. 2.24f dapat ditulis-ulang sebagai berikut (Nawy, 2010 ; 298) :

$$\frac{bc^2}{2} = nA_s c - nA_s d = 0 \quad (2.24f)$$

Harga  $c$  dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan kuadrat, 2.24f. Momen inersia retak  $I_{cr}$  dapat diperoleh dari

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + nA_s(d-c)^2 \quad (2.25)$$

Persamaan Barnson, terbukti dapat diterapkan pada sebagian besar kasus-kasus balok-balok bertulang dan prategang dan secara universal diadopsi untuk perhitungan-perhitungan defleksi, dengan menetapkan momen inersia efektif sebagai

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad (2.26)$$

Persamaan 2.26 juga ditulis dalam bentuk

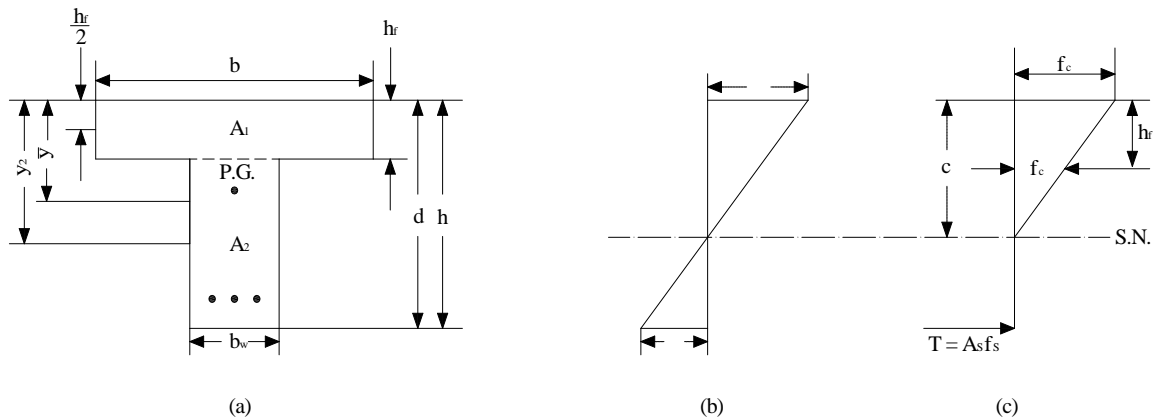
$$I_e = I_{cr} + \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \quad (2.26a)$$

## 2.10 Defleksi Balok T

Penampang – penampang tak – persegi yang paling umum adalah balok – balok T dan L berflens. Prinsip – prinsip yang sama yang dipergunakan untuk perhitungan – perhitungan defleksi penampang – penampang persegi dapat diterapkan pada penampang – penampang tak – persegi. Kontribusi gaya penahan tekan dapat

diperoleh menggunakan luasan beton yang sesuai, seperti yang dijelaskan dibawah ini. (Nawy, 2010 ; 275)

Seperti dalam kasus balok – balok persegi, kontribusi baja pada momen inersia penampang yang tak – retak tidaklah diperhitungkan. Irisan penampang balok dalam gambar 2.10a dibagi menjadi dua luasan untuk tujuan perhitungan  $I_g$  .



**Gambar 2.10** Distribusi tegangan dan regangan melintasi kedalaman penampang berflens : (a) geometri ; (b) regangan ; (c) tegangan

$$\text{Kedalaman pusat gravitasi} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} \quad (2.27)$$

$$y_t = h - \quad (2.27a)$$

Momen inersia gros,  $I_g$ , untuk kedua persegi adalah

$$I_g = \frac{bh^3 f}{12} + bh_f + \left[ \bar{y} - \frac{hf}{2} \right]^2 + \frac{bw(h-h_f)^3}{12} + b_w(h-h_f) \left[ y_t - \frac{h-h_f}{2} \right]^2 \quad (2.28)$$



Untuk penampang retak, kedalaman sumbu netral  $c$  dihitung dari kesetimbangan gaya horizontal, seperti dalam gambar 2.10b dan c. Jika kedalaman sumbu netral jatuh didalam ketebalan flens, balok tersebut berperilaku sebagai suatu penampang persegi yang mempunyai sebuah lebar flens  $b$  dan sebuah kedalaman efektif  $d$ .

Bila kedalaman sumbu netral  $c$  jatuh dibawah ketebalan flens  $h_f$ , luasan beton yang sesuai didalam flens dan web penampang dan tegangan – tegangan yang berkaitan diterapkan dalam perhitungan gay tekan. Tegangan rata – rata dalam luasan flens  $bh_f$  akan menjadi  $(f_c + f_{c1})/2$ , dimana  $f_{c1}$  adalah tegangan pada sisi terbawah flens. Dengan menggunakan segitiga – segitiga yang serupa menghasilkan

$$f_{c1} = f_c \frac{c - h_f}{c} \quad (2.29)$$

Tegangan tekan rata – rata untuk luasan web,  $b_w(c - h_f)$ , akan menjadi  $f_{c1}/2$  berdasarkan pada distribusi segitiga tegangan. Karena itu persamaan kesetimbangan gaya dapat ditulis

$$A_s f_s = bh_f \frac{f_c + f_{c1}}{2} + b_w(c - h_f) \frac{f_{c1}}{2} \quad (2.30)$$

Dengan menggunakan pers.2.29 dan 2.30

$$2A_s E_s f_s = bh_f E_c f_c \left[ 1 + \frac{c - h_f}{c} \right] + b_w(c - h_f) E_c \frac{c - h_f}{c} \quad (2.30a)$$

Dengan menggunakan persamaan 2.30a berhubungan dengan  $c$  dan menggunakan rasio modular  $n$  memberikan kita

$$2nA_s \frac{d - c}{c} = bh_f \frac{2c - h_f}{c} + b_w(c - h_f) \frac{c - h_f}{c} \quad (2.30b)$$

Atau

$$b_w(c - h_f)^2 - 2nA_s(d - c) + bh_f(2c - h_f) = 0 \quad (2.30c)$$

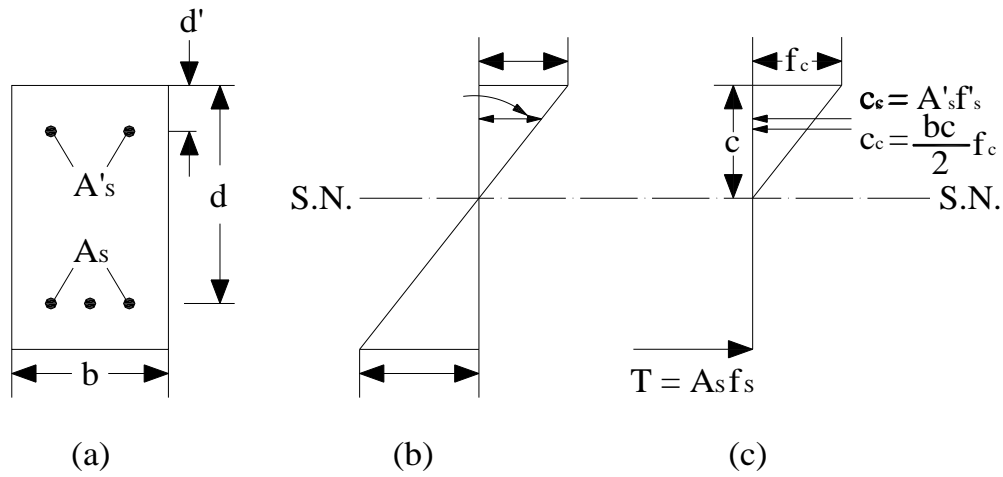
Persamaan kuadrat 2.30c harus diselesaikan untuk mendapatkan  $c$ . Sesudah  $c$  diketahui, momen inersia  $I_{cr}$  penampang retak dapat dihitung menggunakan perumusan berikut :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b_w(c - c_f)^3 + \frac{1}{12} bh_f^3 + bh_f \left[ \frac{c - h_f}{2} \right]^2 + nA_s(d - c)^2 \quad (2.31)$$

Momen inersia efektif  $I_e$  dan defleksi dapat dihitung seperti dalam kasus penampang – penampang persegi menggunakan pers. 2.30 dan 2.30a. dalam kasus penampang – penampang L, perumusan – perumusan untuk  $I_{cr}$  seperti yang dari pers.2.31 dapat dikembangkan dalam sebuah cara yang serupa seperti untuk penampang – penampang T (Nawy, 2010 ; 277)

## 2.11 Defleksi Balok Yang Bertulangan Tekan

Balok yang mempunyai tulangan tekan dapat diperlakukan dengan cara serupa dengan balok bertulangan tunggal, kecuali dalam hal adanya kontribusi tulangan tekan terhadap kekakuan balok. Untuk momen inersia penampang yang tak-retak,  $I_g$  dapat dipergunakan dengan akurat yang cukup. Kontribusi baja tekan  $A_s'$  pada momen inersia retak  $I_{cr}$  haruslah disertakan. Juga, Persamaan 2.24f harus dimodifikasi untuk menghitung kedalaman sumbu-netral  $c$  balok. Jika gaya tekan  $A_s'f_s'$  baja ditambahkan pada gaya tekan beton, maka Pers. 2.24 seperti yang diperlihatkan pada **gambar 2.11** adalah :



**Gambar 2.11.** Distribusi tegangan dan regangan pada saat beban layan dalam balok persegi bertulangan ganda : (a) geometri; (b) regangan; (c) tegangan.

$$A_s f_s = bc \frac{f_c}{2} - A'_s f_c \frac{c-d'}{c} + A_s' f_s' \quad (2.32)$$

dimana  $d'$  adalah selimut beton efektif tulangan tekan.

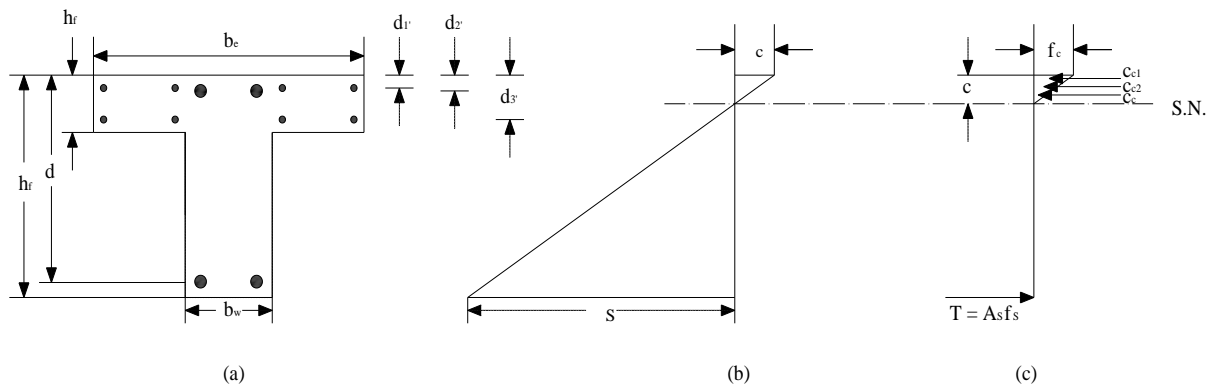
Seperti dalam kasus balok-balok beton bertulang tunggal (Pers. 2.24d sampai 2.29e), Pers. 2.32 dapat ditulis dalam bentuk;

$$\frac{bc^2}{2} + [nA_s + (n-1)A'_s]c - nA_s d - (n-1)A'_s d' = 0 \quad (2.32a)$$

Momen inersia  $I_{cr}$  penampang retak oleh karena itu dapat dirumuskan sebagai;

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + nA_s (d - c)^2 + (n-1)A'_s (c - d')^2 \quad (2.33)$$

## Kondisi penampang berbentuk balok T



**Gambar 2.12.** Distribusi tegangan dan regangan pada saat beban layan dalam balok

*T bertulangan ganda : (a) geometri; (b) regangan; (c) tegangan*

Untuk mencari nilai  $c$  maka rumus dapat di tulis.

$$\begin{aligned}
 & be \cdot c \frac{f_c}{2} - A_{s1}' \cdot f_c \left[ \frac{c - d_1'}{c} \right] - A_{s2}' \cdot f_c \left[ \frac{c - d_2'}{c} \right] - A_{s1}' \cdot f_{s1}' + A_{s2}' \cdot f_{s2}' = \\
 & A_{s3}' \cdot f_{s3}' + A_{s4}' \cdot f_y \qquad \qquad \qquad (2.34)
 \end{aligned}$$

Momen inersia  $I_{cr}$  penampang retak pada balok T untuk tulangan rangkap dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} = & \frac{1}{12} be c^3 + be c \left[ \frac{1}{2} c \right]^2 + A_{s1} [c - d_1']^2 - A_{s1} [c - d_1']^2 + A_{s2} [c - d_2']^2 \\
 & - A_{s2} [c - d_2']^2 + A_{s3} [d_1' - c]^2 - [A_{s4} d - c]^2 \qquad \qquad \qquad (3.36)
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung momen inersia efektif  $I_e$  adalah :

$$I_e = \left[ \frac{M_{cr}}{M} \right]^3 I_g + \left[ 1 - \left[ \frac{M_{cr}}{M} \right]^3 \right] I_{cr} \quad (3.37)$$

Dimana ;  $M_{cr}$  = momen saat timbul retak pertama kali (Nmm)

$M$  = Momen (Nmm)

$I_g$  = momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu, dengan pengabaian tulangan ( $\text{mm}^4$ )

$I_{cr}$  = perhitungan momen inersia penampang retak transformasi balok ( $\text{mm}^4$ )

Nilai lendutan pada balok T adalah

$$\Delta = \frac{P l^3}{48 E_c I_e} + \frac{5 q l^4}{384 E_c I_e} \quad (3.38)$$

Dimana :  $\Delta$  = lendutan (mm)

$P$  = beban terpusat (kg)

$l$  = panjang balok (mm)

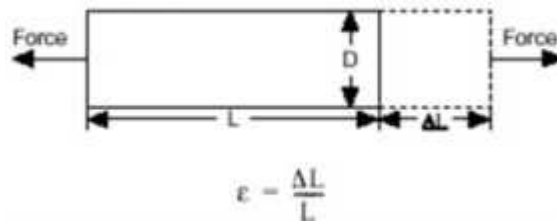
$E_c$  = modulus elastisitas beton (Mpa)

$I_e$  = momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$q$  = berat merata balok 10/15 (N/mm)

## 2.12 Manfaat Strain Gauge

Strain adalah jumlah deformasi dari suatu bagian dalam kaitannya dengan gaya. Secara rinci strain ( $\epsilon$ ) digambarkan sebagai perubahan panjang, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2.13.** Pengertian Strain

Elastisitas strain gauge merupakan perbandingan perubahan panjang terhadap panjang mula – mula :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.39)$$

Dimana :  $\epsilon$  = Elastisitas Strain gauge

$L$  = Panjang mula - mula

$\Delta L$  = Perubahan panjang

Ketika sebuah strain gauge ditarik atau ditekan, gaya yang digunakan akan menghasilkan tekanan atau tarikan yang sesuai di dalam strain gauge. Tekanan atau tarikan ini pada gilirannya menghasilkan regangan (tekanan/tarikan) yang mendeformasi strain gauge, yang selanjutnya akan menghasilkan perubahan nilai resistansi dari strain gauge tersebut. Dalam prakteknya, pengukuran dengan strain gauge jarang melibatkan jumlah yang lebih besar dari beberapa microstrain ( $\epsilon \times 10^{-6}$ ).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Parameter Penelitian

Parameter perancangan yang telah dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Balok "T" dengan penampang  $hf = 80$  mm,  $b_w = 150$  mm,  $h = 250$  mm,
  - $be = \frac{1}{4}$  bentang balok (  $\frac{1}{4} L$  ) =  $\frac{1}{4} \times 2200 = 550$  mm.
  - $be = 16 hf + bw = ( 16 \times 80 ) + 150 = 1430$  mm.
  - maka diambil yang terkecil  $be = 550$  mm.
- b. Panjang balok  $L = 2200$  mm
- c. Selimut beton balok = 20 mm.
- d. Kuat tekan beton  $f'_c = 41,211$  MPa.
- e. Kuat leleh tulangan polos  $\varnothing 7,5$  mm  $f_y = 461,398$  Mpa.
- f. Kuat leleh tulangan polos  $\varnothing 4,5$  mm  $f_y = 334,589$  Mpa.
- g. Tulangan geser balok  $\varnothing 4,5$  mm.
- h. Tulangan longitudinal balok  $\varnothing 7,5$  mm.
- i. Tulangan pelat  $\varnothing 4,5$  mm.
- j. Jarak tulangan sengkang tertutup sesuai syarat yang berlaku yaitu SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3.1 adalah ( a ) Pada daerah hingga dua kali tinggi balok diukur dari muka tumpuan ke arah bentang, dikedua ujung komponen lentur. ( b ) Di sepanjang daerah dua kali tinggi balok pada kedua sisi dari suatu penampang

dimana leleh lentur terjadi di saat hubungan dimana terjadinya deformasi ilelastis struktur rangka.

- k. Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3.2 jarak tulangan sengkang tertutup pertama dipasang tidak boleh dipakai dari muka tumpuan. Jarak maksimum antar tulangan sengkang tertutup tidak boleh melebihi ( a )  $d/4$ , ( b ) delapan kali tulangan terkecil tulangan memanjang, ( c ) 24 kali tulangan sengkang tertutup, dan ( d ) **300 mm**.
- l. Jarak sengkang sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3.4 :  
Pada daerah yang tidak memerlukan sengkang tertutup, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujungnya harus dipasang dengan spasi tidak dari  $d/2$  disepanjang komponen struktur.
- m. Sambungan lewatan yang dipakai adalah **40** kali diameter tulangan memanjang pada balok.

### **3.2 Model Analisa**

Model analisa yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisa perilaku balok T beton bertulang polos yang tidak disambung.
- b. Analisa perilaku balok T beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 L" balok dari tumpuan kiri.
- c. Analisa kuat lentur balok T beton polos yang tidak disambung.
- d. Analisa kuat lentur balok T beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 L" balok dari tumpuan kiri.
- e. Analisa kuat geser balok T beton polos yang tidak disambung.



- f. Analisa kuat geser balok T beton bertulang yang disambung pada jarak "1/3 L" balok dari tumpuan kiri.

### **3.3 Pengujian di Laboratorium**

#### **3.3.1 Waktu Pelaksanaan dan Tempat Penelitian**

Waktu Pelaksanaan : Oktober 2014 – Januari 2015

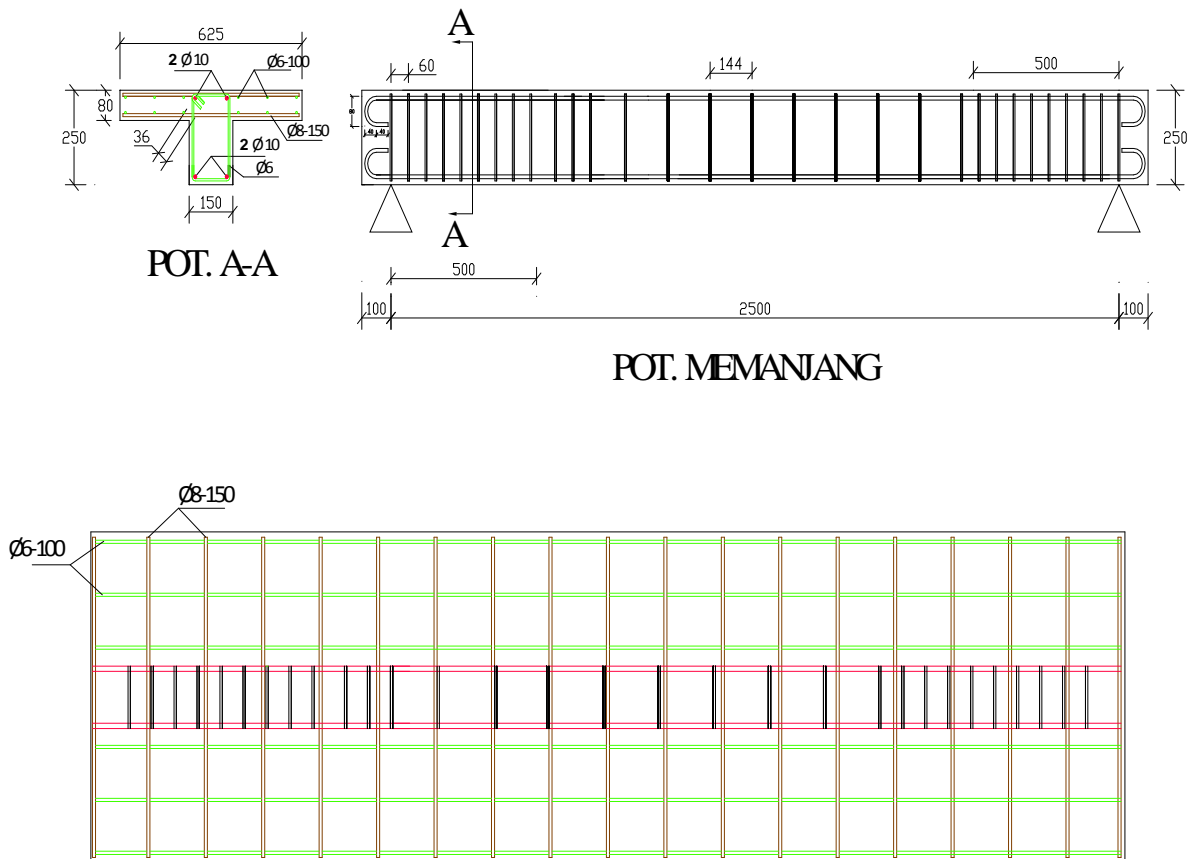
Lokasi penelitian dan pengujian :

1. Pembuatan benda Uji dilokasi Proyek Pembangunan Ijen Padjajaran Suites Hotel, Resort And Convention Hall.
2. Pengujian kuat tarik tulangan di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Institut teknologi Nasional Malang.
3. Pengujian kuat tekan beton di Laboratorium Bahan Bangunan Dan Beton Politeknik Negeri Malang.
4. Pengujian benda uji balok di Laboratorim Struktur dan Uji Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya Malang.

### 3.3.2 Benda Uji

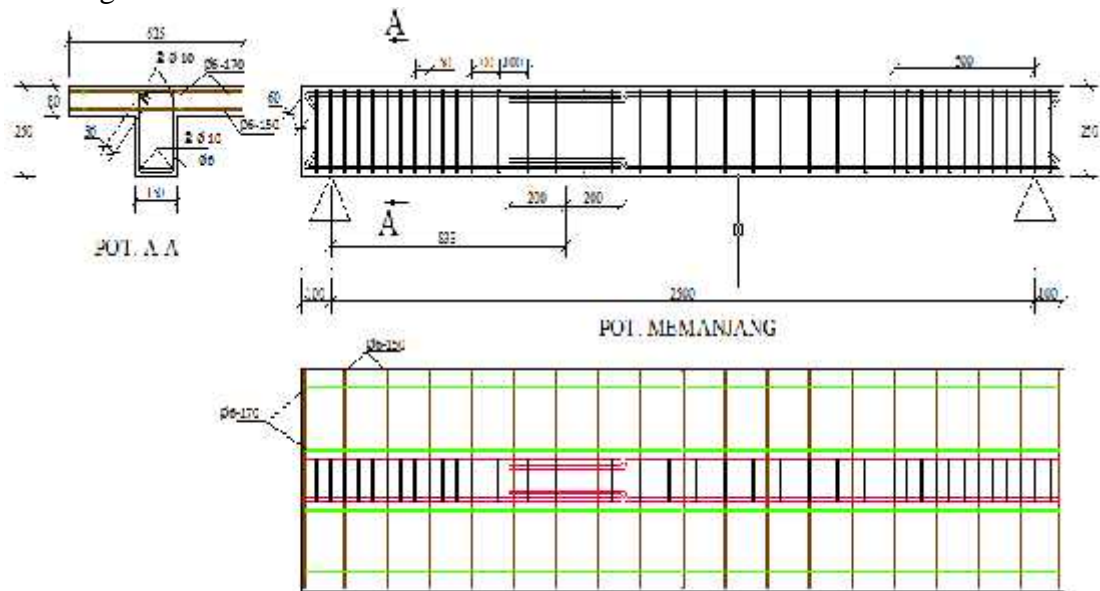
Benda uji silinder beton berukuran 150 x 300 mm dan Benda uji balok “ T “ dengan ukuran  $h_f = 80$  mm,  $b_w = 150$  mm,  $h = 250$  mm,  $b_e = 625$  mm dengan dua variasi yaitu :

1. Tiga buah sampel balok tanpa sambungan benda uji A, B dan C..



**Gambar 3.1a.** Penulangan Balok Tanpa Sambungan Benda uji A, B dan C.

2. Tiga buah sampel balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang.



**Gambar 3.1b.** Penulangan Balok dengan Jarak Sambungan  $1/3$  Bentang (B- $1/3$ )

### 3.3.3 Pembuatan Benda Uji Balok T

Langkah-langkah pembuatan balok uji

1. Pembuatan begisting benda uji balok T sebanyak 6 buah, 3 buah begisting untuk balok T tanpa sambungan dan 3 buah begisting untuk balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang.
2. Sebelum dilakukan pengecoran, terlebih dahulu disiapkan tulangan untuk balok. Untuk tulangan pokok pada daerah tarik dan tekan dipakai tulangan dengan diameter 7,5 mm dan untuk tulangan sengkang 4,5 mm.
3. Adukan beton dituangkan kedalam cetakan balok yang telah dibersihkan dan telah diolesi oli dan pada setiap sis sudut bagian dalam cetakan balok yang dianggap bocor dilakukan penyumbatan dengan selotip dan kertas semen basah

agar adukan beton tidakmenetes/merembes keluar. Sisi bekisting balok diketok-ketok denganmenggunakan palu,sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yangtertangkap akan keluar.

4. Cetakan dibuka setelah terjadi pengerasan

### **3.3.4 Perawatan Benda Uji**

Perawatan benda uji meliputi berbagai cara, antara lain :

1. Beton dibasahi terus menerus dengan air
2. Beton direndam dalam air dengan suhu  $23^0 - 28^0C$
3. Beton diselimuti dengan karung goni basah, plastik film atau kertas perawatan tahan air.

Pada penelitian ini, untuk balok uji dilakukan dengan cara menyirami balok uji dengan air hingga dianggap basah secara merata sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian (*28 hari*). Perawatan terhadap beton akan memperbaiki beberapa segi dari kualitasnya. Kekuatan beton akan bertambah selama terdapat cukup air yang bisa menjamin berlangsungnya hidrasi semen secara baik.

### **3.4.5. Proses Pengujian**

Proses pengujian kuat tarik baja, kuat tekan silinder dan kuat lentur dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilakukan di Laboratorium Uji Material, Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional, Malang.Data yang diambil pada

pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah, batas luluh awal. Tegangan tarik tulangan baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja.

#### b. Pengujian Kuat Tekan Silinder

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

1. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya kemudian menimbang benda uji.
2. Meletakkan benda uji diatas mesin uji desak, lalu dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
3. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai telah mengalami kehancuran. Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak.

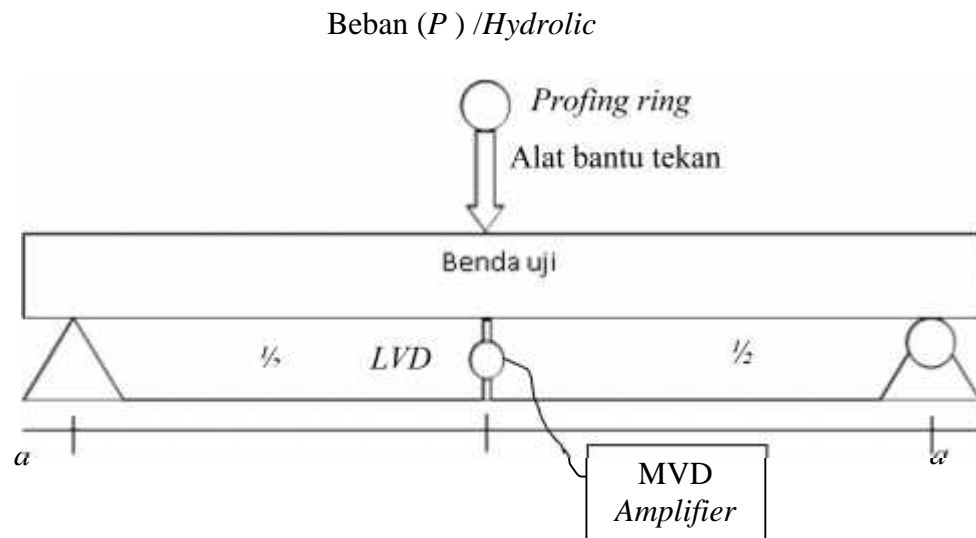
#### c. Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Benda uji diletakan pada frame dan diberikan mesin pemberi gaya transversal dengan kekuatan maksimum 7 ton yang berupa *hydrolic jack* dengan perlakuan sendi dan rol.
2. Pada mesin *hydrolic jack*, diberikan alat ukur pembebanan yaitu proving ring..
3. Diatas balok diletakan satu set alat bantu tekan dengan berat 17,6 kg.
4. *Hydrolic jack* dioperasikan hingga posisi proving ring menyentuh permukaan alat bantu tekan dan dalam posisi terkunci rapat.

5. Dial digital (LVDT) diletakan tepat dibawah permukaan balok yang mengalami pembebanan dimana posisinya tepat berada di tengah bentang dan pada letak sambungan balok T 1/3 bentang. Kemudian dihubungkan dengan alat baca digital (*MVD Amplifier*).
6. Pengujian siap dilakukan. Gaya/beban diberikan secara perlahan-lahan beban konstan dan beban dinaikkan secara berangsur-angsur hinggapada batas tertentu sampai pada tegangan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak, lendutan maksimum dan patah.
7. Retak yang terjadi ditandai pada benda uji saat pengujian, dengan spidol dan diberi keterangan mengenai besar beban yang terjadi. sehingga retakan yang terjadi dapat terekam dengan baik menurut jenjang-jenjang prosesi pemberian beban dilakukan.
8. Lendutan dicatat dengan membaca alat baca digital (*MVD Amplifier*) yang terhubung dengan dial digital (LVDT). Beban-beban dicatat agar dapat diperoleh hubungan dengan lendutan yang terjadi.

Variabel-variabel yang diukur dalam proses pengujian lendutan (*deflection*), didapat dengan pencatatan pembacaan alat baca digital (*MVD Amplifier*) yang terhubung dengan dial digital (LVDT). Dengan skala 1 satuan *MVD Amplifier* = 0.01 mm.



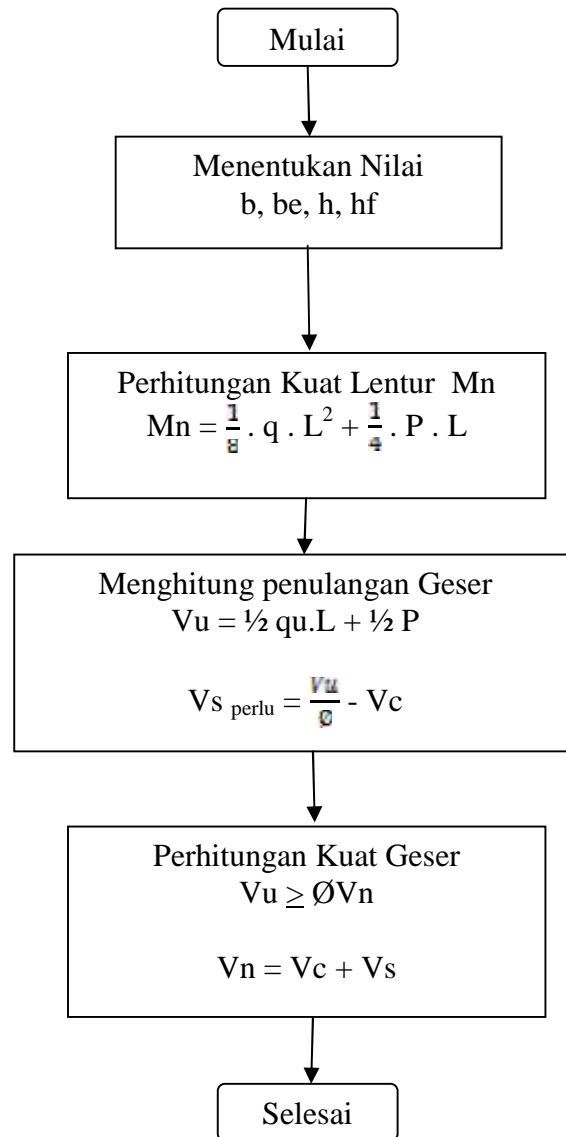
**Gambar 3.2** Proses pengujian lendutan

### 3.3.5 Peralatan Pengujian Silinder dan Balok

Peralatan yang dipakai dalam melaksanakan penelitian baik secara analisa maupun percobaan secara keseluruhan diperlukan peralatan :

1. Frame
2. hydrolic jack kapasitas 7 ton
3. Proving Ring
4. LVDT
5. Strain Meter

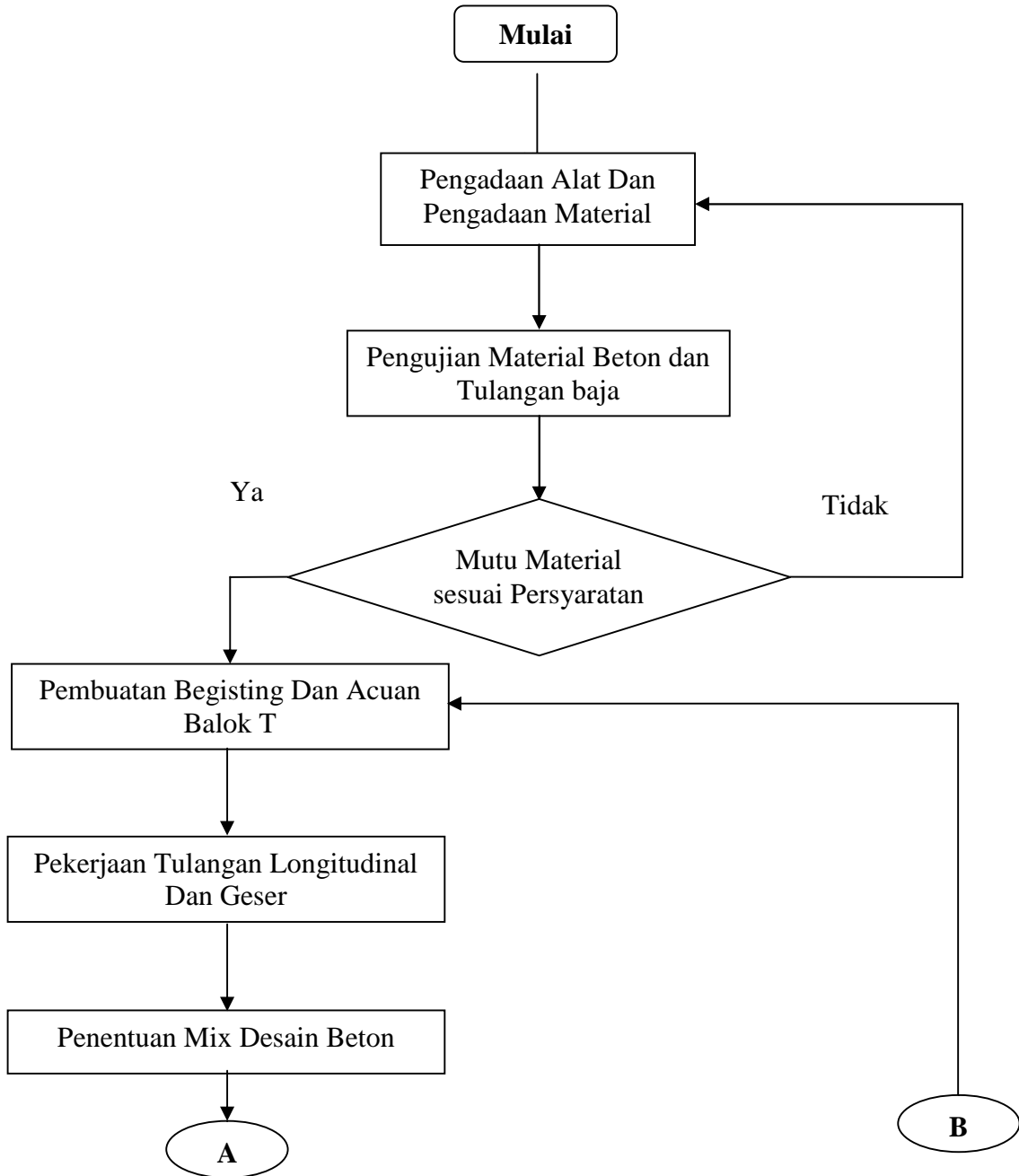
### Bagan Diagram Alir Perencanaan Balok T

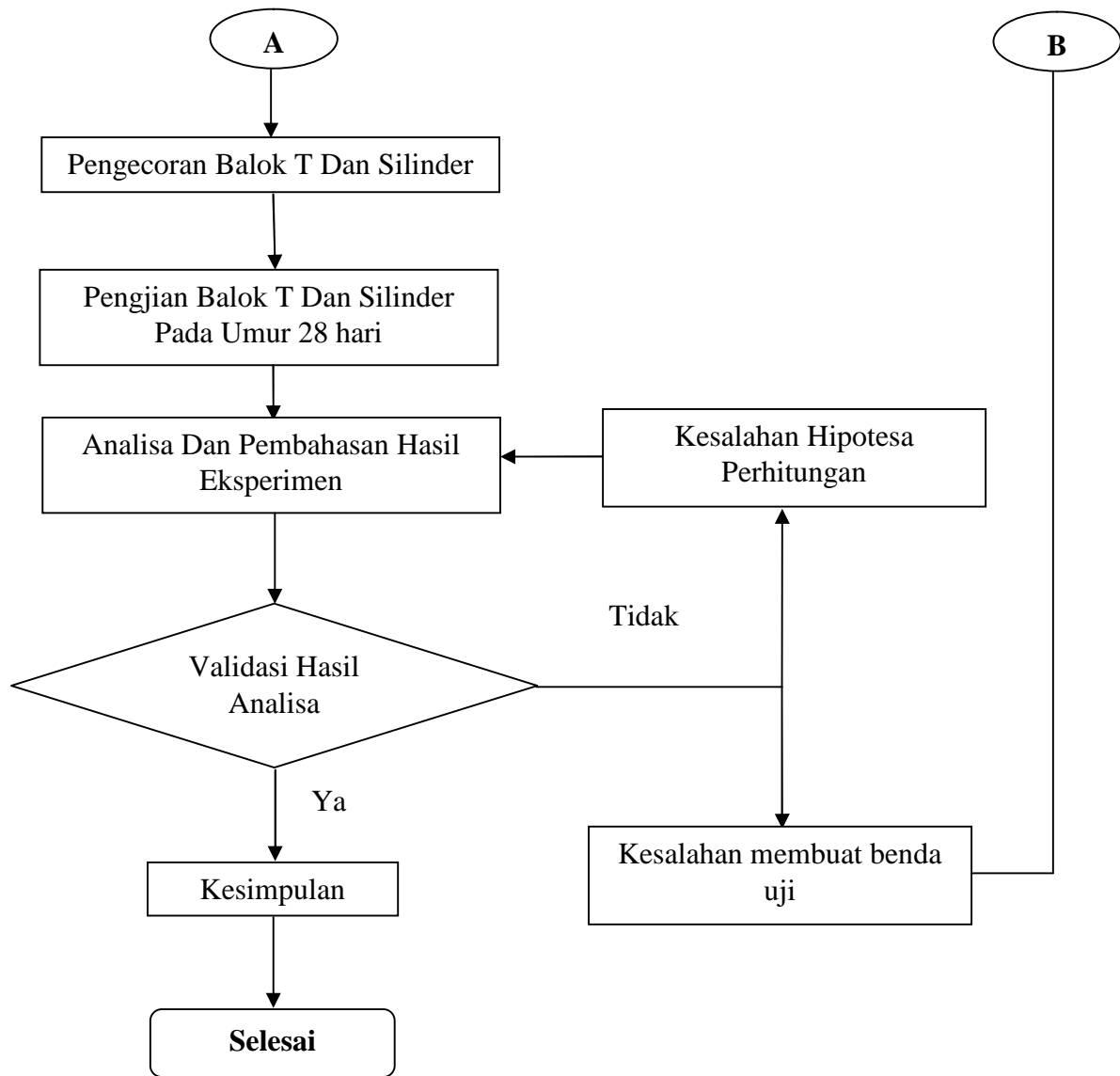


*Gambar 3.3. Bagan Alir Analisa Balok T*



### Bagan Alir Rencana Penelitian





*Gambar 3.4. Bagan Alir Rencana Penelitian*

### **3.4 Umum**

Data dari hasil penelitian dibagi menjadi 3 bagian adalah :

1. Analisa hasil laboratorium diperoleh :
  - a. Campuran beton
  - b. Kuat tarik baja
  - c. Kuat tekan beton
2. Analisis teoritis diperoleh :
  - a. Kontrol momen
  - b. Perhitungan beban
3. Analisa eksperimen diperoleh :
  - a. Kekuatan lentur
  - b. Kekuatan geser
  - c. Perilaku retak dan keruntuhan balok T
  - d. Lendutan

### **3.5 Umum**

#### **3.5.1. Campuran beton**

Kuat tekan mutu normal direncanakan adalah K-350 dengan menggunakan campuran beton yang dipesan di ready mix. Dengan menggunakan campuran material yang dipesan dari ready mix PT. Varia beton maka didapatkan komposisi campuran beton untuk 1 m<sup>3</sup> seperti yang terlihat pada *tabel 3.1*.

**Tabel 3.1** Komposisi Campuran Beton Hasil Mix Design

MIX DESIGN CALCULATION						
MATERIAL	TYPE / SIZE	SILID VOLUME (M <sup>3</sup> )	SPECIFIC GRAVITY (TON/M <sup>3</sup> )	PROPORTION (%)	MATERIAL CONTENT (KG/M <sup>3</sup> )	REMARKS
Semen	Type - 1	0,111	3,14	-	350	Ex. PT Semen Gresik
Air	-	0,180	1,00	-	180	-
FILLER	Fly Ash	0,033	2,68	20,00	88	paiton
Agregat	Pasir	0,315	2,68	48,49	845	Lumajang
	10 20	0,230	2,54	33,48	584	Pandaan
	20 30	0,122	2,58	18,03	314	Pandaan
ADMIXTURE	Type - D	-	-	0,250	1,10	Dosage % by Cement Content
AIR		0,001	-	-	-	
Total Solid Volume	1,0	(M <sup>3</sup> )		Concrete Density	2,362	(KG/M <sup>3</sup> )

### 3.5.2. Campuran beton

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standart SNI 03-1974-1990 tentang metode pengujian kuat tekan beton. Alat yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah universal testing machine ( UTM ). Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton (  $f_c'$  ) yang akan dipakai dan menganalisa data eksperiment, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian benda uji silinder dilaksanakan setelah umur benda uji

beton mencapai umur 28 hari. Jumlah benda uji yang dilaksanakan berjumlah 50 benda uji. Hasil tes yang diperoleh sesuai dengan perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.2 dan tabel 3.3.

**Tabel 3.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pertama.**

No.	Kode	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (Kn)	Teg. Hancur Silinder (kg / cm <sup>2</sup> )	Teg. Hancur Kubus (kg / cm <sup>2</sup> )	KET.
1	V1	12,3	660	354,25	426,8	K 350
2	V3	12,6	610	327,41	394,47	K 350
3	V4	12,5	740	413,63	498,35	K 350
4	V1	12,7	800	447,17	538,76	K 350
5	V2	12,1	380	275,33	331,73	K 350
6	V3	12	395	286,2	344,82	K 350
7	V2	12,8	455	359,94	433,66	K 350
8	V5	12,5	400	316,43	381,24	K 350
9	V4	12,1	440	348,07	419,36	K 350
10	V7	12,4	425	336,21	4,05,07	K 350
11	V7	12,65	440	348,07	419,36	K 350
12	V6	12,5	470	371,38	447,96	K 350
13	V5	12,7	405	320,38	386,01	K 350
14	V6	12,4	470	409,36	493,24	K 350
15	V8	12,3	460	400,68	482,74	K 350
Tegangan Hancur Rata-rata Pertama				354,3	428,46	

**Tabel 3.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Kedua.**

No.	Kode	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (Kn)	Teg. Hancur Silinder (kg / cm <sup>2</sup> )	Teg. Hancur Kubus (kg / cm <sup>2</sup> )	KET.
1	V44	12,7	770	435,95	525,24	K 350
2	V61	12,5	890	503,89	607,1	K 350
3	V25	12,5	1020	577,49	695,78	K 350
4	V67	12,5	900	509,55	613,92	K 350
5	V59	12,5	815	461,43	555,94	K 350
6	V3	12,4	865	489,74	590,05	K 350
7	V16	12,4	880	498,23	600,28	K 350
8	V53	12,6	825	467,09	562,76	K 350
9	V61	12,5	865	489,74	590,05	K 350
10	V22	12,6	785	444,44	535,48	K 350
11	V34	12,6	700	396,32	477,49	K 350
12	V34	12,6	600	339,52	409,28	K 350
13	V28	12,5	635	359,52	433,16	K 350
14	V7	12,4	765	433,12	521,83	K 350
15	V64	12,5	765	433,12	521,83	K 350
16	V25	12,6	1035	585,99	706,01	K 350
17	V2	12,4	450	340,34	410,05	K 350
18	V15	12,5	630	498,38	600,45	K 350
19	V9	12,5	560	443,00	533,74	K 350
20	V3	12,7	665	526,06	633,81	K 350
21	V7	12,5	520	411,36	495,61	K 350
22	V9	12,5	560	443,00	533,74	K 350
23	V7	12,7	550	435,09	524,21	K 350
24	V21	12,5	610	482,55	581,39	K 350
25	V5	12,5	710	561,66	676,7	K 350
26	V21	12,3	555	439,05	528,97	K 350
27	V19	12,5	605	478,6	576,63	K 350
28	V13	12,8	650	514,2	619,52	K 350
29	V1	12,5	680	537,93	648,11	K 350
30	V11	12,5	585	462,78	557,56	K 350
31	V17	12,5	510	403,45	486,08	K 350
32	V5	12,6	610	482,55	581,39	K 350
33	V15	12,8	570	450,91	543,27	K 350
34	V1	12,7	640	506,29	609,98	K 350
35	V13	12,6	765	605,17	729,12	K 350
Tegangan Hancur Rata-rata Kedua				469,93	566,19	

**Tabel 3.4** Tegangan Hancur Silinder Rata-Rata

1	Tegangan Hancur silinder Rata-rata Pertama	354,30
2	Tegangan Hancur silinder Rata-rata Kedua	469,93
3	<b>Rata-rata</b>	<b>412,11</b>

### 3.5.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

Sesuai dengan pengujian kuat tarik baja yang telah di laksanakan di laboratorium ITN Malang, maka diperoleh hasil pengujian seperti pada tabel 3.3.

**Tabel 3.5** Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.

No	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 4,5	(mm <sup>2</sup> )	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	4,5	15,9	6801,2	334,589	427,632	46,222
2	4,5	15,9	7448	375,257	468,301	47,378
3	4,5	15,9	1320,6	362,009	460,29	48,267
No	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 7,5	(mm <sup>2</sup> )	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	7,5	44,18	28694,4	461,398	649,508	44,444
2	7,5	44,18	28371	484,802	642,188	39,822

### 3.6 Analisa Teoritis

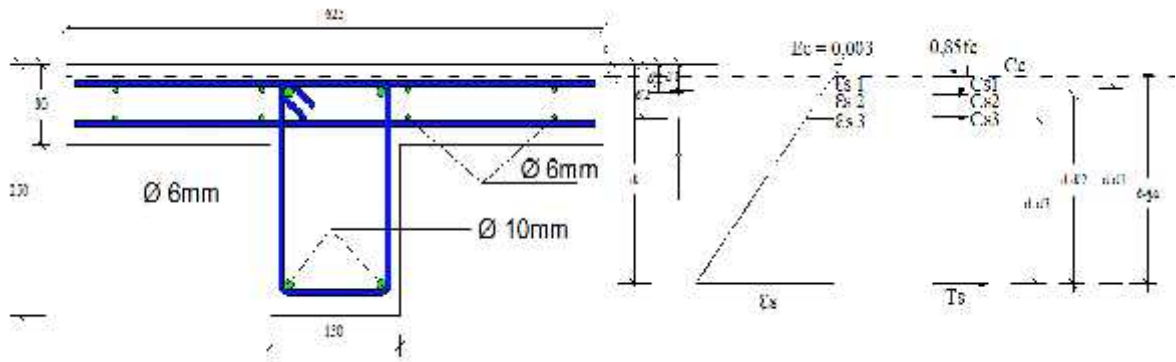
Data yang didapatkan untuk perhitungan diperoleh dari hasil eksperimen awal yang berupa kuat tekan beton yang diperoleh dari hasil pengujian silender tiap balok dan kuat tarik baja yang diuji.

Data benda uji :

- Tipe : Balok “ T “ beton bertulang.
- Panjang : 2200 mm
- Tinggi balok ( h ) : 250 mm
- Tebal Pelat ( hf ) : 80 mm
- Lebar sayap ( be ) : 550 mm
- Dimensi : (( 625 x 80 ) + ( 170 x 150 )) mm x 2200 mm
- Mutu beton ( fc' ) : 354 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 ( fy ) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5 ( fy ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- Selimut beton : 20 mm
- Modulus elastisitas baja ( Es ) : 200000 Mpa( SNI-03-2847-2002, pasal 10.5.2, hal 54 )
- Regangan Maks. beton ( c' ) : 0,003 Mpa ( SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69 )

#### 3.6.1 Kontrol Momen





**Gambar 3.5** Penampang balok T

Data perencanaan :

- Panjang : 2200 mm
- Tinggi balok ( h ) : 250 mm
- Tebal Pelat ( hf ) : 80 mm
- Lebar sayap ( be ) : 550 mm
- Tebal selimut Beton : 20 mm
- Mutu beton ( fc' ) : 412,115 kg/cm<sup>2</sup> = 40, 415 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 ( fy ) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5( fy ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- $\rho$  :  $0,85 - \frac{0,005}{7} \times fc' - 30 = 0,843$
- q ( beban merata ) : Luas penampang x berat jenis  
= ( 0,08 x 0,63 )+( 0,15 x 0,17 ) x 2362

$$= 178,331 \text{ Kg/m}$$

$$= 1,783 \text{ N/mm}$$

$$\text{❖ } d_1' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sekang} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan pelat}$$

$$= 20 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + \left( \frac{1}{2} \times 5 \text{ mm} \right)$$

$$= 27 \text{ mm}$$

$$\text{❖ } d_2' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sekang} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan tarik balok}$$

$$= 20 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + \left( \frac{1}{2} \times 7,5 \text{ mm} \right)$$

$$= 28 \text{ mm}$$

$$\text{❖ } d_3' = \text{tebal pelat} - \left( \text{selimut beton} + \text{diameter tulangan pelat} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan pelat} \right)$$

$$= 80 \text{ mm} - \left( 20 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + \left( \frac{1}{2} \times 5 \text{ mm} \right) \right)$$

$$= 53 \text{ mm}$$

$$\text{❖ } d = h - d' \left( \text{selimut beton} + \text{diameter sekang} + \frac{1}{2} \text{ diameter tulangan balok} \right)$$

$$= 250 \text{ mm} - \left( 40 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 7,5 \text{ mm} \right)$$

$$= 250 \text{ mm} - 48,25 \text{ mm}$$

$$= 202 \text{ mm}$$

$$\text{❖ } A_{S1} = 4 \times \frac{1}{4} \times d^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 4,5^2$$

$$= 63,643 \text{ mm}^2$$

$$\text{❖ } A_{s2} = 2 \times \frac{1}{4} \times d^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 7,5^2$$

$$= 88,39 \text{ mm}^2$$

$$\text{❖ } A_{s3} = 4 \times \frac{1}{4} \times d^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 5^2$$

$$= 63,643 \text{ mm}^2$$

$$\text{❖ } A_{s4} = 2 \times \frac{1}{4} \times d^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 7,5^2$$

$$= 88,39 \text{ mm}^2$$

❖ Mencari nilai c

$$\frac{\epsilon s_1}{0,003} = \frac{d_1' - c}{c} \longrightarrow s_1 = \frac{d_1' - c}{c} \times 0,003$$

$$f s_1 = s_1 \times E_s$$

$$f s_1 = \frac{d_1' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$f s_1 = \frac{d_1' - c}{c} \times 600$$

$$\frac{\epsilon s_2}{0,003} = \frac{d_2' - c}{c} \longrightarrow s_2 = \frac{d_2' - c}{c} \times 0,003$$

$$f s_2 = s_2 \times E_s$$

$$fs_2 = \frac{d_2' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$fs_2 = \frac{d_2' - c}{c} \times 600$$

$$\frac{\epsilon s_3}{0,003} = \frac{d_3'}{c} \longrightarrow s_3 = \frac{d_3' - c}{c} \times 0,003$$

$$fs_3 = s_2 \times \epsilon s$$

$$fs_3 = \frac{d_3' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$fs_3 = \frac{d_3' - c}{c} \times 600$$

$$Cs_1 = As_1 \times fs_1$$

$$Cs_2 = As_2 \times fs_2$$

$$Cs_3 = As_3 \times fs_3$$

$$Ts = As_4 \times fy$$

$$Cc = 0,85 c \times be \times 0,85f'c$$

$$H = 0$$

$$Cc = Cs_1 + Cs_2 + Cs_3 + Ts$$

$$0,85 c \times be \times 0,85f'c = As_1 \times \left( \frac{d_1' - c}{c} \times 600 \right) + As_2 \times \left( \frac{d_2' - c}{c} \times 600 \right) + As_3 \times \left( \frac{d_3' - c}{c} \times 600 \right) + As \times fy$$

$$0,85 c^2 \times be \times 0,85f'c = As_1 \times ((d_1' - c) \times 600) + As_2 \times ((d_2' - c) \times 600)$$

$$\begin{aligned}
& + A s_1 \times ( (d_3' - c) \times 600 ) + A s \times f_y \times c \\
0,85 c_2 \times 550 \times 0,85 \times 40 & = 63,643 \times (16050 - 600 c) + 88,393 \times (16950 - 600 c) \\
& + 63,643 \times (31950 - 600 c) + 88,393 \times 461 \times c \\
16060,0278 c^2 & = (1021468 + (-38185,7 c)) + (1498258,93 + (-53035,7c)) + \\
(2033389 + (-38185,7 c)) & + 40784,3 c
\end{aligned}$$

$$0 = -16060,0278 c^2 - 88623 c + 4553116,07$$

$$0 = \frac{-16060,0278 c^2 - 88623 c - 4553116,07}{-16060,0278}$$

$$0 = c^2 - 5,518 c + (-283,506114)$$

Maka untuk mencari nilai c dengan menggunakan rumus abc ( rumus persamaan kwadrat ) adalah :

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C = \frac{-5,518 \pm \sqrt{5,518^2 - 4 \times 1 \times (-283,506)}}{2 \times 1}$$

$$C = 14,303 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$C = -19,821 \text{ mm} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

❖ Kontrol tulangan tekan

$$f_{s1} = \frac{d_1' - c}{c} \times 600$$

$$f_{s1} = \frac{27 - 14,3 \text{ mm}}{14,303} \times 600$$

$$f_{s1} = 522,135 \quad 335 \text{ Mpa} \quad (\text{tulangan meleleh duluan})$$

$$f_{s2} = \frac{d_2' - c}{c} \times 600$$

$$f_{s2} = \frac{28 - 14,303 \text{ mm}}{14,303} \times 600$$

$$f_{s2} = 585,058 \quad 461 \text{ Mpa} \quad (\text{ tulangan meleleh duluan } )$$

$$f_{s3} = \frac{d_3' - c}{c} \times 600$$

$$f_{s3} = \frac{53 - 14,303 \text{ mm}}{14,303} \times 600$$

$$f_{s3} = 1633,78 \quad 335 \text{ Mpa} \quad (\text{ tulangan meleleh duluan } )$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 14,303$$

$$= 12,051 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 \times c \times b \times f'_c$$

$$= 0,85 \times 14,303 \times 550 \times 0,85 \times 40$$

$$= 229708,048 \text{ N}$$

$$C_{s1} = A_{s1} \times f_{s1}$$

$$= 63,643 \times 522,135$$

$$= 33230,165 \text{ N}$$

$$C_{s2} = A_{s2} \times f_y$$

$$= 88,393 \times 461$$

$$= 40784,288 \text{ N}$$

$$C_{s3} = A_{s3} \times f_y$$

$$= 63,643 \times 335$$

$$= 21294,200 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (C_c \times (d - \frac{1}{2} a)) - (C_{s1} \times (d - d_1')) - (C_{s2} \times (d - d_2')) - (C_{s3} \times (d - d_3')) \\ &= (229708,048 \text{ N} \times 202 - (\frac{1}{2} 12,051)) - (33230 \times 175) - (40784,288 \times \\ &174) - (21294,200 \times 149) \\ &= 28905926,277 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_r = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2$$

$$28905926,277 \text{ Nmm} = \frac{1}{4} \times P \times 2200 + \frac{1}{8} \times 1,783 \times 2200^2$$

$$328905926,277 \text{ Nmm} = 550 P + 1078902,55$$

$$550 P = 27827023,727 \text{ Nmm}$$

$$P = 50594,589 \text{ Nmm}$$

$$P = 5059,459 \text{ Kg}$$

$$P = 5,06 \text{ Ton}$$

### 3.6.2 Penulangan Geser

1. Akibat beban teoritis.

Letak garis netral penampang transformasi ( c )

Data perhitungan :

- Tipe : Balok “ T “ beton bertulang.
- Panjang ( L ) : 2200 mm
- Tinggi balok ( h ) : 250 mm
- Tebal Pelat ( hf ) : 80 mm

- Lebar balok ( bw ) : 150 mm
- Lebar sayap ( be ) : 550 mm
- d : 202
- Dimensi : (( 625 x 80 ) + ( 170 x 150 )) mm x 2200 mm
- Mutu beton ( fc' ) : 40 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 ( fy ) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5 ( fy ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- Selimut beton : 20 mm
- Modulus elastisitas baja ( Es ) : 200000 Mpa( SNI-03-2847-2002, pasal 10.5.2, hal 54 )
- Regangan Maks. beton ( c' ) : 0,003 Mpa ( SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69 )

$$\begin{aligned}
 V_u &= \left[ \left( \frac{1}{2} \times q \times L \right) + \left( \frac{1}{2} \times P \right) \right] \times 125 \% \\
 &= \left[ \left( \frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 50594,589 \right) \right] \\
 &= 34073,669 \text{ N} = 3407,367 \text{ KN}
 \end{aligned}$$



$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{40,4} \times 150 \times 202 \text{ mm}$$

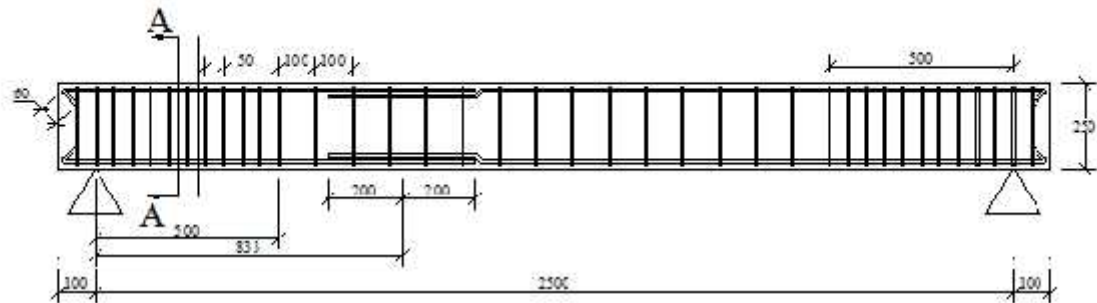
$$V_c = 32064,644 \text{ N} = 3206,464 \text{ KN}$$

Karena

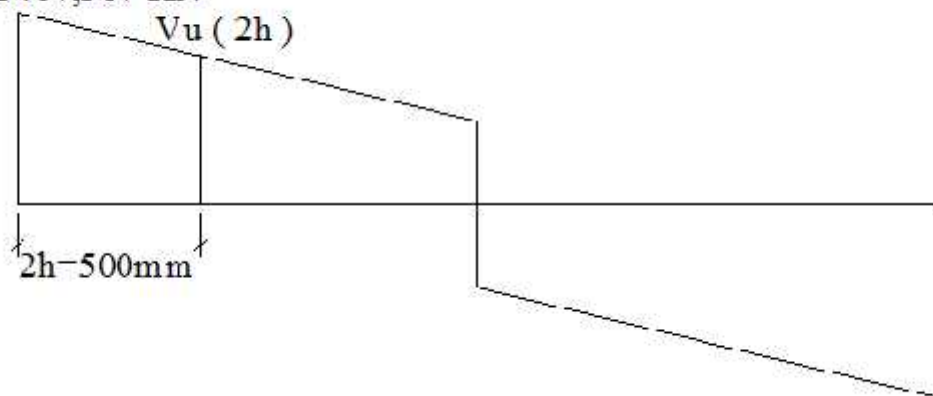
$$V_u > \frac{\phi}{2} V_c$$

$$3407,367 \text{ KN} > 0,6 \frac{3206,464 \text{ KN}}{2}$$

$$3407,367 \text{ KN} > 961,939 \text{ KN}$$



$$V_u = 3407,367 \text{ KN}$$



$$V_u = 3407,367 \text{ KN}$$

**Gambar 3.6** Penulangan Geser Akibat Beban (Perhitungan Teoritis)

$$\frac{y}{Vu - \frac{1}{2}p} = \frac{\frac{1}{2}L - 2H}{\frac{1}{2}L}$$

$$\left( y \frac{1}{2} L \right) = \left( Vu - \frac{1}{2} p \right) \left( \frac{1}{2} L - 2 h \right)$$

$$\left( y \frac{1}{2} 2200 \right) = 34073,7 - \left( \frac{1}{2} 50594,6 \right) \left( \frac{1}{2} 2200 - 2 \times 250 \right)$$

$$1100 y = 5265824,895$$

$$Y = 4787,114 \text{ N}$$

$$Y = 478,711 \text{ KN}$$

$$Vu (2h) = \frac{1}{2} p + y$$

$$= \frac{1}{2} 50594,6 + 4787,114$$

$$= 30084,408 \text{ N}$$

$$= 3008,441 \text{ KN}$$

$$Vs = \frac{Vu (2H)}{\phi} - Vc$$

$$Vs = \frac{30084,408 \text{ N}}{0,6} - 32064,644 \text{ N}$$

$$S = \frac{AVfy d}{Vs}$$

$$Av = As = \frac{1}{4} \times \text{Øtulangan}^2 \times 2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 4,5^2 \times 2$$

$$= 32 \text{ mm}$$

$$S = \frac{32 \text{ mm}^2 \quad 334,59 \quad 202 \text{ mm}}{18076,035 \text{ N}}$$

$$= 118,726 \text{ mm}$$

Syarat spasi maksimum pada daerah gempal ( SNI 23.3.3.2 ) pada daerah sendi plastis

$$\frac{d}{2} = \frac{201,75}{2} = 100,872$$

Jadi yang pakai sengkang  $\emptyset 4,5 = 100 \text{ mm}$

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A V_f y d}{s} = \frac{31,8 \times 334,589 \times 202}{100} = 21460,996 \text{ N}$$

Syarat

$$\frac{V_u (2H)}{\emptyset} < V_c + V_s \text{ terpasang}$$

$$\frac{30084,408 \text{ N}}{0,6} < 32064,644 \text{ N} + 21460,996 \text{ N}$$

$$50140,67973 \text{ N} < 53525,641 \text{ N}$$

$$\frac{y}{V_u - \frac{1}{2} p} = \frac{\frac{1}{2} L - 2d}{\frac{1}{2} L}$$

$$\left( y \frac{1}{2} L \right) = \left( V_u - \frac{1}{2} p \right) \left( \frac{1}{2} L - 2d \right)$$

$$y \frac{1}{2} 2200 = 34073,7 - \frac{1}{2} 50594,6 \frac{1}{2} 2200 - 2 \times 202$$

$$1100 y = 6112745,065$$

$$y = 5557,041 \text{ N}$$

$$y = 555,704 \text{ KN}$$

$$V_u (2d) = \frac{1}{2} p + y$$

$$= \frac{1}{2} 50594,6 + 555,704 \text{ KN}$$

$$= 30854,335 \text{ N}$$

$$= 3085,434 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{Vu (2d)}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{30854,335 \text{ N}}{0,6} - 0,000 \text{ N} = 51423,892 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan sengkang  $\phi$  4,5 ( 2 kaki )

$$S = \frac{AVfy d}{Vs}$$

$$A_v = A_s = \frac{1}{4} \quad \phi_{\text{tulangan}}^2 \times 2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 4,5^2 \times 2$$

$$= 32 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{32 \text{ mm}^2 \times 334,589 \text{ N} \times 202 \text{ mm}}{51423,892 \text{ N}}$$

$$= 41,734 \text{ mm}$$

Syarat spasi maksimum pada daerah gempu ( SNI 23.3.3.2 ) pada daerah sendi plastis

$$\frac{d}{4} = \frac{201,75}{4} = 50,438$$

Jadi yang dipakai sengkang  $\phi$  4,5 = 50 mm

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{32 \text{ mm}^2 \times 334,589 \text{ N} \times 202 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 42921,993 \text{ N}$$

Syarat

$$\frac{Vu (2H)}{\phi} < Vc + Vs \text{ terpasang}$$

$$\frac{30854,335 \text{ N}}{0,6} < 32064,644 \text{ N} + 42921,993 \text{ N}$$

$$5142,389211 \text{ N} < 74986,637 \text{ N}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 3.6*.

**Tabel 3.6** *Kuat Geser Teoritis*

<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Beban ( N )</b>	<b>Beban merata (q) ( N/mm )</b>	<b>Panjang (L) (mm)</b>	<b>Lendutan ( ) (mm)</b>	<b>Kuat Geser (N)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
0	0	1,78331	2200	0,054	1961,641
50	500	1,78331	2200	0,065	2211,641
100	1000	1,78331	2200	0,076	2461,641
150	1500	1,78331	2200	0,087	2711,641
200	2000	1,78331	2200	0,098	2961,641
250	2500	1,78331	2200	0,109	3211,641
300	3000	1,78331	2200	0,120	3461,641
350	3500	1,78331	2200	0,131	3711,641
400	4000	1,78331	2200	0,142	3961,641
450	4500	1,78331	2200	0,153	4211,641
500	5000	1,78331	2200	0,164	4461,641
550	5500	1,78331	2200	0,175	4711,641
600	6000	1,78331	2200	0,186	4961,641
650	6500	1,78331	2200	0,197	5211,641
700	7000	1,78331	2200	0,208	5461,641
750	7500	1,78331	2200	0,219	5711,641
800	8000	1,78331	2200	0,230	5961,641
850	8500	1,78331	2200	0,241	6211,641
900	9000	1,78331	2200	0,252	6461,641
950	9500	1,78331	2200	0,263	6711,641
1000	10000	1,78331	2200	0,274	6961,641
1050	10500	1,78331	2200	0,285	7211,641
1100	11000	1,78331	2200	0,296	7461,641

1150	11500	1,78331	2200	0,307	7711,641
1200	12000	1,78331	2201	0,318	7962,533
1250	12500	1,78331	2202	0,329	8213,424
1300	13000	1,78331	2203	0,340	8464,316
1350	13500	1,78331	2204	0,351	8715,208
1400	14000	1,78331	2205	0,362	8966,099
1450	14500	1,78331	2206	0,373	9216,991
1500	15000	1,78331	2207	0,384	9467,883
1550	15500	1,78331	2208	0,442	9718,774
1600	16000	1,78331	2209	0,483	9969,666
1650	16500	1,78331	2210	0,526	10220,558
1700	17000	1,78331	2211	0,571	10471,449
1750	17500	1,78331	2212	0,617	10722,341
1800	18000	1,78331	2213	0,665	10973,233
1850	18500	1,78331	2214	0,715	11224,124
1900	19000	1,78331	2215	0,766	11475,016
1950	19500	1,78331	2216	0,818	11725,907
2000	20000	1,78331	2217	0,872	11976,799
2050	20500	1,78331	2218	0,926	12227,691
2100	21000	1,78331	2219	0,982	12478,582
2150	21500	1,78331	2220	1,039	12729,474
2200	22000	1,78331	2221	1,096	12980,366
2250	22500	1,78331	2222	1,155	13231,257
2300	23000	1,78331	2223	1,214	13482,149
2350	23500	1,78331	2224	1,273	13733,041
2400	24000	1,78331	2225	1,334	13983,932
2450	24500	1,78331	2226	1,395	14234,824
2500	25000	1,78331	2227	1,456	14485,716
2550	25500	1,78331	2228	1,517	14736,607
2600	26000	1,78331	2229	1,579	14987,499
2650	26500	1,78331	2230	1,641	15238,391
2700	27000	1,78331	2231	1,703	15489,282
2750	27500	1,78331	2232	1,766	15740,174
2800	28000	1,78331	2233	1,828	15991,066
2850	28500	1,78331	2234	1,891	16241,957
2900	29000	1,78331	2235	1,953	16492,849
2950	29500	1,78331	2236	2,016	16743,741

3000	30000	1,78331	2237	2,079	16994,632
3050	30500	1,78331	2238	2,141	17245,524
3100	31000	1,78331	2239	2,203	17496,416
3150	31500	1,78331	2240	2,266	17747,307
3200	32000	1,78331	2241	2,328	17998,199
3250	32500	1,78331	2242	2,390	18249,091
3300	33000	1,78331	2243	2,451	18499,982
3350	33500	1,78331	2244	2,513	18750,874
3400	34000	1,78331	2245	2,574	19001,765
3450	34500	1,78331	2246	2,635	19252,657
3500	35000	1,78331	2247	2,696	19503,549
3550	35500	1,78331	2248	2,757	19754,440
3600	36000	1,78331	2249	2,817	20005,332
3650	36500	1,78331	2250	2,878	20256,224
3700	37000	1,78331	2251	2,938	20507,115
3750	37500	1,78331	2252	2,997	20758,007
3800	38000	1,78331	2253	3,057	21008,899
3850	38500	1,78331	2254	3,116	21259,790
3900	39000	1,78331	2255	3,175	21510,682
3950	39500	1,78331	2256	3,234	21761,574
4000	40000	1,78331	2257	3,293	22012,465
4050	40500	1,78331	2258	3,351	22263,357
4100	41000	1,78331	2259	3,409	22514,249
4150	41500	1,78331	2260	3,467	22765,140
4200	42000	1,78331	2261	3,525	23016,032
4250	42500	1,78331	2262	3,582	23266,924
4300	43000	1,78331	2263	3,639	23517,815
4350	43500	1,78331	2264	3,696	23768,707
4400	44000	1,78331	2265	3,753	24019,599
4450	44500	1,78331	2266	3,809	24270,490
4500	45000	1,78331	2267	3,866	24521,382
4550	45500	1,78331	2268	3,922	24772,274
4600	46000	1,78331	2269	3,977	25023,165
4650	46500	1,78331	2270	4,033	25274,057
4700	47000	1,78331	2271	4,089	25524,949
4750	47500	1,78331	2272	4,144	25775,840
4800	48000	1,78331	2273	4,199	26026,732

4850	48500	1,78331	2274	4,254	26277,623
4900	49000	1,78331	2275	4,309	26528,515
4950	49500	1,78331	2276	4,363	26779,407
5000	50000	1,78331	2277	4,418	27030,298
5050	50500	1,78331	2278	4,472	27281,190
5059,46	50595	1,78331	2279	4,482	27329,376

Keterangan pengisian kolom table 3.6

❖ Kolom 1

Beban ( P ) Kg, pemberian beban dengan kelipatan 50 Kg

❖ Kolom 2

Beban ( P ) N, besar beban pada kolom 2 diconversikan ke satuan Newton (N)

❖ Kolom 3

Beban merata ( q ) kgmm

❖ Kolom 4

Panjang bentang balok ( L ) dengan satuan mm

❖ Kolom 5

Defleksi yang terjadi pada balok ( ) mm (Nomor urut 1)

$$= \frac{5ql^4}{384Ecl^3}$$

Defleksi yang terjadi pada balok ( )mm (Nomor urut 2 s/d 15)

$$= \frac{p(l_n)^3}{48Ecl^3} + \frac{5ql^4}{384Ecl^3}$$

Dimana ;            = lendutan (mm)

*P* = beban terpusat (kg)

*ln* = panjang balok (mm)



$E_c = \text{modulus elastisitas beton (Mpa)}$

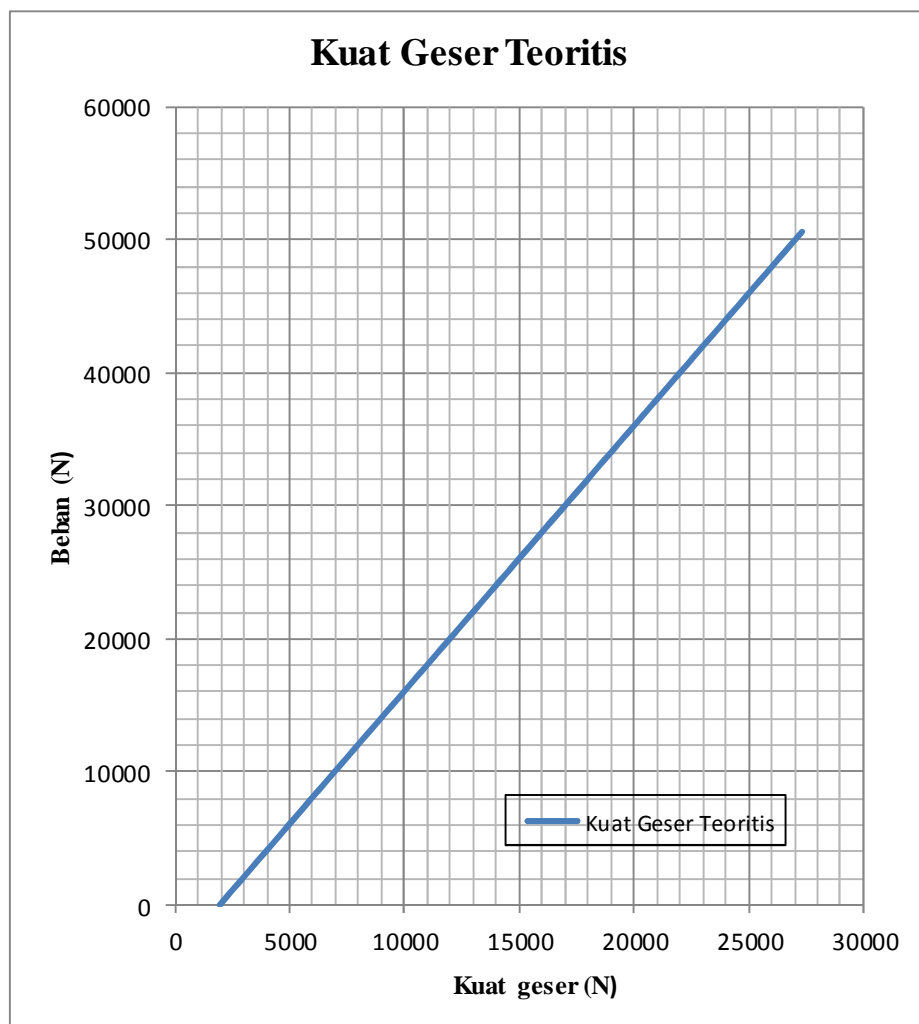
$I_e = \text{momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan}$

$q = \text{berat merata balok 10/15 (N/mm)}$

❖ Kolom 6

Kuat Lentur ( M ) Kgmm

$$V_u = ( \frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l$$



*Grafik 3.1 Hubungan Beban – Kuat Geser Teoritis*

Kurva beban – kuat geser balok beton yang terlihat pada Grafik 3.1 adalah hasil analisa teoritis yang digunakan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.6 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (kuat lentur) dan kolom 1 untuk arah vertikal (Beban). Dan  $P_{maks} = 5059,46$  kg dengan nilai kuat geser = 27329,375 N.

### 3.6.3 Perhitungan Lendutan

#### 3.6.3.1 Akibat beban teoritis.

a. Letak garis netral penampang transformasi ( c )

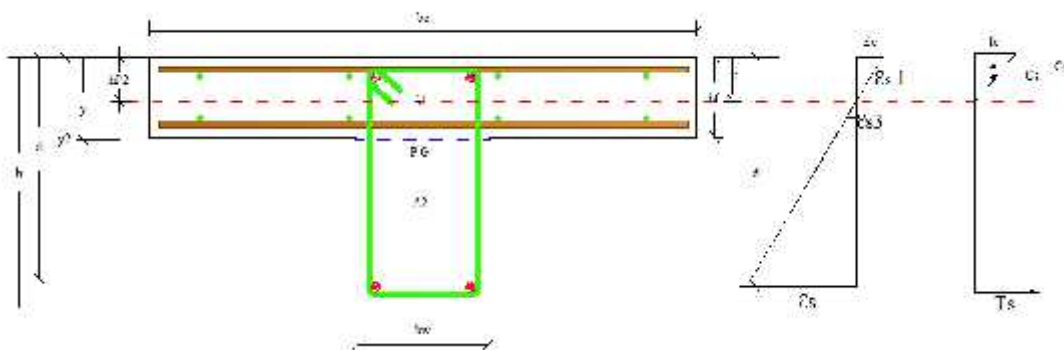
Data perhitungan :

- Panjang : 2200 mm
- Tinggi : 250 mm
- Tebal Pelat : 80 mm
- Lebar sayap : 625 mm
- Mutu beton (  $f_c'$  ) : 30 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 10$  (  $f_y$  ) : 240 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 6$  (  $f_y$  ) : 240 Mpa
- Tulangan Pokok :  $\varnothing 7,5$  mm
- Tulangan sengkang :  $\varnothing 4,5$  mm
- Selimut beton : 20 mm
- Modulus elastisitas baja (  $E_s$  ) : 200000 Mpa ( SNI-03-2847-

2002, pasal 10.5.2, hal 54 )

- Regangan Maks. Beton (  $\epsilon_c'$  ) : 0,003 ( SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69 )

b. Perhitungan :



**Gambar 3.7** Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflens

$$be \cdot c \frac{f_c}{z} - As_1' \cdot f_c \left( \frac{c - d_1'}{c} \right) - As_2' \cdot f_c \left( \frac{c - d_2'}{c} \right) + As_1' \cdot f_{s1}' + As_2' \cdot f_{s2}' = As_3' \cdot f_{s3}' + As_4' \cdot f_y$$

$$\left( \frac{be \cdot c}{z} \right) E_c \cdot \epsilon_c - As_1' \left( \frac{c - d_1'}{c} \right) E_c \cdot \epsilon_c - As_2' \left( \frac{c - d_2'}{c} \right) E_c \cdot \epsilon_c = -As_1' \cdot E_s \cdot \epsilon_s - As_2' \cdot E_s \cdot \epsilon_s + As_3' \cdot E_s \cdot \epsilon_s + As_4' \cdot f_y$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec}{2} - As_1' \left[ \frac{c-d_1'}{c} \right] - As_2' \left[ \frac{c-d_2'}{c} \right] \right\} Ec \right] = \left[ \left\{ -As_1' \left[ \frac{c-d_1'}{c} \right] - As_2' \left[ \frac{c-d_2'}{c} \right] + As_3' \left[ \frac{d_3'-c}{c} \right] \right\} Ec \right] + As_4' fy'$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] \right\} Ec \right] = \left[ \left\{ -As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] + As_3' [d_3'-c] \right\} Ec \right] + As_4' fy' c$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] \right\} \right] = \left[ \left\{ -As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] + As_3' [d_3'-c] \right\} \frac{Es \epsilon_c}{Ec \epsilon_c} \right] + As_4' fy' c$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] \right\} \right] = \left[ \left\{ -As_1' [c-d_1'] - As_2' [c-d_2'] + As_3' [d_3'-c] \right\} \right] + As_4' fy' c$$

$$bec^2 - [2 As_1' [c-d_1']] - [2 As_2' [c-d_2']] + [2 As_1' [c-d_1']] + [2 As_2' [c-d_2']] - [2 As_3' [d_3'-c]] - As_4' fy' c = 0$$

$$\text{Dimana} = \frac{Es}{Ec} \longrightarrow Ec = 4700 \sqrt{fc} = 29879,322 \text{ Mpa}$$

$$= \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{4700 \sqrt{40,4}} = 6,694$$

$$550 c^2 - [2 x 63,6429 [c-27]] - [2 x 88,3929 [c-28]] + [2 x 6,694 x 63,643$$

$$[c - 27]] + [2 \times 6,694 \times 88,3929 [c - 28]] - [2 \times 6,694 \times 63,6429 [53,3 - c]] - 88,3929 \times 461 c = 0$$

$$550 c^2 - [127,286 c] + 3404,89 - [176,786 c] + 4994,2 + [851,999 c] - 22791 + [1183,33 c] - 33429,1 - 45368,9301 + [851,999 c] - [40784,288 c] = 0$$

$$\frac{500 c^2 - 38201,030 c - 93189,9209}{500} = 0$$

$$c^2 = -69,456 c - 169,43622$$

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{69,46 \pm \sqrt{-69,46^2 - 4 \times 1 \times (-169,436)}}{2 \times 1}$$

$$c = 71,816 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -2,359 \text{ mm}$$

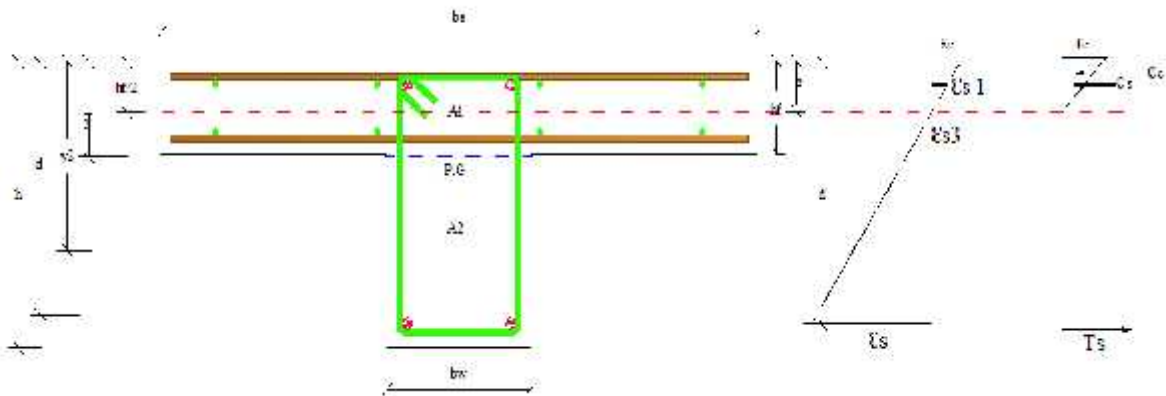
➤ Momen inersia penampang retak  $I_{cr}$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} b e c^3 + b e c \left[ \frac{1}{2} c \right]^2 + A_{s1} [c - d_1']^2 - A_{s1} [c - d_1']^2 + A_{s2} [c - d_2']^2 - A_{s2} [c - d_2']^2 + A_{s3} [d_1' - c]^2 - [A_{s4} d - c]^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} \times 550 \times 71,816^3 + 550 \times 71,816 \left[ \frac{1}{2} \times 71,816 \right]^2 + 6,694 \times 63,6429$$

$$\begin{aligned}
& [ 71,816 - 27 ]^2 - 63,6429 [ 71,816 - 26,8 ]^2 + 6,694 \times 88,3929 \\
& [ 71,816 - 28 ]^2 - 88,3929 [ 71,816 - 28,3 ]^2 + 6,694 \times 63,6429 \\
& [ 53,3 - 71,816 ]^2 + 6,694 \times 88,3929 [ 202 - 71,816 ]^2 \\
= & 16976193,23 + 50928579,7 + 865170,8678 - 129253,5933 + \\
& 1122965,893 - 167767,2958 + 146836,2625 + 9989041,284 \\
I_{cr} = & 79731766,35 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

➤ Momen inersia gros,  $I_g$  untuk kedua persegi



**Gambar 3.8** Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflens

$$\begin{aligned}
& = \frac{A1 y1 + A2 y2}{A1 + A2} \\
& = \frac{be hf y1 + bw (h - hf)y2}{be hf + bw (h - hf)} \\
& = \frac{550 \times 80 \times 40 \times + 150 (250 - 80) 165}{550 \times 80 + 150 (250 - 80)} \\
& = \frac{1760000 + 4207500}{44000 + 25500}
\end{aligned}$$

$$= 85,63 \text{ mm}$$

$$Y_t = h -$$

$$= 250 - 85,863$$

$$= 164,137 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{b_e h_f^3}{12} + b_e h_f \left( \bar{Y} - \frac{h_f}{2} \right)^2 + \frac{b_w (h - h_f)^3}{12} \\ &+ b_w (h - h_f) \left( y_t - \frac{h - h_f}{2} \right)^2 \\ &= \frac{550 \cdot 80^3}{12} + 550 \cdot 80 \left( 85,863 - \frac{80}{2} \right)^2 + \frac{150 (250 - 80)^3}{12} \\ &+ 150 (250 - 80) \left( 164,137 - \frac{250 - 80}{2} \right)^2 \\ &= 23466666,67 + 92551498,37 + 61412500 + 159696703,1 \\ &= 337127368,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f_r = 0,75 \sqrt{f_c}$$

$$= 0,75 \sqrt{40,1}$$

$$f_r = 4,450 \text{ Mpa}$$

$$M_{cr} = \frac{I_g f_r}{y_t}$$

$$= \frac{337127368,106 \times 4,450}{164,137}$$

$$= 9140274,807 \text{ Nmm}$$

➤ Kondisi pracetak

$$P = 50 \text{ kg} = 500 \text{ N}$$

Maka

$$\begin{aligned} Ma &= \left[ \frac{1}{4} p l \right] + \left[ \frac{1}{8} q l^2 \right] \\ &= \left[ \frac{1}{4} \times 500 \text{ N} \times 2200 \right] + \left[ \frac{1}{8} \times 1,78331 \times 2200 \right] \\ &= 275000 + 1078902,55 \end{aligned}$$

$$Ma = 1353902,550 \text{ N/mm}$$

$$Ma = 1353902,550 \text{ N/mm} < M_{cr} = 9793151,579 \text{ Nmm}$$

$$I_e = I_g = 337127368,1 \text{ mm}^4$$

Sehingga

$$\begin{aligned} &= \frac{p l^3}{48 E_c I_e} + \frac{5 q l^4}{384 E_c I_e} \\ &= \frac{500 \text{ N} \times 2200^3}{48 \times 29879,322 \times 337127368,1} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 337127368,1} \\ &= 0,011011134 + 0,053999732 \\ &= 0,065 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Kondisi pascaretak

$$P = 1500 \text{ kg} = 15000 \text{ N}$$

Maka

$$Ma = \left[ \frac{1}{4} p l \right] + \left[ \frac{1}{8} q l^2 \right]$$



$$\begin{aligned}
&= \left[ \frac{1}{4} \times 15000 \text{ N} \times 2200 \right] + \left[ \frac{1}{8} \times 1,78331 \times 2200^2 \right] \\
&= 8250000 + 1078902,55 \\
M_a &= 9328902,550 \text{ N/mm} \\
M_a &= 9328902,550 \text{ N/mm} > M_{cr} = 9793151,579 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_e &= \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \quad I_g \\
&= \left( \frac{9793151,579 \text{ Nmm}}{9328902,550 \text{ N/mm}} \right)^3 337127368,1 + \left[ 1 - \left( \frac{9140274,807}{9328902,6} \right)^3 \right] 79731766,35 \\
&= 390004636,915 + -12505653,474 \\
&= 377498983,441 \text{ mm}^4 + 337127368,1
\end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
&= \frac{P}{48} \frac{l^3}{E_c I_e} + \frac{5}{384} \frac{q}{E_c I_e} l^4 \\
&= \frac{15000 \text{ N}}{48 \times 29879,322} \times \frac{2200^3}{377498983,44} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 377498983,44} \\
&= 0,295006472 + 0,048224733 \\
&= 0,343 \text{ mm}
\end{aligned}$$

### 3.6.3.2 Retak awal

Retak awal yang terjadi diperhitungkan berdasarkan momen retak dimana yang menjadi acuan retak awal adalah beban yang bekerja. Maka berdasarkan rumus :

$$M_{cr} = \left(\frac{1}{4}Pl + \frac{1}{8}ql^2\right) \rightarrow P = \frac{4(M_{cr} - \frac{1}{8}ql^2)}{l}$$

Nilai beban saat terjadi retak awal dapat diketahui. Karena momen retak semua balok sama, maka perhitungan sebagai berikut:

$$M_{cr} = 9140274,807 \text{ Nmm} \quad l_n = 2200 \text{ mm} \quad q = 1.783 \text{ N/mm}$$

maka :

$$\begin{aligned} P &= 4 \times (M_{cr} - 1/8ql^2)/l \\ &= (4 \times (9140274,807 - (1/8 \times (1.783) \times 2200^2)))/2200 \\ &= 16128.356 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada keseluruhan balok, secara teoritis retak awal terjadi pada saat beban yang bekerja sebesar 16128.356 N.

### 3.6.3.3 Lebar Retak

Perhitungan retak mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 12.6 butir 4. Yaitu :

$$\omega = 11 \times 10^{-6} \beta f_s \sqrt{d_c A}$$

Dengan pertimbangan penampang balok dan parameter perhitungan yang digunakan untuk setiap benda uji secara umum sama, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja } f_s &= \frac{M_a}{I_{cr}} (d - c) \\ &= \frac{28905925.277}{7973165.35} (201.75 - 14.301) \cdot 6.694 \\ &= 454.876 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$d = h - d_{\text{selimut}} - \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2}\varnothing_{\text{Tul. utama}}$$

$$= 250 - 20 - 4,5 - \frac{1}{2}(7.5) = 221.750 \text{ mm}$$

$$d_c = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2}\varnothing_{\text{Tul. utama}}$$

$$= 20 + 4,5 + \frac{1}{2}(7.5) = 28.250 \text{ mm}$$

$$= (h-c)/(d-c)$$

$$= (250 - 14.301) / (201.75 - 14.301) = 1.257 \text{ mm}$$

$$A = \frac{bh_r}{\text{jumlah tulangan baja}}$$

Dimana :

$$hr = 2d_c = 2 \times 28.250 = 56.5 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 12 buah

$$A = \frac{150 \times 56.5}{12} = 706.25 \text{ mm}^2$$

maka analisis teoritis retak,

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A}$$

$$= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1.257 \cdot 454.88 \cdot \sqrt[3]{28.3 \times 706.25} = 0,171 \text{ mm}$$

**Tabel 3.7 Hasil Analisa Teoritis Lendutan**

No	Beban P ( Kg )	Beban P ( N )	Q ( N/mm )	Bentang ( L ) ( mm )	M ( Nmm )	Mcr (Nmm)	Icr ( mm <sup>4</sup> )	Ig ( mm <sup>4</sup> )	Ie ( mm <sup>4</sup> )	Ec ( Mpa )	( mm )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	1,78331	2200	1078902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,054
2	50	500	1,78331	2200	1353902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,065
3	100	1000	1,78331	2200	1628902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,076
4	150	1500	1,78331	2200	1903902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,087
5	200	2000	1,78331	2200	2178902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,098
6	250	2500	1,78331	2200	2453902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,109
7	300	3000	1,78331	2200	2728902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,120
8	350	3500	1,78331	2200	3003902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,131
9	400	4000	1,78331	2200	3278902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,142
10	450	4500	1,78331	2200	3553902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,153
11	500	5000	1,78331	2200	3828902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,164
12	550	5500,000	1,78331	2200	4103902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,175
13	600	6000	1,78331	2200	4378902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,186
14	650	6500	1,78331	2200	4653902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,197
15	700	7000	1,78331	2200	4928902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,208
16	750	7500	1,78331	2200	5203902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,219
17	800	8000	1,78331	2200	5478902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,230

18	850	8500	1,78331	2200	5753902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,241
19	900	9000	1,78331	2200	6028902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,252
20	950	9500	1,78331	2200	6303902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,263
21	1000	10000	1,78331	2200	6578902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,274
22	1050	10500	1,78331	2200	6853902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,285
23	1100	11000	1,78331	2200	7128902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,296
24	1150	11500	1,78331	2200	7403902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,307
25	1200	12000	1,78331	2200	7678902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,318
26	1250	12500	1,78331	2200	7953902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,329
27	1300	13000	1,78331	2200	8228902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,340
28	1350	13500	1,78331	2200	8503902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,351
29	1400	14000	1,78331	2200	8778902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,362
30	1450	14500	1,78331	2200	9053902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,373
31	1500	15000	1,78331	2200	9328902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,384
32	1550	15500	1,78331	2200	9603902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	352645453,818	29879,322	0,378
33	1600	16000	1,78331	2200	9878902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	330482635,639	29879,322	0,415
34	1650	16500	1,78331	2200	10153902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	310656035,763	29879,322	0,453
35	1700	17000	1,78331	2200	10428902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	292865760,339	29879,322	0,493
36	1750	17500	1,78331	2200	10703902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	276856950,359	29879,322	0,535
37	1800	18000	1,78331	2200	10978902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	262412085,075	29879,322	0,579
38	1850	18500	1,78331	2200	11253902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	249344752,732	29879,322	0,624
39	1900	19000	1,78331	2200	11528902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	237494581,265	29879,322	0,671
40	1950	19500	1,78331	2200	11803902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	226723091,501	29879,322	0,719

41	2000	20000	1,78331	2200	12078902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	216910288,228	29879,322	0,768
42	2050	20500	1,78331	2200	12353902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	207951844,652	29879,322	0,819
43	2100	21000	1,78331	2200	12628902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	199756766,513	29879,322	0,872
44	2150	21500	1,78331	2200	12903902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	192245445,867	29879,322	0,925
45	2200	22000	1,78331	2200	13178902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	185348032,899	29879,322	0,979
46	2250	22500	1,78331	2200	13453902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	179003068,468	29879,322	1,035
47	2300	23000	1,78331	2200	13728902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	173156331,353	29879,322	1,091
48	2350	23500	1,78331	2200	14003902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	167759862,994	29879,322	1,149
49	2400	24000	1,78331	2200	14278902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	162771139,568	29879,322	1,207
50	2450	24500	1,78331	2200	14553902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	158152366,836	29879,322	1,265
51	2500	25000	1,78331	2200	14828902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	153869877,636	29879,322	1,325
52	2550	25500	1,78331	2200	15103902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	149893615,525	29879,322	1,384
53	2600	26000	1,78331	2200	15378902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	146196690,956	29879,322	1,445
54	2650	26500	1,78331	2200	15653902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	142754998,724	29879,322	1,506
55	2700	27000	1,78331	2200	15928902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	139546887,321	29879,322	1,567
56	2750	27500	1,78331	2200	16203902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	136552872,422	29879,322	1,628
57	2800	28000	1,78331	2200	16478902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	133755387,971	29879,322	1,690
58	2850	28500	1,78331	2200	16753902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	131138569,414	29879,322	1,752
59	2900	29000	1,78331	2200	17028902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	128688064,483	29879,322	1,815
60	2950	29500	1,78331	2200	17303902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	126390867,644	29879,322	1,877
61	3000	30000	1,78331	2200	17578902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	124235174,944	29879,322	1,939
62	3050	30500	1,78331	2200	17853902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	122210256,466	29879,322	2,002
63	3100	31000	1,78331	2200	18128902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	120306344,017	29879,322	2,064

64	3150	31500	1,78331	2200	18403902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	118514532,049	29879,322	2,127
65	3200	32000	1,78331	2200	18678902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	116826690,075	29879,322	2,189
66	3250	32500	1,78331	2200	18953902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	115235385,094	29879,322	2,252
67	3300	33000	1,78331	2200	19228902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	113733812,776	29879,322	2,314
68	3350	33500	1,78331	2200	19503902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	112315736,287	29879,322	2,377
69	3400	34000	1,78331	2200	19778902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	110975431,834	29879,322	2,439
70	3450	34500	1,78331	2200	20053902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	109707640,093	29879,322	2,501
71	3500	35000	1,78331	2200	20328902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	108507522,824	29879,322	2,563
72	3550	35500	1,78331	2200	20603902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	107370624,060	29879,322	2,624
73	3600	36000	1,78331	2200	20878902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	106292835,326	29879,322	2,686
74	3650	36500	1,78331	2200	21153902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	105270364,434	29879,322	2,747
75	3700	37000	1,78331	2200	21428902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	104299707,431	29879,322	2,808
76	3750	37500	1,78331	2200	21703902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	103377623,365	29879,322	2,869
77	3800	38000	1,78331	2200	21978902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	102501111,538	29879,322	2,930
78	3850	38500	1,78331	2200	22253902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	101667390,978	29879,322	2,991
79	3900	39000	1,78331	2200	22528902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	100873881,901	29879,322	3,051
80	3950	39500	1,78331	2200	22803902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	100118188,928	29879,322	3,111
81	4000	40000	1,78331	2200	23078902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	99398085,893	29879,322	3,171
82	4050	40500	1,78331	2200	23353902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	98711502,052	29879,322	3,231
83	4100	41000	1,78331	2200	23628902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	98056509,580	29879,322	3,290
84	4150	41500	1,78331	2200	23903902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	97431312,183	29879,322	3,349
85	4200	42000	1,78331	2200	24178902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	96834234,757	29879,322	3,408
86	4250	42500	1,78331	2200	24453902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	96263713,945	29879,322	3,467

87	4300	43000	1,78331	2200	24728902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	95718289,545	29879,322	3,525
88	4350	43500	1,78331	2200	25003902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	95196596,647	29879,322	3,584
89	4400	44000	1,78331	2200	25278902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	94697358,465	29879,322	3,642
90	4450	44500	1,78331	2200	25553902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	94219379,761	29879,322	3,700
91	4500	45000	1,78331	2200	25828902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	93761540,839	29879,322	3,757
92	4550	45500	1,78331	2200	26103902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	93322792,030	29879,322	3,815
93	4600	46000	1,78331	2200	26378902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	92902148,636	29879,322	3,872
94	4650	46500	1,78331	2200	26653902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	92498686,287	29879,322	3,929
95	4700	47000	1,78331	2200	26928902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	92111536,672	29879,322	3,986
96	4750	47500	1,78331	2200	27203902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	91739883,611	29879,322	4,043
97	4800	48000	1,78331	2200	27478902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	91382959,443	29879,322	4,099
98	4850	48500	1,78331	2200	27753902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	91040041,690	29879,322	4,155
99	4900	49000	1,78331	2200	28028902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	90710449,989	29879,322	4,211
100	4950	49500	1,78331	2200	28303902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	90393543,252	29879,322	4,267
101	5000	50000	1,78331	2200	28578902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	90088717,048	29879,322	4,323
102	5050	50500	1,78331	2200	28853902,55	9793151,579	79731766,354	337127368,106	89795401,179	29879,322	4,378
103	5059,459	50594,589	1,78331	2200	28905926,28	9793151,579	79731766,354	337127368,106	89741162,534	29879,322	4,389



Keterangan pengisian kolom *table 3.7*

❖ Kolom 1

Nomor urut

❖ Kolom 2

Beban (P) Kg, pemberian beban dengan kelipatan 50 Kg

❖ Kolom 3

Beban (P) N, besar beban pada kolom 2 diconversikan ke satuan Newton (N)

❖ Kolom 4

Beban merata 10/15 (q) N/mm

$q = b \times h \times \text{berat jenis beton}$

$q = b \times h \times 2400$

*dimana ;*       $b$       = lebar balok (mm)

$h$       = tebal balok (mm)

$bj$      = berat jenis beton

❖ Kolom 5

Panjang Balok (L) mm

❖ Kolom 6

Momen (N) Nmm. (Nomor Urut 1)

$$\frac{1}{8} \times q \times l^2$$

Momen (M) Nmm. (Nomor urut 2 s/d 15)

$$\frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

*Dimana ;*       $q = \text{beban merata (N/mm)}$

$P = \text{beban terpusat (N)}$

$l = \text{panjang balok (mm)}$

❖ Kolom 7

Momen saat timbul retak pertama kali ( $M_{cr}$ ) Nmm

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{Y_t}$$

$$f_r = 0.75 \sqrt{f'_c} = 3.001 \text{ Mpa}$$

$$I_g = \frac{be hf^3}{12} + be hf \left[ -\frac{hf}{2} \right]^2 + \frac{bw (h-hf)^3}{12} + bw [h-hf] \left[ yt - \frac{h-hf}{2} \right]^2$$

$$Y_t = h/2 = 150/2 = 75 \text{ mm}$$

Dimana ;  $f_r = \text{Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)}$

$I_g = \text{Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu, dengan pengabaikan tulangan (mm}^4\text{)}$

$Y_t = \text{Tarak dari pusat penampang bruto dengan mengabaikan keberadaan tulangan, keserat tarik terluar (mm)}$

$h = \text{Tinggi balok (mm)}$

❖ Kolom 8

Momen inersia penampang retak transformasi ( $I_{cr}$ ) mm<sup>4</sup>

$$I_{cr} = 1/3 by^3 + nAs (d - y)^2 + (n - 1) A's (y - d')^2$$

❖ Kolom 9

Momen inersia penampang utuh ( $I_g$ ) mm<sup>4</sup>

$$I_g = bh^3 / 12$$

Dimana ;  $b = \text{lebar balok (mm)}$

$h = \text{tebal balok (mm)}$

❖ Kolom 10

Momen inersia efektif ( $I_e$ )  $\text{mm}^4$  (Nomor urut 1 s/d 2) Nilainya diambil dari  $I_g$ , karena penampang masih dalam keadaan utuh. Momen inersia efektif ( $I_g$ )  $\text{mm}^4$  (Nomor urut 3 s/d 15 )

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^3 I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \right] I_{cr} \quad I_g$$

Dimana ;  $M_{cr} = \text{momen saat timbul retak pertama kali (Nmm)}$

$M = \text{Momen (Nmm)}$

$I_g = \text{momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu, dengan pengabaian tulangan (mm}^4\text{)}$

$I_{cr} = \text{perhitungan momen inersia penampang retak transformasi balok (mm}^4\text{)}$

❖ Kolom 11

Modulus Elastisitas Beton ( $E_c$ ) MPa

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

Dimana ;  $f'_c = \text{Kuat Tekan Beton (Mpa)}$

❖ Kolom 12

Defleksi yang terjadi pada balok ( ) mm (Nomor urut 1)

$$= \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok ( )mm (Nomor urut 2 s/d 103)

$$= \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

Dimana ;  $\Delta$  = lendutan (mm)

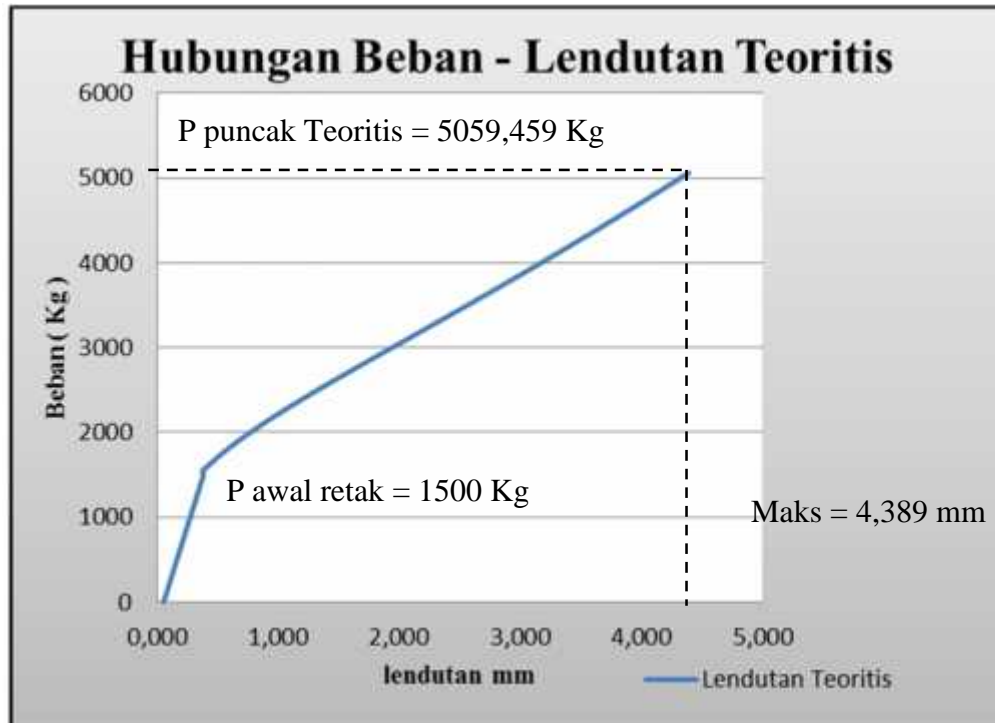
$P$  = beban terpusat (kg)

$l_n$  = panjang balok (mm)

$E_c$  = modulus elastisitas beton (Mpa)

$I_e$  = momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$q$  = berat merata balok 10/15 (N/mm)



*Grafik 3.2 Hubungan Beban – Lendutan Teoritis*

Kurva beban – lendutan balok beton yang terlihat pada *grafik 3.2* diatas adalah hasil analisis teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka – angka pada *tabel 3.7* yaitu angka – angka pada kolom 12 untuk arah horizontal (*Lendutan*) dan kolom 2 untuk arah vertical (beban). Sedangkan terlihat pada beban ( *P* ) 1500 kg, terjadi retak pertama pada balok beton.

### 3.7 Perhitungan Kuat Lentur Teoritis

Data perencanaan :  $l = 2200 \text{ mm}$

$q = 1,738 \text{ N/mm}$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\
 &= \frac{1}{8} \times 1,738 \times 2000^2 + \frac{1}{4} \times 500 \times 2000 \\
 &= 1353902,55 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

*Tabel 3.8 Hasil analisa teoritis kuat lentur*

Beban ( Kg )	Beban ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( ) (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6
0	0	1,78331	2200	0,054	1078902,55
50	500	1,78331	2200	0,065	1353902,55
100	1000	1,78331	2200	0,076	1628902,55
150	1500	1,78331	2200	0,087	1903902,55
200	2000	1,78331	2200	0,098	2178902,55
250	2500	1,78331	2200	0,109	2453902,55
300	3000	1,78331	2200	0,120	2728902,55
350	3500	1,78331	2200	0,131	3003902,55
400	4000	1,78331	2200	0,142	3278902,55
450	4500	1,78331	2200	0,153	3553902,55
500	5000	1,78331	2200	0,164	3828902,55
550	5500	1,78331	2200	0,175	4103902,55
600	6000	1,78331	2200	0,186	4378902,55
650	6500	1,78331	2200	0,197	4653902,55
700	7000	1,78331	2200	0,208	4928902,55
750	7500	1,78331	2200	0,219	5203902,55
800	8000	1,78331	2200	0,230	5478902,55
850	8500	1,78331	2200	0,241	5753902,55
900	9000	1,78331	2200	0,252	6028902,55
950	9500	1,78331	2200	0,263	6303902,55
1000	10000	1,78331	2200	0,274	6578902,55
1050	10500	1,78331	2200	0,285	6853902,55
1100	11000	1,78331	2200	0,296	7128902,55
1150	11500	1,78331	2200	0,307	7403902,55

1200	12000	1,78331	2200	0,318	7678902,55
1250	12500	1,78331	2200	0,329	7953902,55
1300	13000	1,78331	2200	0,340	8228902,55
1350	13500	1,78331	2200	0,351	8503902,55
1400	14000	1,78331	2200	0,362	8778902,55
1450	14500	1,78331	2200	0,373	9053902,55
1500	15000	1,78331	2200	0,384	9328902,55
1550	15500	1,78331	2200	0,442	9603902,55
1600	16000	1,78331	2200	0,483	9878902,55
1650	16500	1,78331	2200	0,526	10153902,55
1700	17000	1,78331	2200	0,571	10428902,55
1750	17500	1,78331	2200	0,617	10703902,55
1800	18000	1,78331	2200	0,665	10978902,55
1850	18500	1,78331	2200	0,715	11253902,55
1900	19000	1,78331	2200	0,766	11528902,55
1950	19500	1,78331	2200	0,818	11803902,55
2000	20000	1,78331	2200	0,872	12078902,55
2050	20500	1,78331	2200	0,926	12353902,55
2100	21000	1,78331	2200	0,982	12628902,55
2150	21500	1,78331	2200	1,039	12903902,55
2200	22000	1,78331	2200	1,096	13178902,55
2250	22500	1,78331	2200	1,155	13453902,55
2300	23000	1,78331	2200	1,214	13728902,55
2350	23500	1,78331	2200	1,273	14003902,55
2400	24000	1,78331	2200	1,334	14278902,55
2450	24500	1,78331	2200	1,395	14553902,55
2500	25000	1,78331	2200	1,456	14828902,55
2550	25500	1,78331	2200	1,517	15103902,55
2600	26000	1,78331	2200	1,579	15378902,55
2650	26500	1,78331	2200	1,641	15653902,55
2700	27000	1,78331	2200	1,703	15928902,55
2750	27500	1,78331	2200	1,766	16203902,55
2800	28000	1,78331	2200	1,828	16478902,55
2850	28500	1,78331	2200	1,891	16753902,55
2900	29000	1,78331	2200	1,953	17028902,55
2950	29500	1,78331	2200	2,016	17303902,55
3000	30000	1,78331	2200	2,079	17578902,55
3050	30500	1,78331	2200	2,141	17853902,55
3100	31000	1,78331	2200	2,203	18128902,55
3150	31500	1,78331	2200	2,266	18403902,55
3200	32000	1,78331	2200	2,328	18678902,55
3250	32500	1,78331	2200	2,390	18953902,55
3300	33000	1,78331	2200	2,451	19228902,55
3350	33500	1,78331	2200	2,513	19503902,55
3400	34000	1,78331	2200	2,574	19778902,55
3450	34500	1,78331	2200	2,635	20053902,55

3500	35000	1,78331	2200	2,696	20328902,55
3550	35500	1,78331	2200	2,757	20603902,55
3600	36000	1,78331	2200	2,817	20878902,55
3650	36500	1,78331	2200	2,878	21153902,55
3700	37000	1,78331	2200	2,938	21428902,55
3750	37500	1,78331	2200	2,997	21703902,55
3800	38000	1,78331	2200	3,057	21978902,55
3850	38500	1,78331	2200	3,116	22253902,55
3900	39000	1,78331	2200	3,175	22528902,55
3950	39500	1,78331	2200	3,234	22803902,55
4000	40000	1,78331	2200	3,293	23078902,55
4050	40500	1,78331	2200	3,351	23353902,55
4100	41000	1,78331	2200	3,409	23628902,55
4150	41500	1,78331	2200	3,467	23903902,55
4200	42000	1,78331	2200	3,525	24178902,55
4250	42500	1,78331	2200	3,582	24453902,55
4300	43000	1,78331	2200	3,639	24728902,55
4350	43500	1,78331	2200	3,696	25003902,55
4400	44000	1,78331	2200	3,753	25278902,55
4450	44500	1,78331	2200	3,809	25553902,55
4500	45000	1,78331	2200	3,866	25828902,55
4550	45500	1,78331	2200	3,922	26103902,55
4600	46000	1,78331	2200	3,977	26378902,55
4650	46500	1,78331	2200	4,033	26653902,55
4700	47000	1,78331	2200	4,089	26928902,55
4750	47500	1,78331	2200	4,144	27203902,55
4800	48000	1,78331	2200	4,199	27478902,55
4850	48500	1,78331	2200	4,254	27753902,55
4900	49000	1,78331	2200	4,309	28028902,55
4950	49500	1,78331	2200	4,363	28303902,55
5000	50000	1,78331	2200	4,418	28578902,55
5050	50500	1,78331	2200	4,472	28853902,55
5059,46	50594,6	1,78331	2200	4,482	28905926,28

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 3.8.**

- Kolom 1  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 2  
Beban (P) N
- Kolom 3



Beban merata (q) N/mm

q = Luas penampang x berat jenis

$$= (0,08 \times 0,63) + (0,15 \times 0,17) \times 2362$$

$$= 178,331 \text{ Kg/m}$$

$$= 1,783 \text{ N/mm}$$

- Kolom 4

Panjang balok (L) mm

- Kolom 5

lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm, misalkan pada beban 10000 N :

Dimana :

Panjang (L) = 2200 mm

Beban merata (q) = 1.783 N/mm

Modulus elastisitas (Ec) =  $4700\sqrt{f'_c}$   
=  $4700\sqrt{40.415}$   
= 29879.322 MPa

Momen inersia efektif (Ie) =  $\left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$   
=  $\left(\frac{9793151,579 \text{ Nmm}}{9328902,550 \text{ Nmm}}\right)^3 337127368,1 + \left[1 - \left(\frac{9793151,579}{9328902,6}\right)^3\right] 179731766,4$   
= 377498983.441 mm<sup>4</sup>

Jadi besar lendutan pada beban 10000 N adalah :

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5ql^4}{384E_c I_e}$$

$$\Delta = \frac{10000(2200)^3}{48 \times 29879.322 \times 377498983.44} + \frac{5 \times 1.783 \times 2200^4}{384 \times 29879.322 \times 377498983.44}$$

$$= 0,274 \text{ mm}$$

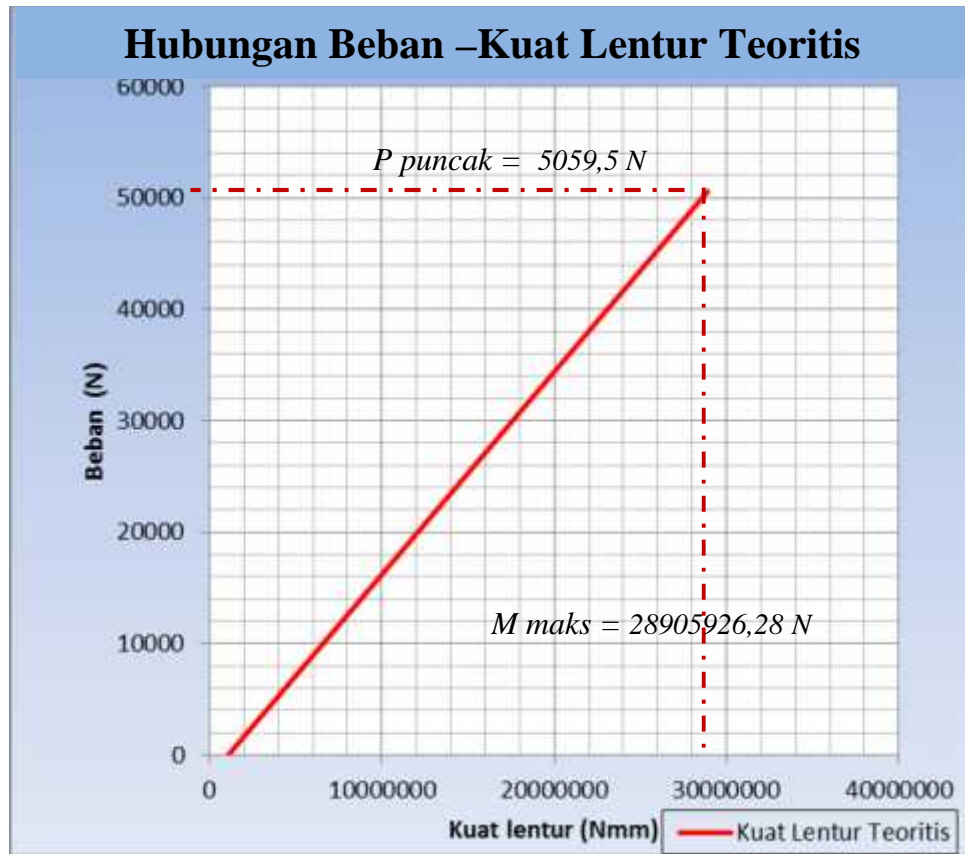
- Kolom 6

Kuat Lentur ( M ) Nmm, misalkan pada beban 10000 N :

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

$$= \frac{1}{8} \times 1.783 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 10000 \times 2200$$

$$= 6578902.550 \text{ Nmm}$$



*Grafik 3.3 Hubungan Beban - Kuat Lentur Teoritis*

Pada grafik hubungan beban - kuat lentur balok beton yang terlihat pada Grafik 3.3 diatas adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.8 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur *Nmm*) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban *N*). Sedangkan terlihat pada beban puncak 5059,46 N dengan besar kuat lentur 28905926,28 Nmm.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisis Eksperimen Lendutan

Parameter perancangan yang telah dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Balok "T" dengan penampang  $hf = 80$  mm,  $b_w = 150$  mm,  $h = 250$  mm,  
 $be = \frac{1}{4}$  bentang balok ( $\frac{1}{4} L$ ) =  $\frac{1}{4} \times 2500 = 625$  mm.

$$be = 16 hf + bw = (16 \times 80) + 150 = 1430 \text{ mm.}$$

maka diambil yang terkecil  $be = 625$  mm.

- b. Panjang balok  $L = 2500$  mm  
c. Selimut beton balok = 10 mm.  
d. Kuat tekan beton  $f'_c = 30$  MPa.  
e. Kuat leleh tulangan polos  $f_y = 240$  Mpa.  
f. Tulangan geser balok  $\varnothing 6$ .  
g. Tulangan longitudinal balok  $\varnothing 10$  mm.  
h. Tulangan pelat  $\varnothing 6$ .

#### 4.1.1. Balok Tanpa Sambungan Beton Dan Tulangan

##### 1. Balok Tanpa Sambungan A (BTS-A)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok atau pada kotak 29 pada saat beban mencapai  $P = 1543,08 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 1,70 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 10,07 \text{ mm}$ . Pada saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini.

*Tabel 4.1 Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambunganA (BTS-A)*

Benda uji Tanggal pengujian		BTS-A 09/01/2015	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	22,65	0,00
2	55,11	22,65	0,00
3	110,22	22,67	0,02
4	165,33	22,76	0,11
5	220,44	22,78	0,13
6	275,55	22,82	0,17
7	330,66	22,85	0,20
8	385,77	22,88	0,23
9	440,88	22,92	0,27
10	495,99	22,97	0,32
11	551,1	23,03	0,38
12	606,21	23,07	0,42
13	661,32	23,11	0,46

14	716,43	23,16	0,51
15	771,54	23,19	0,54
16	826,65	23,27	0,62
17	881,76	23,29	0,64
18	936,87	23,33	0,68
19	991,98	23,36	0,71
20	1047,09	23,42	0,77
21	1102,2	23,47	0,82
22	1157,31	23,51	0,86
23	1212,42	23,54	0,89
24	1267,53	23,61	0,96
25	1322,64	23,65	1,00
26	1377,75	23,7	1,05
27	1432,86	24,2	1,55
28	1487,97	24,24	1,59
29 Retak awal	1543,08	24,35	1,70
30	1598,19	24,47	1,82
31	1653,3	24,56	1,91
32	1708,41	24,68	2,03
33	1763,52	24,88	2,23
34	1818,63	24,96	2,31
35	1873,74	25,1	2,45
36	1928,85	25,21	2,56
37	1983,96	25,54	2,89
38	2039,07	25,63	2,98
39	2094,18	25,78	3,13
40	2149,29	25,92	3,27
41	2204,4	26,1	3,45
42	2259,51	26,31	3,66
43	2314,62	26,47	3,82
44	2369,73	26,59	3,94
45	2424,84	26,72	4,07
46	2479,95	26,86	4,21
47	2535,06	27,02	4,37
48	2590,17	27,15	4,50
49	2645,28	27,34	4,69
50	2700,39	27,46	4,81
51	2755,5	27,7	5,05

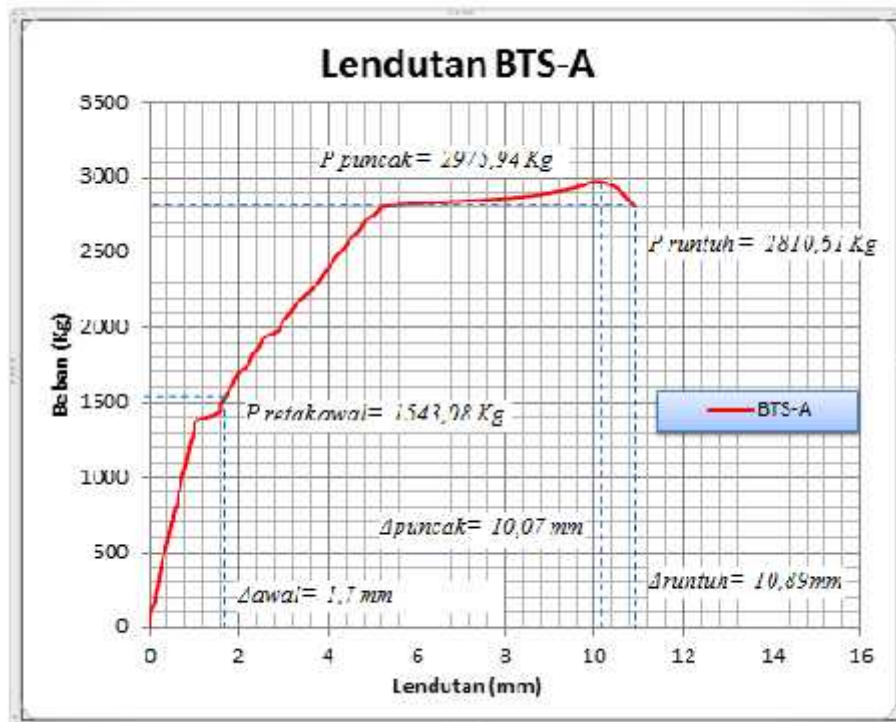
52	2810,61	27,96	5,31
53	2865,72	30,76	8,11
54	2920,83	32,06	9,41
<b>55 Pmax</b>	<b>2975,94</b>	<b>32,72</b>	<b>10,07</b>
56	2920,83	33,19	10,54
57	2810,61	33,54	10,89

1

**Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.1.**

- Kolom 1  
Nomor urut
- Kolom 2  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 3  
Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.
- Kolom 4  
Lendutan yang terjadi pada balok (   ) mm ( Nomor urut 2 s/d 54 )  
= (( Bacaan MVD nomor urut 2 - Bacaan MVD nomor urut 1 ) x 0.01) +  
lendutan Nomor urut 1

**Grafik 4.1** Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A (BTS-A)



Grafik hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan A (BTS-A) yang terlihat pada Grafik 4.1 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.1 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Seperti yang terlihat pada grafik 4.1 diketahui retak awal pada balok T pada beban  $P$  retak awal = 1212.42 Kg dan lendutan = 0.89 mm. Sedangkan beban  $P$  puncak = 2590,17 Kg dengan nilai lendutan = 10.07 mm dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan runtuh dengan  $P = 2810.61$  Kg dengan besar lendutan 9,41 mm.





**Gambar 4.1** Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambunganA (BTS-A)

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 1,2$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



**Gambar 4.2** Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan A (BTS-A)

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

## **2. Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B)**

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-B diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok atau pada kotak 23 pada saat beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 1,45 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 5.40 \text{ mm}$ . Pada saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2** Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambunganB (BTS-B)

Benda uji		BTS-B	
Tanggal pengujian		14/01/2014	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0,00	12,37	0,00
2	55,11	12,37	0,00
3	110,22	12,43	0,06
4	165,33	12,48	0,11
5	220,44	12,53	0,16
6	275,55	12,60	0,23
7	330,66	12,63	0,26
8	385,77	12,69	0,32
9	440,88	12,73	0,36
10	495,99	12,81	0,44
11	551,10	12,85	0,48
12	606,21	12,89	0,52
13	661,32	12,95	0,58
14	716,43	13,01	0,64
15	771,54	13,06	0,69
16	826,65	13,12	0,75
17	881,76	13,18	0,81
18	936,87	13,23	0,86
19	991,98	13,29	0,92
20	1047,09	13,39	1,02
21	1102,20	13,44	1,07
22	1157,31	13,55	1,18
23 Retak Awal	1212,42	13,82	1,45
24	1267,53	13,85	1,48
25	1322,64	13,89	1,52
26	1377,75	14,01	1,64
27	1432,86	14,11	1,74
28	1487,97	14,21	1,84
29	1543,08	14,30	1,93
30	1598,19	14,43	2,06
31	1653,30	14,57	2,20
32	1708,41	14,69	2,32

33	1763,52	14,87	2,50
34	1818,63	15,50	3,13
35	1873,74	15,66	3,29
36	1928,85	15,80	3,43
37	1983,96	15,95	3,58
38	2039,07	16,11	3,74
39	2094,18	16,24	3,87
40	2149,29	16,40	4,03
41	2204,40	16,54	4,17
42	2259,51	16,69	4,32
43	2314,62	16,84	4,47
44	2369,73	16,97	4,60
45	2424,84	17,17	4,80
46	2479,95	17,33	4,96
47	2535,06	17,56	5,19
48 P max	2590,17	17,77	5,40
49	2535,06	19,32	6,95
50	2479,95	20,10	7,73
51	2424,84	20,64	8,27
52	2369,73	20,85	8,48
53	2314,62	20,95	8,58
54	2259,51	21,13	8,76
55	2204,40	21,34	8,97
56	2149,29	21,61	9,24
57	2094,18	21,97	9,60

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.2.**

- Kolom 1  
Nomor urut
- Kolom 2  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

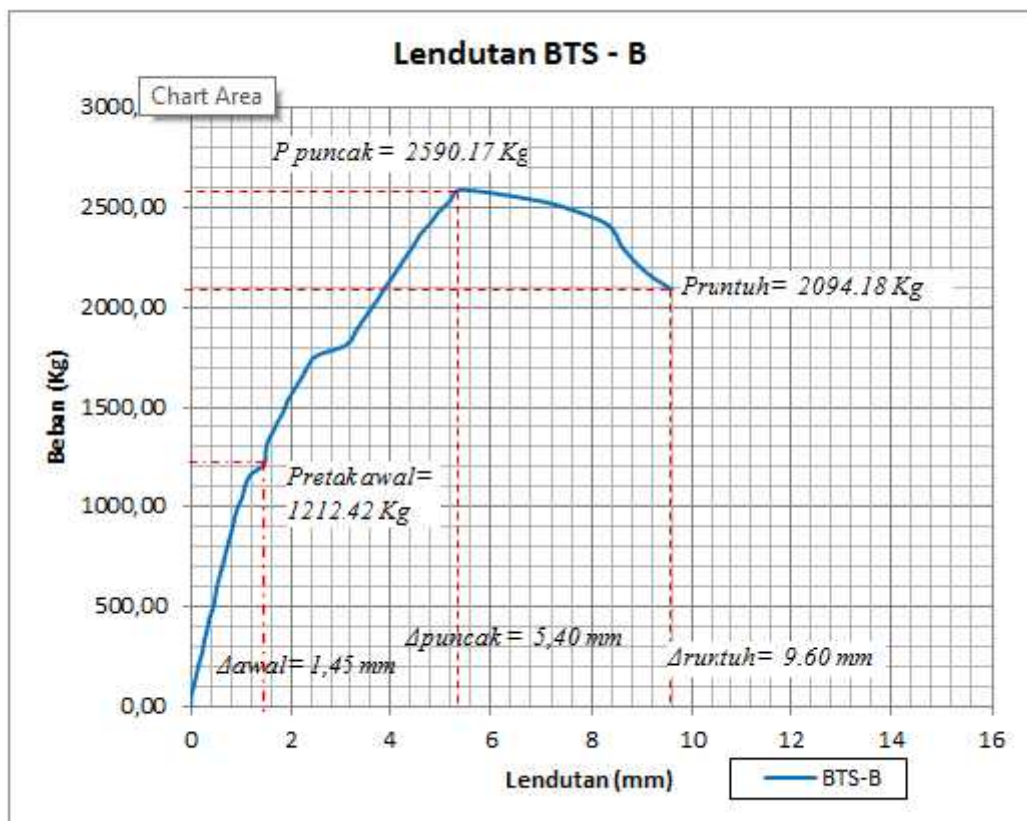
➤ Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm ( Nomor urut 2 s/d 50 )

$$= (( \text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1} ) \times 0.01) +$$

lendutan Nomor urut 1

**Grafik 4.2 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan B (BTS-B)**



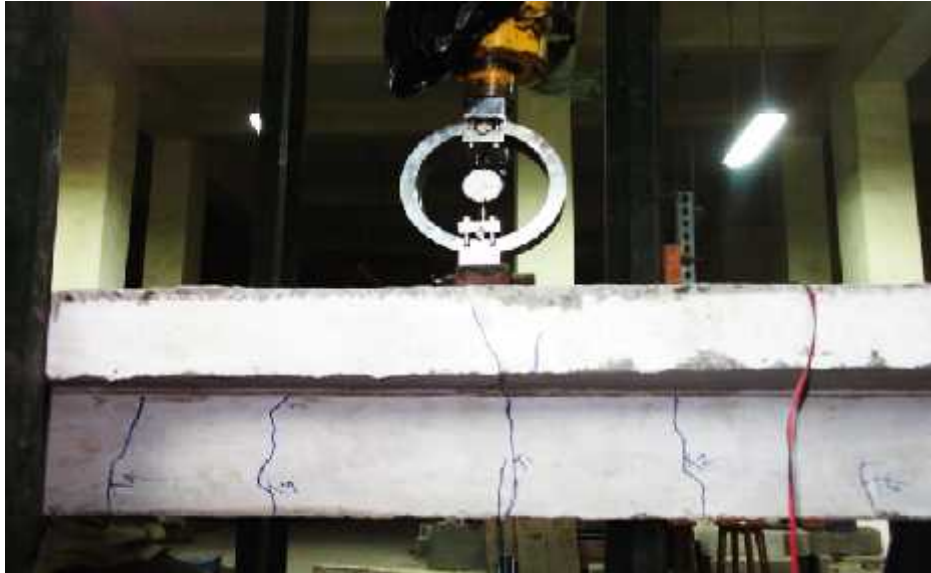
Grafik hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan B (BTS-B) yang terlihat pada Grafik 4.2 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.2 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.2 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1212.42 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.45 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2591.17 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 5.40 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2094.18 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 9.60 mm.



**Gambar 4.3** Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan **B (BTS-B)**

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 1.25$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



**Gambar 4.4** Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan B  
( BTS-B )

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus

didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

### 3. Balok Tanpa Sambungan C (BTS-C)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-C diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok atau pada kotak 32 pada saat beban mencapai  $P = 1708,41 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 1.61 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2755,50 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $= 6,26 \text{ mm}$ . Pada saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

**Tabel 4.3** Data hasil eksperimen lendutan balok tanpa sambunganC (BTS-C)

Benda uji		BTS-C	
Tanggal pengujian		15/01/2015	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	15,65	0,00
2	55,11	15,68	0,03
3	110,22	15,74	0,09
4	165,33	15,77	0,12
5	220,44	15,82	0,17
6	275,55	15,86	0,21
7	330,66	15,92	0,27
8	385,77	15,98	0,33
9	440,88	16,04	0,39
10	495,99	16,07	0,42



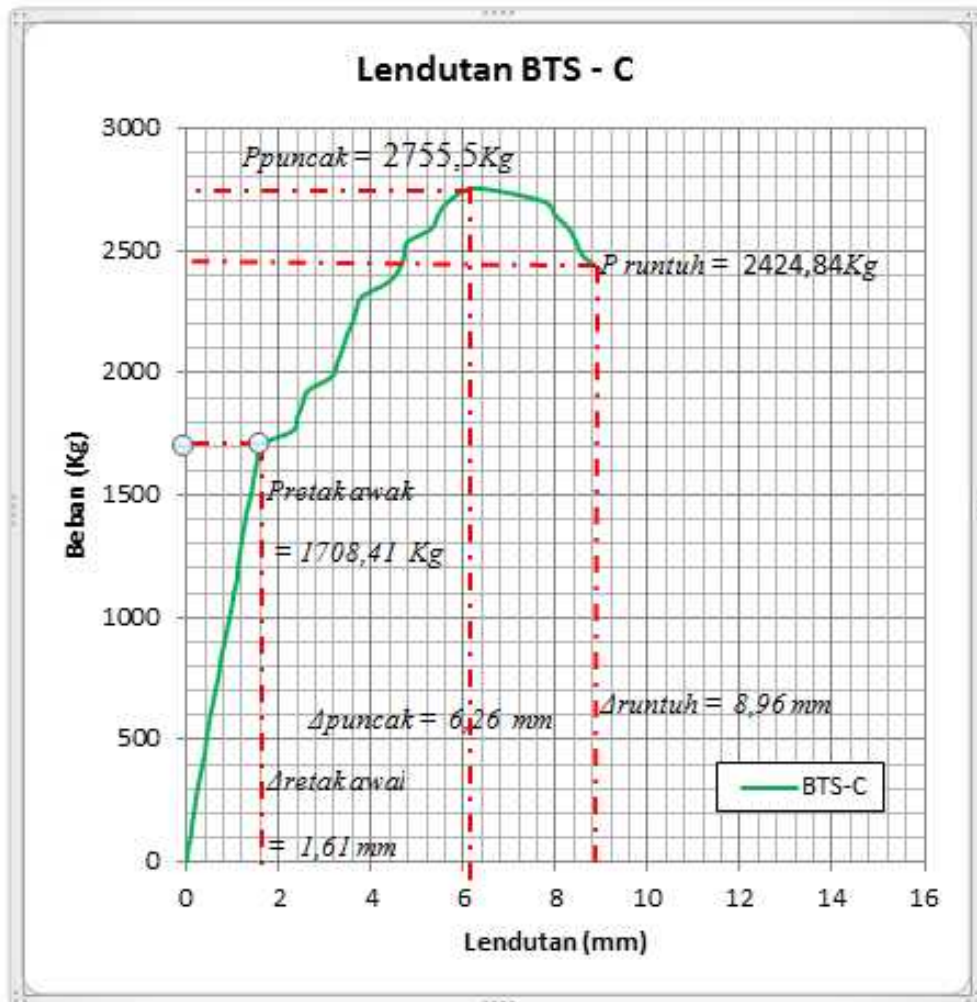
11	551,1	16,12	0,47
12	606,21	16,17	0,52
13	661,32	16,23	0,58
14	716,43	16,29	0,64
15	771,54	16,35	0,70
16	826,65	16,38	0,73
17	881,76	16,45	0,80
18	936,87	16,51	0,86
19	991,98	16,57	0,92
20	1047,09	16,63	0,98
21	1102,2	16,67	1,02
22	1157,31	16,75	1,10
23	1212,42	16,76	1,11
24	1267,53	16,81	1,16
25	1322,64	16,85	1,20
26	1377,75	16,90	1,25
27	1432,86	16,95	1,30
28	1487,97	17,03	1,38
29	1543,08	17,08	1,43
30	1598,19	17,13	1,48
31	1653,3	17,19	1,54
32 Retak Awal	1708,41	17,26	1,61
33	1763,52	17,95	2,30
34	1818,63	18,05	2,40
35	1873,74	18,16	2,51
36	1928,85	18,28	2,63
37	1983,96	18,79	3,14
38	2039,07	18,91	3,26
39	2094,18	19,02	3,37
40	2149,29	19,11	3,46
41	2204,4	19,24	3,59
42	2259,51	19,33	3,68
43	2314,62	19,46	3,81
44	2369,73	20,01	4,36
45	2424,84	20,26	4,61
46	2479,95	20,37	4,72
47	2535,06	20,43	4,78
48	2590,17	20,95	5,30
49	2645,28	21,10	5,45

50	2700,39	21,32	5,67
51 Pmax	2755,5	21,91	6,26
52	2700,38	23,41	7,76
53	2645,28	23,64	7,99
54	2590,17	23,94	8,29
55	2535,06	24,10	8,45
56	2479,95	24,24	8,59
57	2424,84	24,61	8,96

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.3.**

- Kolom 1  
Nomor urut
- Kolom 2  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 3  
Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.
- Kolom 4  
Lendutan yang terjadi pada balok (   ) mm ( Nomor urut 2 s/d 52 )  
= (( Bacaan MVD nomor urut 2 - Bacaan MVD nomor urut 1 ) x 0.01) +  
lendutan Nomor urut 1

Grafik 4.3 Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan C (BTS-C)



Grafik hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan C (BTS-C) yang terlihat pada grafik 4.3 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada tabel 4.3 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.3 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1708.41 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.61 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2755.5 Kg dan

lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 6.26 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2424.84 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 8.96 mm.



**Gambar 4.5** Pengujian Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan C (BTS-C)

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 1,25$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



**Gambar 4.6** Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan C

(BTS-C)

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

#### 4. Gabungan hubungan beban – lendutan Balok Tanpa Sambungan (BTS)

Tabel 4.4. di bawah ini merupakan gabungan dari hubungan beban dan lendutan Balok Tanpa Sambungan (BTS) A, B, dan C. Dan kemudian dari hasil ketiga benda uji ini, diambil nilai beban dan lendutan rata – ratanya.

*Tabel 4.4 hubungan beban – lendutan BTS A,B,C, dan rata-rata*

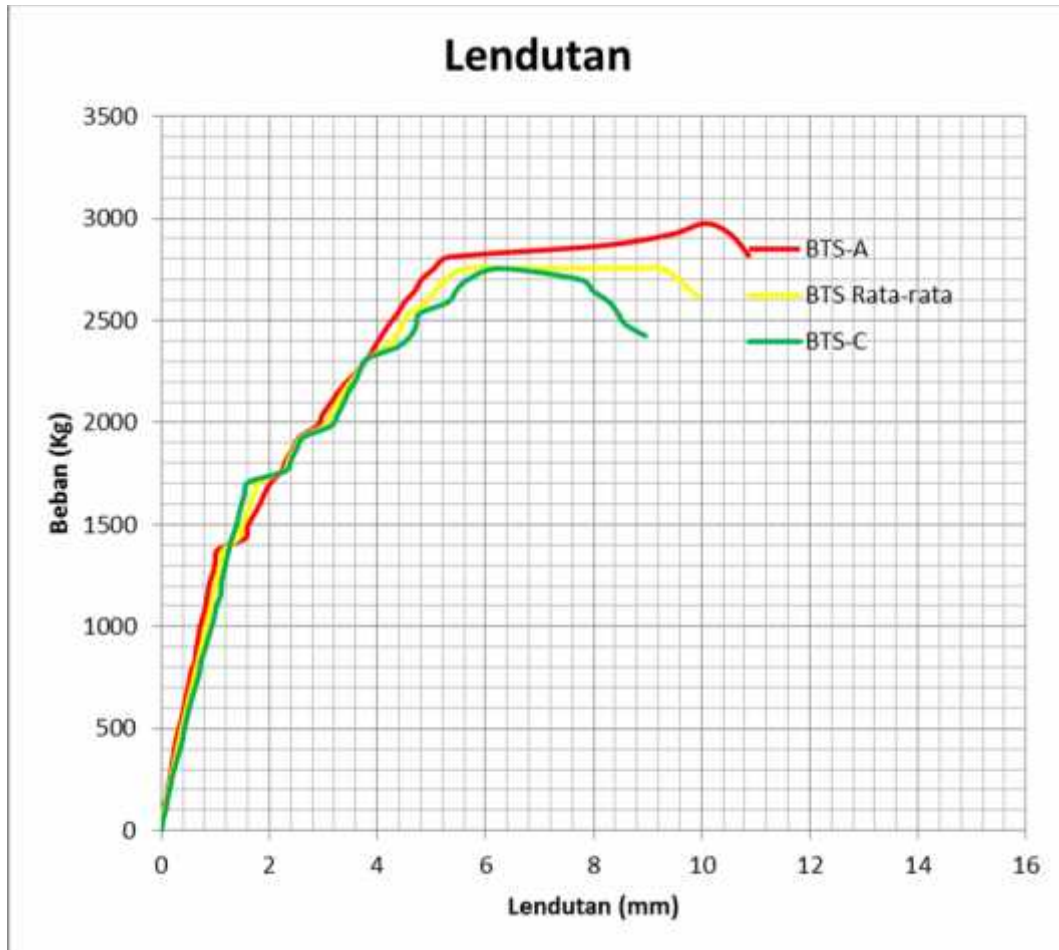
No.	Beban (Kg)		Defleksi (mm)		Rata-rata	
	BTS - A	BTS - C	BTS - A	BTS - C	Defleksi (mm)	Beban (kg)
1	2	4	5	7	9	8
1	0	0	0,00	0,00		0,00
2	55,11	55,11	0,00	0,03	55,11	0,01
3	110,22	110,22	0,02	0,09	110,22	0,06
4	165,33	165,33	0,11	0,12	165,33	0,12
5	220,44	220,44	0,13	0,17	220,44	0,15
6	275,55	275,55	0,17	0,21	275,55	0,19
7	330,66	330,66	0,20	0,27	330,66	0,24

8	385,77	385,77	0,23	0,33	385,77	0,28
9	440,88	440,88	0,27	0,39	440,88	0,33
10	495,99	495,99	0,32	0,42	495,99	0,37
11	551,1	551,1	0,38	0,47	551,10	0,43
12	606,21	606,21	0,42	0,52	606,21	0,47
13	661,32	661,32	0,46	0,58	661,32	0,52
14	716,43	716,43	0,51	0,64	716,43	0,58
15	771,54	771,54	0,54	0,70	771,54	0,62
16	826,65	826,65	0,62	0,73	826,65	0,68
17	881,76	881,76	0,64	0,80	881,76	0,72
18	936,87	936,87	0,68	0,86	936,87	0,77
19	991,98	991,98	0,71	0,92	991,98	0,82
20	1047,09	1047,09	0,77	0,98	1047,09	0,88
21	1102,2	1102,2	0,82	1,02	1102,20	0,92
22	1157,31	1157,31	0,86	1,10	1157,31	0,98
23	1212,42	1212,42	0,89	1,11	1212,42	1,00
24	1267,53	1267,53	0,96	1,16	1267,53	1,06
25	1322,64	1322,64	1,00	1,20	1322,64	1,10
26	1377,75	1377,75	1,05	1,25	1377,75	1,15
27	1432,86	1432,86	1,55	1,30	1432,86	1,43
28	1487,97	1487,97	1,59	1,38	1487,97	1,49
29	1543,08	1543,08	1,70	1,43	1543,08	1,57
30	1598,19	1598,19	1,82	1,48	1598,19	1,65
31	1653,3	1653,3	1,91	1,54	1653,30	1,73
32	1708,41	1708,41	2,03	1,61	1708,41	1,82
33	1763,52	1763,52	2,23	2,30	1763,52	2,27
34	1818,63	1818,63	2,31	2,40	1818,63	2,36
35	1873,74	1873,74	2,45	2,51	1873,74	2,48
36	1928,85	1928,85	2,56	2,63	1928,85	2,60
37	1983,96	1983,96	2,89	3,14	1983,96	3,02
38	2039,07	2039,07	2,98	3,26	2039,07	3,12
39	2094,18	2094,18	3,13	3,37	2094,18	3,25
40	2149,29	2149,29	3,27	3,46	2149,29	3,37
41	2204,4	2204,4	3,45	3,59	2204,40	3,52
42	2259,51	2259,51	3,66	3,68	2259,51	3,67
43	2314,62	2314,62	3,82	3,81	2314,62	3,82
44	2369,73	2369,73	3,94	4,36	2369,73	4,15
45	2424,84	2424,84	4,07	4,61	2424,84	4,34
46	2479,95	2479,95	4,21	4,72	2479,95	4,47

47	2535,06	2535,06	4,37	4,78	2535,06	4,58
48	2590,17	2590,17	4,50	5,30	2590,17	4,90
49	2645,28	2645,28	4,69	5,45	2645,28	5,07
50	2700,39	2700,39	4,81	5,67	2700,39	5,24
51	2755,5	2755,5	5,05	6,26	2755,50	5,66
52	2810,61	2700,38	5,31	7,76	2755,50	6,54
53	2865,72	2645,28	8,11	7,99	2755,50	8,05
54	2920,83	2590,17	9,41	8,29	2755,50	8,85
55	2975,94	2535,06	10,07	8,45	2755,50	9,26
56	2920,83	2479,95	10,54	8,59	2700,39	9,57
57	2810,61	2424,84	10,89	8,96	2617,73	9,93

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan ( $P$ ) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai lendutan menggunakan alat MVD amplifier.

*Grafik 4.4 Hubungan Beban – Lendutan BTSA,B,C, dan Rata-Rata BTS*



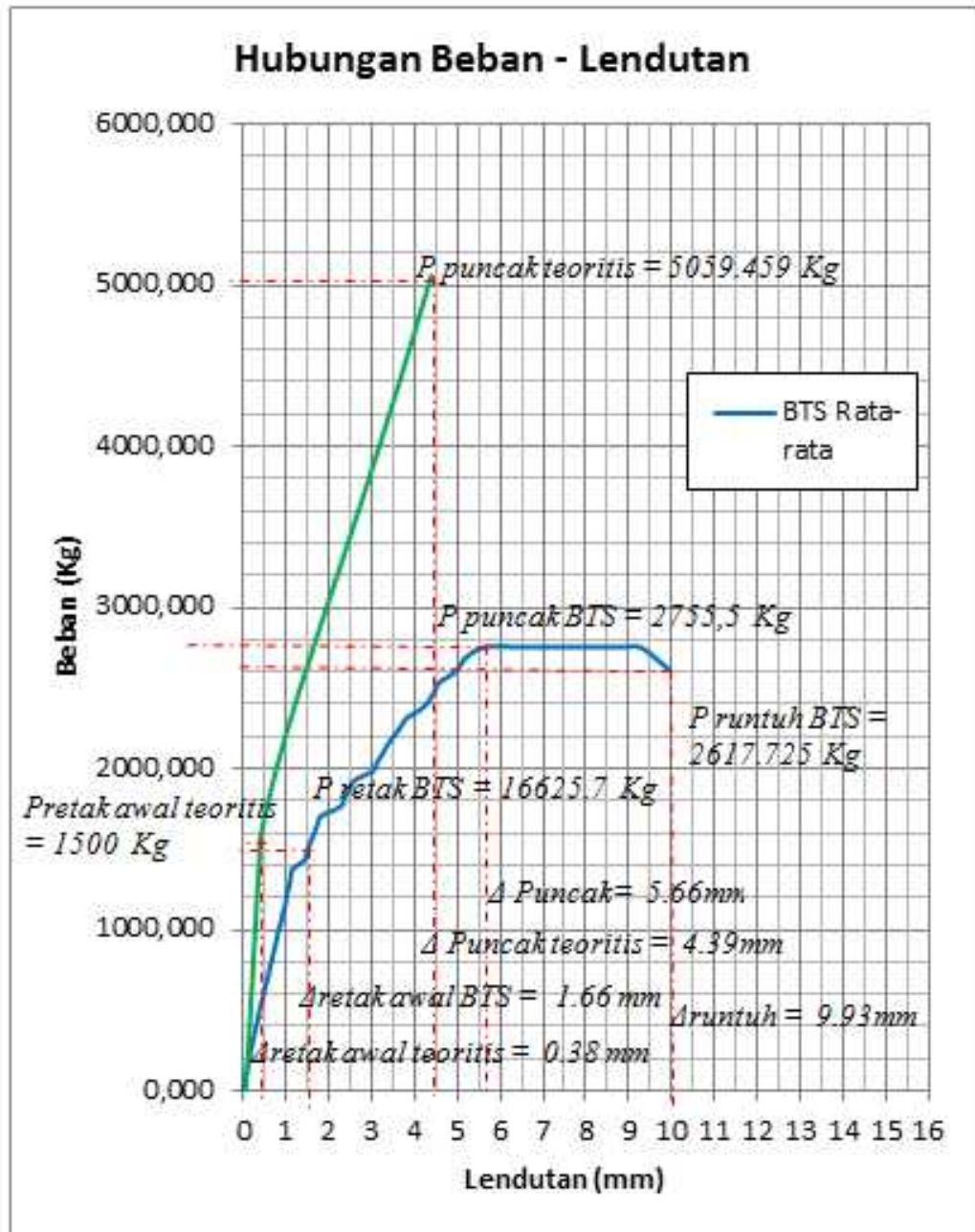
Grafik hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-A, BTS-B, BTS-C, dan Rata-rata yang terlihat pada grafik 4.4 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.4 yaitu angka-angka pada kolom 9 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 8 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).



Berdasarkan bentuk grafik 4.4 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $\delta$  (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok tanpa sambungan A,B,C,dan rata-rata sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $\delta$  (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Grafik hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan A (BTS-A) mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2920.83 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2810.61 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 10.89 mm.
2. Grafik hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan C (BTS-C) mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2755.5 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2424.84 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 8.96 mm.
3. Grafik hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan C (BTS-C) mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2755,50 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2617,73Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 9,93 mm.

Grafik 4.5. Hubungan Beban-Lendutan BTS Rata-Rata dan Teoritis.



Pada grafik 4.4 diatas yang menunjukkan hubungan beban dengan lendutan balok T tanpa sambung rata – rata dan teoritis menunjukkan terjadinya perbedaan yaitu balok T tanpa sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban ( P ) = 1625.75 Kg serta lendutan yang terjadi (  $\delta$  ) = 1.66 mm. Beban puncak yang terjadi pada BTS rata-rata terjadi pada beban ( P ) = 2755.5 Kg serta lenduta yang terjadi (  $\delta$  ) = 5.66 mm. Sedangkan balok T tanpa sambungan rata-rata mengalami runtuh pada beban ( P ) = 2617.725 Kg dan lendutan yang terjadi (  $\delta$  ) = 9.82 mm. Sedangkan untuk balok T teoritis terjadi retak awal pada beban ( P ) = 1500 Kg dan lendutan (  $\delta$  ) = 0.38 mm. Beban puncak teoritis ( P ) = 5059.459 Kg dan lendutan (  $\delta$  ) = 4.39 mm

#### **4.1.2. Balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang (1/3)**

##### **1. Balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 (B-1/3) A**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/3 bentang beban mencapai  $P = 1377,75 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan (  $\delta$  ) = 0.82 mm dan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/2 bentang beban mencapai  $P = 1377,75 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan (  $\delta$  ) = 2,18 mm, kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan ( P ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/3 bentang  $P \text{ puncak} = 2259,51 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan (  $\delta$  ) = 2.24 mm dan penambahan beban tekan ( P ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/2 bentang  $P \text{ puncak} = 2259,51 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan (  $\delta$  ) = 6,92 mm. Pada

saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 di bawah ini.

**Tabel 4.5** Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan B 1/3- A pada letak LVDT 1/3 B

<b>Benda uji Tanggal pengujian Letak LVDT</b>		<b>B 1/3 – A 12/01/2015 1/3 B</b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	13,01	0,00
2	55,11	13,02	0,01
3	110,22	13,03	0,02
4	165,33	13,05	0,04
5	220,44	13,06	0,05
6	275,55	13,03	0,02
7	330,66	13,07	0,06
8	385,77	13,08	0,07
9	440,88	13,10	0,09
10	495,99	13,14	0,13
11	551,1	13,17	0,16
12	606,21	13,19	0,18
13	661,32	13,25	0,24
14	716,43	13,27	0,26
15	771,54	13,28	0,27
16	826,65	13,33	0,32
17	881,76	13,36	0,35
18	936,87	13,39	0,38
19	991,98	13,40	0,39
20	1047,09	13,43	0,42
21	1102,2	13,44	0,43
22	1157,31	13,49	0,48
23	1212,42	13,55	0,54

24	1267,53	13,66	0,65
25	1322,64	13,77	0,76
26	1377,75	13,83	0,82
27	1432,86	13,83	0,82
28	1487,97	13,92	0,91
29	1543,08	13,97	0,96
30	1598,19	14,08	1,07
31	1653,3	14,11	1,10
32	1708,41	14,16	1,15
33	1763,52	14,27	1,26
34	1818,63	14,37	1,36
35	1873,74	14,43	1,42
36	1928,85	14,57	1,56
37	1983,96	14,68	1,67
38	2039,07	14,88	1,87
39	2094,18	14,97	1,96
40	2149,29	15,03	2,02
41	2204,4	15,18	2,17
42	2259,51	15,25	2,24
43	2204,4	15,58	2,57
44	2149,29	15,64	2,63
45	2094,18	15,88	2,87
46	2039,07	16,02	3,01
47	1983,96	16,24	3,23
48	1928,85	16,55	3,54
49	1873,74	16,97	3,96
50	1818,63	17,15	4,14
51	1763,52	17,15	4,14
52	1708,41	17,12	4,11

**Tabel 4.6** Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan B 1/3- A pada letak LVDT 1/2 B

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/3 – A</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>12/01/2015</b>	
<b>Letak LVDT</b>		<b>1/2 B</b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	10,33	0,00
2	55,11	10,38	0,05
3	110,22	10,42	0,09
4	165,33	10,47	0,14
5	220,44	10,51	0,18
6	275,55	10,56	0,23
7	330,66	10,60	0,27
8	385,77	10,65	0,32
9	440,88	10,74	0,41
10	495,99	10,82	0,49
11	551,1	10,89	0,56
12	606,21	10,96	0,63
13	661,32	11,05	0,72
14	716,43	11,12	0,79
15	771,54	11,16	0,83
16	826,65	11,25	0,92
17	881,76	11,29	0,96
18	936,87	11,37	1,04
19	991,98	11,40	1,07
20	1047,09	11,49	1,16
21	1102,2	11,57	1,24
22	1157,31	11,63	1,30
23	1212,42	11,88	1,55
24	1267,53	12,10	1,77
25	1322,64	12,37	2,04
26	1377,75	12,51	2,18
27	1432,86	12,62	2,29
28	1487,97	12,81	2,48
29	1543,08	12,92	2,59
30	1598,19	13,10	2,77

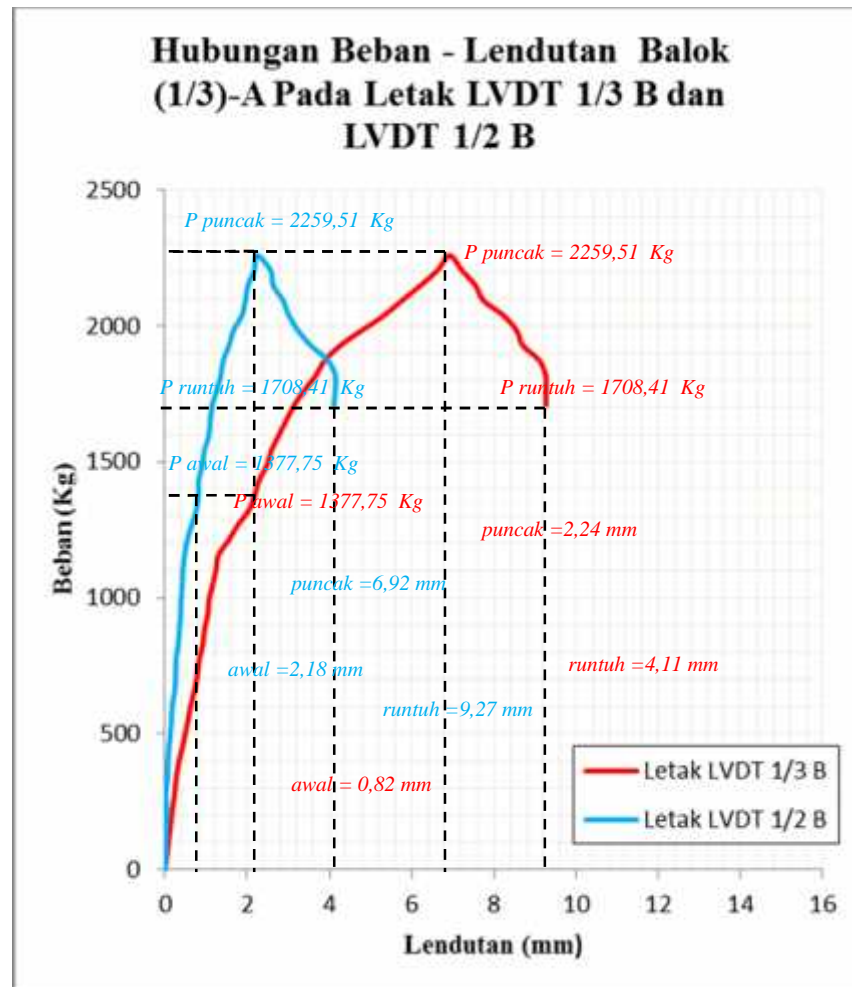
31	1653,3	13,28	2,95
32	1708,41	13,47	3,14
33	1763,52	13,72	3,39
34	1818,63	14,00	3,67
35	1873,74	14,22	3,89
36	1928,85	14,60	4,27
37	1983,96	15,12	4,79
38	2039,07	15,66	5,33
39	2094,18	16,10	5,77
40	2149,29	16,55	6,22
41	2204,4	16,96	6,63
42	2259,51	17,25	6,92
43	2204,4	17,55	7,22
44	2149,29	17,88	7,55
45	2094,18	18,07	7,74
46	2039,07	18,56	8,23
47	1983,96	18,88	8,55
48	1928,85	19,03	8,70
49	1873,74	19,43	9,10
50	1818,63	19,59	9,26
51	1763,52	19,60	9,27
52	1708,41	19,60	9,27

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6**.

- Kolom 1  
Nomor urut
- Kolom 2  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 3  
Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.
- Kolom 4  
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm ( Nomor urut 2 s/d 52 )

= (( Bacaan MVD nomor urut 2 - Bacaan MVD nomor urut 1 ) x 0.01) +  
 lendutan nomor urut 1

**Grafik 4.6** Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan (1/3)-A pada letak LVDT 1/3 B dan LVDT 1/2 B



Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) yang terlihat pada Grafik 4.6 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).



Seperti terlihat dalam Gambar 4.4, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2259,51$  Kg balok pada letak LVDT di  $1/3$  bentang dan pada letak LVDT di  $1/2$  bentang kemudian beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1708,41$  Kg dengan besar lendutan ( ) =  $4,11$  mm pada letak LVDT di  $1/3$  bentang, sedangkan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1708,41$  Kg dengan besar lendutan ( ) =  $9,27$  mm pada letak LVDT di  $1/2$  bentang



**Gambar 4.7** Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan  $1/3$  Bentang A  
( 1/3-A)

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 2.30$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



*Gambar 4.8 Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan  $1/3$  Bentang A  
(  $1/3-A$ )*

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

## 2. Balok Dengan Jarak Sambungan 1/3 (1/3– B)

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/3 bentang beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $0,52 \text{ mm}$  dan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/2 bentang beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $1,38 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan (  $P$  ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/3 bentang  $P \text{ puncak} = 2369,73 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $2,45 \text{ mm}$  dan penambahan beban tekan (  $P$  ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/2 bentang  $P \text{ puncak} = 2369,73 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $6,89 \text{ mm}$ . Pada saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.7 dan tabel 4.8 di bawah ini.

**Tabel 4.8** Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3 B pada letak LVDT 1/3 B

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/3 – B</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>15/01/2015</b>	
<b>Letak LVDT</b>		<b>1/3 B</b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	11,80	0,00
2	55,11	11,79	-0,01
3	110,22	11,79	-0,01
4	165,33	11,84	0,04
5	220,44	11,82	0,02

6	275,55	11,85	0,05
7	330,66	11,85	0,05
8	385,77	11,86	0,06
9	440,88	11,88	0,08
10	495,99	11,90	0,10
11	551,1	11,95	0,15
12	606,21	11,94	0,14
13	661,32	11,95	0,15
14	716,43	11,98	0,18
15	771,54	12,07	0,27
16	826,65	12,02	0,22
17	881,76	12,06	0,26
18	936,87	12,09	0,29
19	991,98	12,15	0,35
20	1047,09	12,20	0,40
21	1102,2	12,22	0,42
22	1157,31	12,26	0,46
23	1212,42	12,32	0,52
24	1267,53	12,40	0,60
25	1322,64	12,44	0,64
26	1377,75	12,45	0,65
27	1432,86	12,50	0,70
28	1487,97	12,53	0,73
29	1543,08	12,59	0,79
30	1598,19	12,61	0,81
31	1653,3	12,71	0,91
32	1708,41	12,77	0,97
33	1763,52	12,84	1,04
34	1818,63	12,93	1,13
35	1873,74	13,03	1,23
36	1928,85	13,14	1,34
37	1983,96	13,27	1,47
38	2039,07	13,39	1,59
39	2094,18	13,55	1,75
40	2149,29	13,77	1,97
41	2204,4	13,88	2,08
42	2259,51	14,07	2,27
43	2314,62	14,13	2,33
44	2369,73	14,25	2,45

45	2314,62	14,50	2,70
46	2259,51	14,60	2,80
47	2204,4	14,78	2,98
48	2149,29	14,97	3,17
49	2094,18	15,04	3,24
50	2039,07	15,21	3,41
51	1983,96	15,25	3,45
52	1928,85	15,23	3,43

*Tabel 4.9 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan  $1/3 B$  pada letak LVDT  $1/2 B$*

<b>Benda uji</b>		<b>B <math>1/3 - B</math></b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>15/01/2015</b>	
<b>Letak LVDT</b>		<b><math>1/2 B</math></b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	4,81	0,00
2	55,11	4,81	0,00
3	110,22	4,84	0,03
4	165,33	4,88	0,07
5	220,44	4,91	0,10
6	275,55	4,97	0,16
7	330,66	5,01	0,20
8	385,77	5,05	0,24
9	440,88	5,09	0,28
10	495,99	5,12	0,31
11	551,1	5,21	0,40
12	606,21	5,23	0,42
13	661,32	5,29	0,48
14	716,43	5,34	0,53
15	771,54	5,42	0,61
16	826,65	5,47	0,66
17	881,76	5,57	0,76
18	936,87	5,64	0,83
19	991,98	5,71	0,90

20	1047,09	5,81	1,00
21	1102,2	5,89	1,08
22	1157,31	5,99	1,18
23	1212,42	6,19	1,38
24	1267,53	6,28	1,47
25	1322,64	6,51	1,70
26	1377,75	6,58	1,77
27	1432,86	6,68	1,87
28	1487,97	6,74	1,93
29	1543,08	6,85	2,04
30	1598,19	7,02	2,21
31	1653,3	7,18	2,37
32	1708,41	7,37	2,56
33	1763,52	7,57	2,76
34	1818,63	7,76	2,95
35	1873,74	8,07	3,26
36	1928,85	8,34	3,53
37	1983,96	8,69	3,88
38	2039,07	9,08	4,27
39	2094,18	9,55	4,74
40	2149,29	10,08	5,27
41	2204,4	10,44	5,63
42	2259,51	10,88	6,07
43	2314,62	11,36	6,55
44	2369,73	11,70	6,89
45	2314,62	12,28	7,47
46	2259,51	12,70	7,89
47	2204,4	12,88	8,07
48	2149,29	12,97	8,16
49	2094,18	13,08	8,27
50	2039,07	13,15	8,34
51	1983,96	13,22	8,41
52	1928,85	13,22	8,41

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9**.

- Kolom 1  
Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban ( P ) Kg

➤ Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

➤ Kolom 4

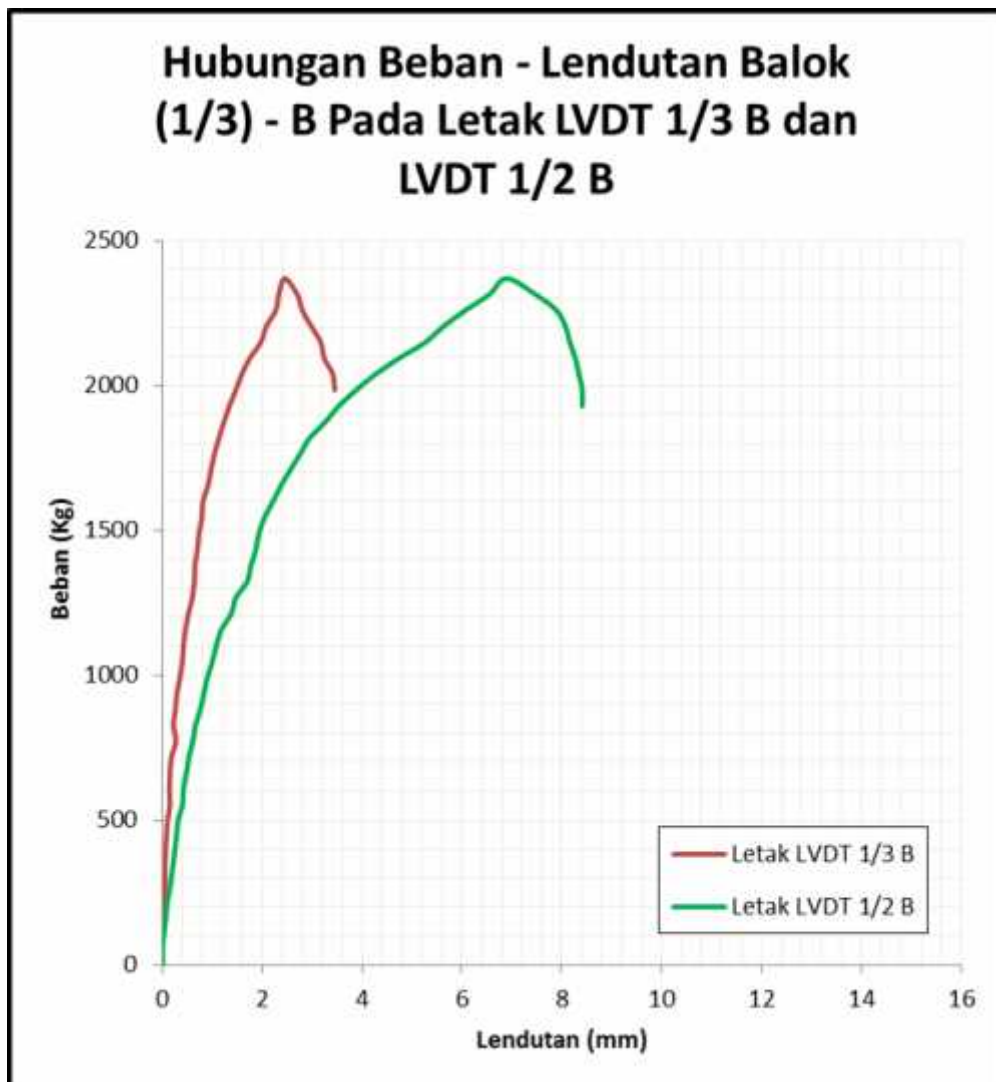
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm ( Nomor urut 2 s/d 52 )

$$= (( \text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1} ) \times 0.01) +$$

lendutan nomor urut 1.

Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-B) yang terlihat pada Grafik 4.7 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban)

**Grafik 4.7.** Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan (1/3)-B pada letak LVDT 1/3 B dan LVDT 1/2 B





Seperti terlihat dalam Gambar 4.5, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2369,73$  Kg balok pada letak LVDT di  $1/3$  bentang dan pada letak LVDT di  $1/2$  bentang, kemudian beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1928,85$  Kg dengan besar lendutan ( ) =  $3,43$  mm pada letak LVDT di  $1/3$  bentang, sedangkan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1928,85$  Kg dengan besar lendutan ( ) =  $8,41$  mm pada letak LVDT di  $1/2$  bentang



**Gambar 4.9** Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan  $1/3$  Bentang B  
(  $1/3$ -B)

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 1,52$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



**Gambar 4.10** Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan  $1/3$  Bentang B  
(  $1/3-B$  )

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

### 3. Balok Dengan Jarak Sambungan 1/3 (1/3– C)

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-C) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/3 bentang beban mencapai  $P = 1322,64 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $0,45 \text{ mm}$  dan terjadinya retak arah vertikal balok pada letak LVDT di 1/2 bentang beban mencapai  $P = 1322,64 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $1,11 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan (  $P$  ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/3 bentang  $P \text{ puncak} = 2700,39 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $2,67 \text{ mm}$  dan penambahan beban tekan (  $P$  ) hingga beban puncak balok pada letak LVDT di 1/2 bentang  $P \text{ puncak} = 2700,39 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan ( ) =  $7,25 \text{ mm}$ . Pada saat ini, balok sudah dalam keadaan elastis puncak, namun beban masih terus diberikan hingga keadaan plastis dan balok runtuh. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.10 dan tabel 4.11 di bawah ini.

*Tabel 4.10 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3-C pada letak LVDT 1/3 B*

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/3 – C</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>16/01/2015</b>	
<b>Letak LVDT</b>		<b>1/3 B</b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	12,48	0,00
2	55,11	12,48	0,00
3	110,22	12,48	0,00
4	165,33	12,48	0,00

5	220,44	12,50	0,02
6	275,55	12,52	0,04
7	330,66	12,55	0,07
8	385,77	12,58	0,10
9	440,88	12,61	0,13
10	495,99	12,62	0,14
11	551,1	12,64	0,16
12	606,21	12,65	0,17
13	661,32	12,67	0,19
14	716,43	12,68	0,20
15	771,54	12,71	0,23
16	826,65	12,73	0,25
17	881,76	12,77	0,29
18	936,87	12,78	0,30
19	991,98	12,78	0,30
20	1047,09	12,80	0,32
21	1102,2	12,81	0,33
22	1157,31	12,84	0,36
23	1212,42	12,87	0,39
24	1267,53	12,92	0,44
25	1322,64	12,93	0,45
26	1377,75	13,00	0,52
27	1432,86	13,10	0,62
28	1487,97	13,14	0,66
29	1543,08	13,21	0,73
30	1598,19	13,20	0,72
31	1653,3	13,24	0,76
32	1708,41	13,28	0,80
33	1763,52	13,30	0,82
34	1818,63	13,35	0,87
35	1873,74	13,39	0,91
36	1928,85	13,42	0,94
37	1983,96	13,48	1,00
38	2039,07	13,53	1,05
39	2094,18	13,59	1,11
40	2149,29	13,68	1,20
41	2204,4	13,75	1,27
42	2259,51	13,88	1,40
43	2314,62	14,00	1,52

44	2369,73	14,12	1,64
45	2424,84	14,27	1,79
46	2479,95	14,43	1,95
47	2535,06	14,57	2,09
48	2590,17	14,68	2,20
49	2645,28	14,99	2,51
50	2700,39	15,15	2,67
51	2645,28	15,28	2,80
52	2590,17	15,40	2,92

*Tabel 4.11 Data hasil eksperimen lendutan balok dengan jarak sambungan tulangan 1/3-C pada letak LVDT 1/2 B*

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/3 – C</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>16/01/2015</b>	
<b>Letak LVDT</b>		<b>1/2 B</b>	
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan MVD</b>	<b>Defleksi ( mm )</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1	0	10,92	0,00
2	55,11	10,92	0,00
3	110,22	10,93	0,01
4	165,33	10,96	0,04
5	220,44	11,02	0,10
6	275,55	11,05	0,13
7	330,66	11,12	0,20
8	385,77	11,18	0,26
9	440,88	11,21	0,29
10	495,99	11,27	0,35
11	551,1	11,32	0,40
12	606,21	11,35	0,43
13	661,32	11,39	0,47
14	716,43	11,44	0,52
15	771,54	11,51	0,59
16	826,65	11,55	0,63
17	881,76	11,59	0,67
18	936,87	11,63	0,71
19	991,98	11,68	0,76

20	1047,09	11,73	0,81
21	1102,2	11,76	0,84
22	1157,31	11,85	0,93
23	1212,42	11,91	0,99
24	1267,53	11,96	1,04
25	1322,64	12,03	1,11
26	1377,75	12,30	1,38
27	1432,86	12,51	1,59
28	1487,97	12,59	1,67
29	1543,08	12,68	1,76
30	1598,19	12,78	1,86
31	1653,3	12,89	1,97
32	1708,41	12,99	2,07
33	1763,52	13,09	2,17
34	1818,63	13,21	2,29
35	1873,74	13,33	2,41
36	1928,85	13,42	2,50
37	1983,96	13,58	2,66
38	2039,07	13,72	2,80
39	2094,18	13,89	2,97
40	2149,29	14,07	3,15
41	2204,4	14,34	3,42
42	2259,51	14,57	3,65
43	2314,62	14,92	4,00
44	2369,73	15,32	4,40
45	2424,84	15,82	4,90
46	2479,95	16,34	5,42
47	2535,06	16,70	5,78
48	2590,17	17,05	6,13
49	2645,28	17,87	6,95
50	2700,39	18,17	7,25
51	2645,28	18,55	7,63
52	2590,17	18,89	7,97

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11**.

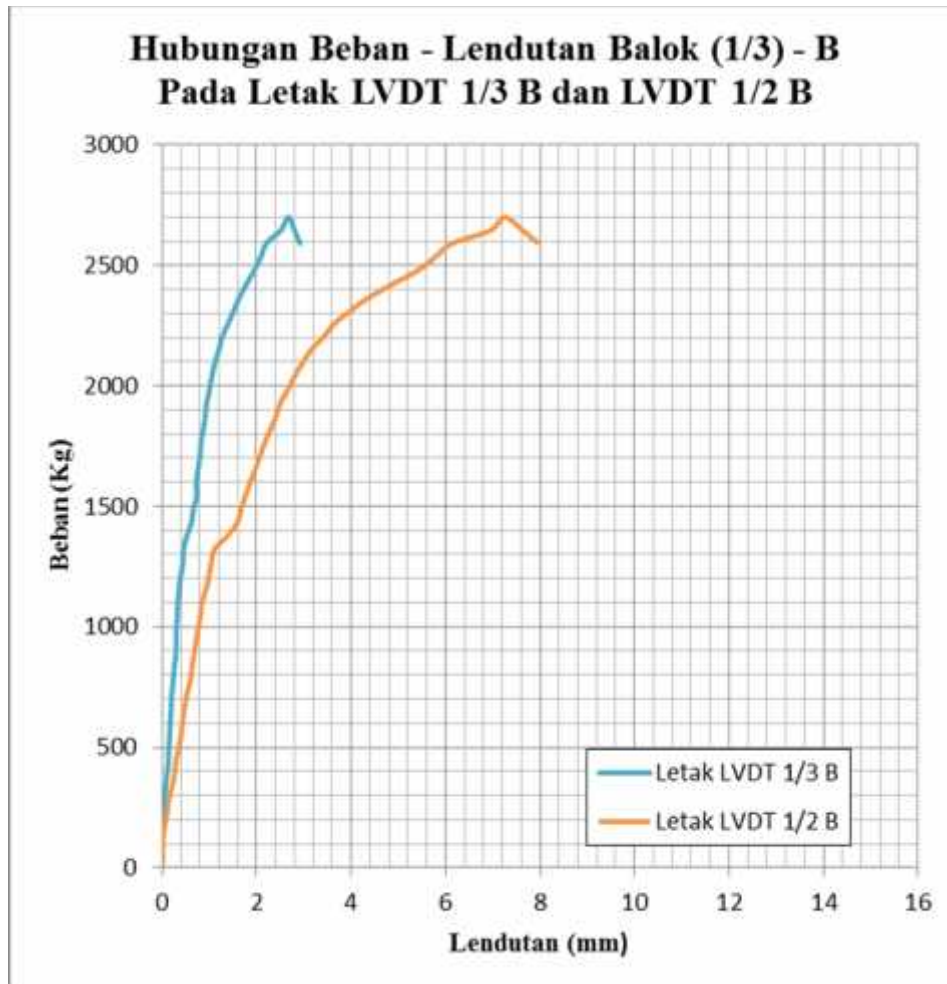
- Kolom 1  
Nomor urut

- Kolom 2  
Beban ( P ) Kg
  
- Kolom 3  
Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.
  
- Kolom 4  
Lendutan yang terjadi pada balok (   ) mm ( Nomor urut 2 s/d 52 )  

$$= (( \text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1} ) \times 0.01) +$$
 lendutan nomor urut 1.

Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-B) yang terlihat pada Grafik 4.7 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban)

**Grafik 4.7.** Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan (1/3)-C pada letak LVDT 1/3 B dan LVDT 1/2 B



Seperti terlihat dalam Gambar 4.6, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2369,73$  Kg balok pada letak LVDT di 1/3 bentang dan pada letak LVDT di 1/2 bentang, kemudian beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1928,85$  Kg dengan besar lendutan ( ) = 3,43 mm pada letak LVDT di 1/3 bentang, sedangkan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun dan dinyatakan balok runtuh pada  $P = 1928,85$  Kg dengan besar lendutan ( ) = 8,41 mm pada letak LVDT di 1/2 bentang





**Gambar 4.11** Benda Uji Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang C  
( 1/3-C)

Kondisi fisik balok pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya  $\pm 1,90$  mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.



**Gambar 4.12** Pola Retak Pada Balok T dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang C  
( 1/3-C)

Sedangkan retak yang terjadi pada benda uji ini diakibatkan oleh 2 hal, yaitu retak akibat momen lentur dan gaya geser. Bagian yang menerima lentur dan geser, materialnya mengalami tegangan utama biaksial dengan orientasi diagonal, sehingga retaknya pun terbentuk diagonal pada daerah yang mengalami tegangan tarik. Keruntuhan balok akibat geser (akibat tegangan biaksial) bersifat getas dan terjadinya tiba-tiba. Berbeda dengan keruntuhan lentur yang bersifat duktail, didahului dengan timbulnya lendutan besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

#### 4. Gabungan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan (1/3)

Tabel 4.12. dan Tabel 4.13 di bawah ini merupakan gabungan dari hubungan beban dan lendutan Balok Tanpa Sambungan (B-1/3) A, B, dan C. Dan kemudian dari hasil ketiga benda uji ini, diambil nilai beban dan lendutan rata – ratanya.

*Tabel 4.12 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/3 A,B,C, dan Rata-rata Pada Letak LVDT di 1/3 Bentang*

No.	Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Balok 1/3 C	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Balok 1/3 C	Beban ( Kg )	Lendutan ( mm )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	55,11	55,11	55,11	0,01	-0,01	0	55,11	0,00
3	110,22	110,22	110,22	0,02	-0,01	0,00	110,22	0,00
4	165,33	165,33	165,33	0,04	0,04	0,00	165,33	0,03
5	220,44	220,44	220,44	0,05	0,02	0,02	220,44	0,03
6	275,55	275,55	275,55	0,02	0,05	0,04	275,55	0,04

7	330,66	330,66	330,66	0,06	0,05	0,07	330,66	0,06
8	385,77	385,77	385,77	0,07	0,06	0,10	385,77	0,08
9	440,88	440,88	440,88	0,09	0,08	0,13	440,88	0,10
10	495,99	495,99	495,99	0,13	0,10	0,14	495,99	0,12
11	551,1	551,1	551,1	0,16	0,15	0,16	551,1	0,16
12	606,21	606,21	606,21	0,18	0,14	0,17	606,21	0,16
13	661,32	661,32	661,32	0,24	0,15	0,19	661,32	0,19
14	716,43	716,43	716,43	0,26	0,18	0,20	716,43	0,21
15	771,54	771,54	771,54	0,27	0,27	0,23	771,54	0,26
16	826,65	826,65	826,65	0,32	0,22	0,25	826,65	0,26
17	881,76	881,76	881,76	0,35	0,26	0,29	881,76	0,30
18	936,87	936,87	936,87	0,38	0,29	0,30	936,87	0,32
19	991,98	991,98	991,98	0,39	0,35	0,30	991,98	0,35
20	1047,09	1047,09	1047,09	0,42	0,40	0,32	1047,09	0,38
21	1102,2	1102,2	1102,2	0,43	0,42	0,33	1102,2	0,39
22	1157,31	1157,31	1157,31	0,48	0,46	0,36	1157,31	0,43
23	1212,42	1212,42	1212,42	0,54	0,52	0,39	1212,42	0,48
24	1267,53	1267,53	1267,53	0,65	0,60	0,44	1267,53	0,56
25	1322,64	1322,64	1322,64	0,76	0,64	0,45	1322,64	0,62
26	1377,75	1377,75	1377,75	0,82	0,65	0,52	1377,75	0,66
27	1432,86	1432,86	1432,86	0,82	0,70	0,62	1432,86	0,71
28	1487,97	1487,97	1487,97	0,91	0,73	0,66	1487,97	0,77
29	1543,08	1543,08	1543,08	0,96	0,79	0,73	1543,08	0,83
30	1598,19	1598,19	1598,19	1,07	0,81	0,72	1598,19	0,87
31	1653,3	1653,3	1653,3	1,10	0,91	0,76	1653,3	0,92
32	1708,41	1708,41	1708,41	1,15	0,97	0,80	1708,41	0,97
33	1763,52	1763,52	1763,52	1,26	1,04	0,82	1763,52	1,04
34	1818,63	1818,63	1818,63	1,36	1,13	0,87	1818,63	1,12
35	1873,74	1873,74	1873,74	1,42	1,23	0,91	1873,74	1,19
36	1928,85	1928,85	1928,85	1,56	1,34	0,94	1928,85	1,28
37	1983,96	1983,96	1983,96	1,67	1,47	1,00	1983,96	1,38
38	2039,07	2039,07	2039,07	1,87	1,59	1,05	2039,07	1,50
39	2094,18	2094,18	2094,18	1,96	1,75	1,11	2094,18	1,61
40	2149,29	2149,29	2149,29	2,02	1,97	1,20	2149,29	1,73
41	2204,4	2204,4	2204,4	2,17	2,08	1,27	2204,4	1,84
42	2259,51	2259,51	2259,51	2,24	2,27	1,40	2259,51	1,97
43	2204,4	2314,62	2314,62	2,57	2,33	1,52	2277,88	2,14
44	2149,29	2369,73	2369,73	2,63	2,45	1,64	2296,25	2,24
45	2094,18	2314,62	2424,84	2,87	2,70	1,79	2277,88	2,45

46	2039,07	2259,51	2479,95	3,01	2,80	1,95	2259,51	2,59
47	1983,96	2204,4	2535,06	3,23	2,98	2,09	2241,14	2,77
48	1928,85	2149,29	2590,17	3,54	3,17	2,20	2222,77	2,97
49	1873,74	2094,18	2645,28	3,96	3,24	2,51	2204,4	3,24
50	1818,63	2039,07	2700,39	4,14	3,41	2,67	2186,03	3,41
51	1763,52	1983,96	2645,28	4,14	3,45	2,80	2130,92	3,46
52	1708,41	1928,85	2590,17	4,11	3,43	2,92	2075,81	3,49

*Tabel 4.13 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/3 A,B,C, dan Rata-rata Pada Letak LVDT di 1/2 Bentang*

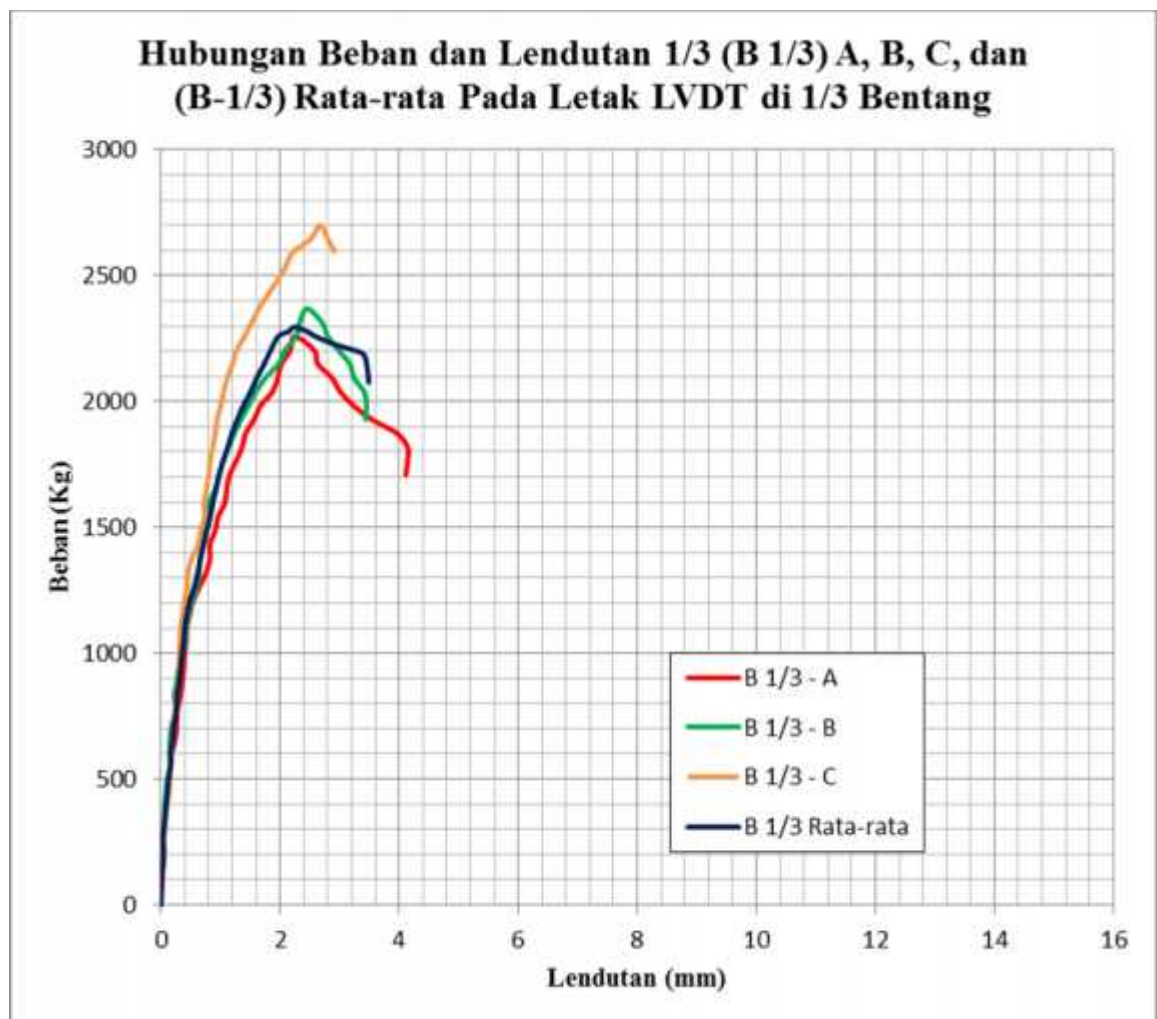
No.	Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Balok 1/3 C	Balok 1/3 A	Balok 1/3 B	Balok 1/3 C	Beban ( Kg )	Lendutan ( mm )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	55,11	55,11	55,11	0,05	0	0	55,11	0,02
3	110,22	110,22	110,22	0,09	0,03	0,01	110,22	0,04
4	165,33	165,33	165,33	0,14	0,07	0,04	165,33	0,08
5	220,44	220,44	220,44	0,18	0,10	0,10	220,44	0,13
6	275,55	275,55	275,55	0,23	0,16	0,13	275,55	0,17
7	330,66	330,66	330,66	0,27	0,20	0,20	330,66	0,22
8	385,77	385,77	385,77	0,32	0,24	0,26	385,77	0,27
9	440,88	440,88	440,88	0,41	0,28	0,29	440,88	0,33
10	495,99	495,99	495,99	0,49	0,31	0,35	495,99	0,38
11	551,1	551,1	551,1	0,56	0,40	0,40	551,1	0,45
12	606,21	606,21	606,21	0,63	0,42	0,43	606,21	0,49
13	661,32	661,32	661,32	0,72	0,48	0,47	661,32	0,56
14	716,43	716,43	716,43	0,79	0,53	0,52	716,43	0,61
15	771,54	771,54	771,54	0,83	0,61	0,59	771,54	0,68
16	826,65	826,65	826,65	0,92	0,66	0,63	826,65	0,74
17	881,76	881,76	881,76	0,96	0,76	0,67	881,76	0,80
18	936,87	936,87	936,87	1,04	0,83	0,71	936,87	0,86
19	991,98	991,98	991,98	1,07	0,90	0,76	991,98	0,91
20	1047,09	1047,09	1047,09	1,16	1,00	0,81	1047,09	0,99
21	1102,2	1102,2	1102,2	1,24	1,08	0,84	1102,2	1,05
22	1157,31	1157,31	1157,31	1,30	1,18	0,93	1157,31	1,14
23	1212,42	1212,42	1212,42	1,55	1,38	0,99	1212,42	1,31

24	1267,53	1267,53	1267,53	1,77	1,47	1,04	1267,53	1,43
25	1322,64	1322,64	1322,64	2,04	1,70	1,11	1322,64	1,62
26	1377,75	1377,75	1377,75	2,18	1,77	1,35	1377,75	1,77
27	1432,86	1432,86	1432,86	2,29	1,87	1,59	1432,86	1,92
28	1487,97	1487,97	1487,97	2,48	1,93	1,67	1487,97	2,03
29	1543,08	1543,08	1543,08	2,59	2,04	1,76	1543,08	2,13
30	1598,19	1598,19	1598,19	2,77	2,21	1,86	1598,19	2,28
31	1653,3	1653,3	1653,3	2,95	2,37	1,97	1653,3	2,43
32	1708,41	1708,41	1708,41	3,14	2,56	2,07	1708,41	2,59
33	1763,52	1763,52	1763,52	3,39	2,76	2,17	1763,52	2,77
34	1818,63	1818,63	1818,63	3,67	2,95	2,29	1818,63	2,97
35	1873,74	1873,74	1873,74	3,89	3,26	2,41	1873,74	3,19
36	1928,85	1928,85	1928,85	4,27	3,53	2,50	1928,85	3,43
37	1983,96	1983,96	1983,96	4,79	3,88	2,66	1983,96	3,78
38	2039,07	2039,07	2039,07	5,33	4,27	2,80	2039,07	4,13
39	2094,18	2094,18	2094,18	5,77	4,74	2,97	2094,18	4,49
40	2149,29	2149,29	2149,29	6,22	5,27	3,15	2149,29	4,88
41	2204,4	2204,4	2204,4	6,63	5,63	3,42	2204,4	5,23
42	2259,51	2259,51	2259,51	6,92	6,07	3,65	2259,51	5,55
43	2204,4	2314,62	2314,62	7,22	6,55	4,00	2277,88	5,92
44	2149,29	2369,73	2369,73	7,55	6,89	4,40	2296,25	6,28
45	2094,18	2314,62	2424,84	7,74	7,47	4,90	2277,88	6,70
46	2039,07	2259,51	2479,95	8,23	7,89	5,42	2259,51	7,18
47	1983,96	2204,4	2535,06	8,55	8,07	5,78	2241,14	7,47
48	1928,85	2149,29	2590,17	8,70	8,16	6,13	2222,77	7,66
49	1873,74	2094,18	2645,28	9,10	8,27	6,95	2204,4	8,11
50	1818,63	2039,07	2700,39	9,26	8,34	7,25	2186,03	8,28
51	1763,52	1983,96	2645,28	9,27	8,41	7,63	2130,92	8,44
52	1708,41	1928,85	2590,17	9,27	8,41	7,97	2075,81	8,55

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan ( $P$ ) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai lendutan menggunakan alat MVD amplifier. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.12 dan 4.13 di atas.

Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang A, B dan C yang terlihat pada Grafik 4.8 dan grafik 4.9 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 6 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

**Grafik 4.8** Hubungan beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan  $1/3$  (B- $1/3$ ) A, B, C, dan (B- $1/3$ ) rata-rata Pada Letak LVDT di  $1/3$  Bentang



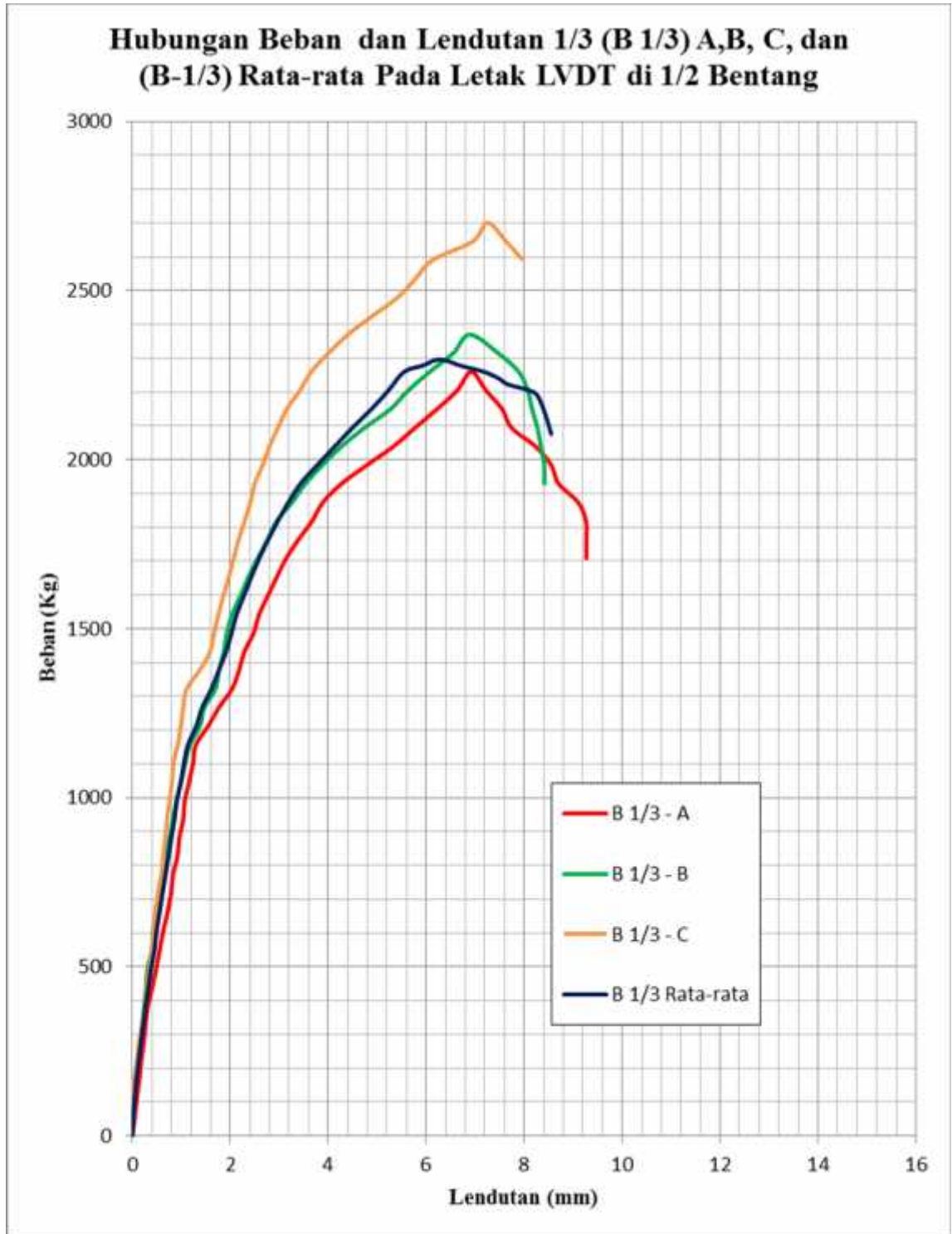
Berdasarkan bentuk grafik 4.8 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  A mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2259,51 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1708,41 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 4,11 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  B mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2369,73 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1928,85 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 3,43 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  C mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2700,39 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2590,17 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 2,92 mm.

**Grafik 4.9** Hubungan beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan  $1/3$  (B- $1/3$ ) A, B, C, dan (B- $1/3$ ) rata-rata Pada Letak LVDT di  $1/2$  B





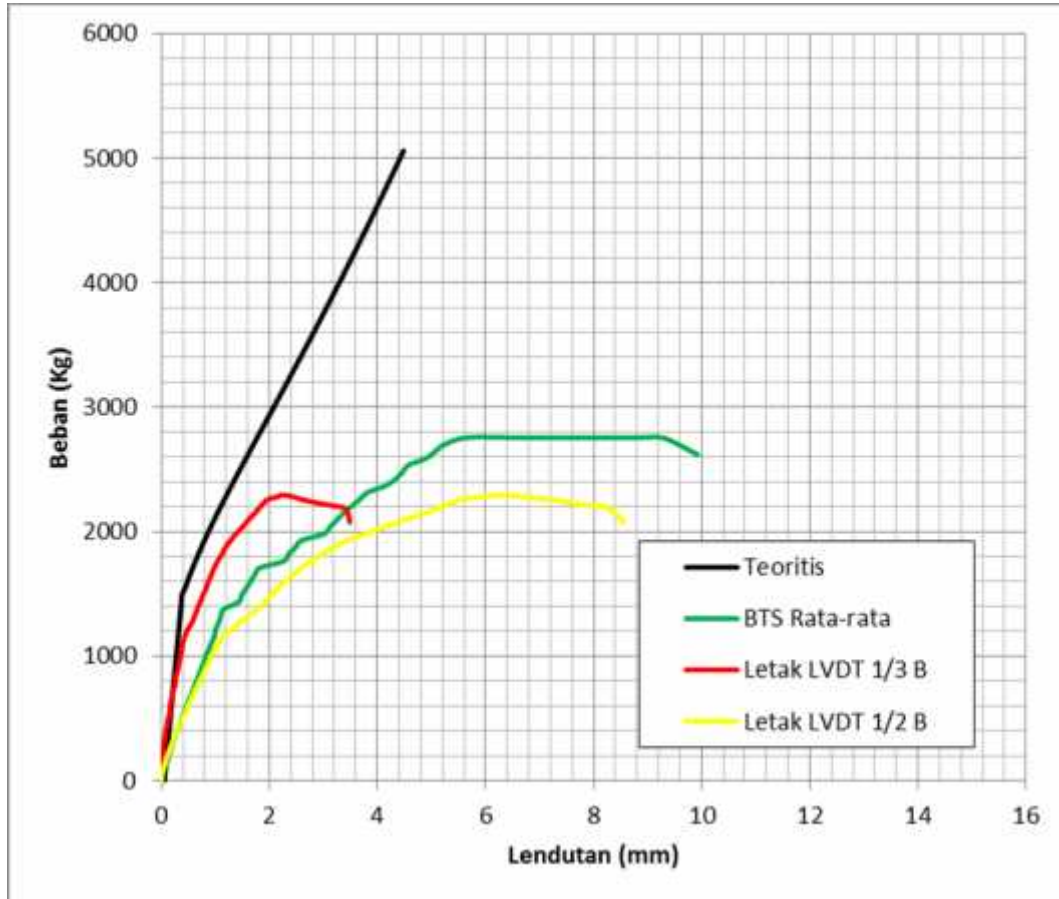
Berdasarkan bentuk grafik 4.9 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  A mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2259,51 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1708,41 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 9,27 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  B mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2369,73 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1928,85 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 8,41 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok  $1/3$  C mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2700,39 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2590,17 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 7,97 mm.

**Grafik 4.10.** Hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata,(1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang, (1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang dan teoritis.



Hubungan beban-lendutan Balok tanpa sambungan rata-rata,1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang, 1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang dan teoritis pada grafik 4.10 di atas terjadi perbedaan, dimana Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan 1/4 bentang pada tengah bentang mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2794.24 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2682.02 Kg, dengan nilailendutan maksimum sebesar 3.10 mm.

Grafik balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang rata-rata pada letak LVDT di  $1/3$  bentang mengalami retak awal pada beban ( P ) 1304,27 Kg dengan besar lendutan ( ) 0,60 mm. Beban puncak terjadi pada P = 2296,25 Kg dengan besar lendutan = 2,24 mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 2075,81 Kg dengan besar lendutan 3,49 mm.

Grafik balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang rata-rata pada letak LVDT di  $1/2$  bentang mengalami retak awal pada beban ( P ) 1304,27 Kg dengan besar lendutan ( ) 1,56 mm. Beban puncak terjadi pada P = 2296,25 Kg dengan besar lendutan = 6,28 mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 2075,81 Kg dengan besar lendutan 8,55 mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban ( P ) 1500 Kg dengan besar lendutan ( ) 0.384 mm. Beban puncak terjadi pada P = 5059,459 Kg dengan besar lendutan = 4.389 mm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok T tanpa sambungan mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2838,17 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2617,73 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 8.40 mm.

**4. Kesimpulan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan  $\frac{1}{3}$  Bentang dan jarak sambungan beton dan tulangan ( $\frac{1}{3}$ ) Pada lendutan Tengah Bentang, Sambungan  $\frac{1}{4}$  Bentang dan jarak sambungan beton dan tulangan ( $\frac{1}{4}$ ) Pada lendutan Tengah Bentang, dan Sambungan  $\frac{1}{2}$  Bentang**

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan hasil eksperimen dapat disimpulkan dan dibandingkan seperti pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.14a.** Hasil perhitungan balok T teoritis,

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T teoritis	1500	0,38	5059,46	4,39	-	-	0,17

**Tabel 4.14b.** Hasil Perhitungan balok T tanpa sambungan

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T sanpa sambungan (A)	1543,08	1,7	2920,83	10,54	2810,61	10,89	1,4
2	Balok T sanpa sambungan (B)	1212,42	1,45	2590,17	5,4	2094,18	9,6	1,3
3	Balok T sanpa sambungan (C)	1708,41	1,61	2755,5	6,26	2424,84	8,96	1,25
	Balok T sanpa sambungan Rata-rata	1625,75	1,66	2838,17	8,40	2617,73	9,93	1,33

**Tabel 4.14c.** Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/3 B rata-rata

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T jarak sambungan 1/3 B (A)	1377,75	0,82	2259,51	2,24	1708,41	5,03	-
2	Balok T jarak sambungan 1/3 B (B)	1212,42	0,52	2369,73	2,45	1928,85	8,17	-
3	Balok T jarak sambungan 1/3 B (C)	1322,64	0,45	2700,39	2,67	2590,17	3,93	-
	Balok T jarak sambungan 1/3 B Rata-rata	1350,195	0,635	2479,95	2,455	2149,29	4,48	

**Tabel 4.14d.** Hasil perhitungan balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang rata-rata

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (A)	1377,75	2,18	2259,51	6,92	1708,41	9,27	2,3
2	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (B)	1212,42	1,38	2369,73	6,89	1928,85	8,41	1,52
3	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (C)	1322,64	1,11	2700,39	7,97	2590,17	7,97	1,9
	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang Rata-rata	1350,195	1,645	2479,95	7,445	2149,29	8,62	2,1

**Tabel 4.14e.** Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/4 B rata-rata

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T jarak sambungan 1/4 B (A)	881,76	0,56	2865,72	4,38	2700,39	5,03	-
2	Balok T jarak sambungan 1/4 B (B)	1487,97	2,13	2755,5	6,18	2479,95	8,17	-
3	Balok T jarak sambungan 1/4 B (C)	1653,3	1,03	2975,94	3,66	2865,72	3,93	-
	Balok T jarak sambungan 1/4 B Rata-rata	1267,53	0,795	2920,83	4,02	2783,055	4,48	

**Tabel 4.14f.** Hasil perhitungan balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang rata-rata

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (A)	881,76	0,28	2865,72	2,38	2700,39	3,29	1
2	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (B)	1487,97	0,71	2755,5	2,01	2479,95	3,12	1,3
3	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (C)	1653,3	0,38	2975,94	2,50	2865,72	2,89	1,5
	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang Rata-rata	1267,53	0,33	2920,83	2,44	2783,055	3,09	1,25

**Tabel 4.14g.** Hasil perhitungan rata-rata balok T jarak sambungan 1/2 B rata-rata

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
1	Balok T jarak sambungan 1/2 B (A)	1928,85	1,14	2810,61	4,14	2590,17	4,55	1,3
2	Balok T jarak sambungan 1/2 B (B)	1487,97	1,79	3251,49	6,44	3141,27	6,50	0,5
3	Balok T jarak sambungan 1/2 B (C)	1873,74	1,80	3416,12	9,16	3361,71	9,69	1,15
	Balok T jarak sambungan 1/2 B Rata-rata	1928,85	1,62	3251,49	6,31	3361,71	8,69	1,225

**5. Perbandingan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan 1/3 Bentang dan jarak sambungan dan tulangan (1/3), Sambungan 1/4 Bentang dan jarak sambungan dan tulangan (1/4), dan Sambungan 1/2 Bentang Pada perbedaan nilai Kuat Geser**

Berdasarkan hasil eksperimen pada saat pengujian, didapat perbedaan nilai kuat geser pada balok tanpa sambungan, balok sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang, balok sambungan  $\frac{1}{3}$  bentang dan balok sambungan  $\frac{1}{2}$  bentang. Dimana perbedaan dapat kami lampirkan dalam bentuk persentase pada tabel dibawah ini :



*Tabel 4.15a. Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/3 bentang dan balok T jarak sambungan 1/3 tengah bentang*

<b>Parameter</b>	<b>Teoritis</b>	<b>BTS</b>	<b>1/3 B</b>	<b>1/3 B tengah bentang</b>	<b>Presentase Teoritis - BTS (%)</b>	<b>Presentase Teoritis - 1/3 B (%)</b>	<b>Presentase BTS - 1/3 B (%)</b>
Beban Retak Awal ( Kg )	1500	1625,75	1350,2	1350,195	<b>7,73</b>	<b>9,99</b>	<b>16,95</b>
Lendutan Awal Retak ( mm )	0,38	1,66	0,635	1,645	<b>77,04</b>	<b>-332,89</b>	<b>0,60</b>
Beban Puncak ( Kg )	5059,46	2838,17	2479,95	2479,95	<b>43,90</b>	<b>50,98</b>	<b>-14,44</b>
Lendutan puncak ( mm )	4,39	8,40	2,455	7,445	<b>47,74</b>	<b>-69,59</b>	<b>11,37</b>
Beban runtuh ( Kg )	-	2617,73	2149,29	2149,29	-	-	<b>-21,79</b>
Lendutan runtuh ( mm )	-	9,93	4,48	8,62	-	-	<b>13,15</b>

*Tabel 4.15b. Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/4 bentang dan balok T jarak sambungan 1/4 tengah bentang*

<b>Parameter</b>	<b>Teoritis</b>	<b>BTS</b>	<b>1/4 B</b>	<b>1/4 B tengah bentang</b>	<b>Presentase Teoritis – BTS (%)</b>	<b>Presentase Teoritis - 1/4 B (%)</b>	<b>Presentase BTS - 1/4 B (%)</b>
Beban Retak Awal ( Kg )	1500	1625,75	1267,53	1267,53	<b>7,73</b>	<b>15,50</b>	<b>22,03</b>
Lendutan Awal Retak ( mm )	0,38	1,66	0,795	0,33	<b>77,04</b>	<b>13,16</b>	<b>80,06</b>
Beban Puncak ( Kg )	5059,46	2838,17	2920,83	2920,83	<b>43,90</b>	<b>42,27</b>	<b>2,83</b>
Lendutan puncak ( mm )	4,39	8,40	4,02	2,44	<b>47,74</b>	<b>44,42</b>	<b>70,95</b>
Beban runtuh ( Kg )	-	2617,73	2783,06	2783,055	-	-	<b>5,94</b>
Lendutan runtuh ( mm )	-	9,93	4,48	3,09	-	-	<b>68,87</b>

*Tabel 4.15c. Perbandingan Beban-Lendutan Teoritis, BTS, balok T jarak sambungan 1/2 bentang*

<b>Parameter</b>	<b>Teoritis</b>	<b>BTS</b>	<b>1/4 B tengah bentang</b>	<b>Presentase Teoritis - BTS ( % )</b>	<b>Presentase Teoritis - 1/4 B ( % )</b>	<b>Presentase BTS - 1/4 B ( % )</b>
Beban Retak Awal ( Kg )	1500	1625,75	1928,85	<b>7,73</b>	<b>-28,59</b>	<b>-18,64</b>
Lendutan Awal Retak ( mm )	0,38	1,66	1,62	<b>77,04</b>	<b>-326,32</b>	<b>2,11</b>
Beban Puncak ( Kg )	5059,46	2838,17	3251,49	<b>43,90</b>	<b>35,73</b>	<b>12,71</b>
Lendutan puncak ( mm )	4,39	8,40	6,31	<b>47,74</b>	<b>-43,74</b>	<b>24,88</b>
Beban runtuh ( Kg )	-	2617,73	3361,71	-	-	<b>22,13</b>
Lendutan runtuh ( mm )	-	9,93	8,69	-	-	<b>12,44</b>

## 4.2. Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen

### 1. Balok Tanpa Sambungan (BTS) Rata-rata

Data perencanaan :  $l = 2200 \text{ mm}$

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{2} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 551,1 \times 2200 \\ &= 1382007,55 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.16*.

**Tabel 4.16.** Kuat lentur eksperimen balok tanpa sambungan(BTS) rata-rata.

Beban Teoritis ( Kg )	Beban Eksperimen ( Kg )	Beban Eksperimen ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( ) (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	1,78331	2200	0,000	1078902,55
50	55,110	551,1	1,78331	2200	0,000	1382007,55
100	110,220	1102,2	1,78331	2200	0,010	1685112,55
150	165,330	1653,3	1,78331	2200	0,057	1988217,55
200	220,44	2204,4	1,78331	2200	0,113	2291322,55
250	275,55	2755,5	1,78331	2200	0,153	2594427,55
300	330,66	3306,6	1,78331	2200	0,203	2897532,55
350	385,77	3857,7	1,78331	2200	0,243	3200637,55
400	440,88	4408,8	1,78331	2200	0,293	3503742,55
450	495,99	4959,9	1,78331	2200	0,340	3806847,55
500	551,1	5511	1,78331	2200	0,393	4109952,55
550	606,21	6062,1	1,78331	2200	0,443	4413057,55
600	661,32	6613,2	1,78331	2200	0,487	4716162,55
650	716,43	7164,3	1,78331	2200	0,540	5019267,55
700	771,54	7715,4	1,78331	2200	0,597	5322372,55

750	826,65	8266,5	1,78331	2200	0,643	5625477,55
800	881,76	8817,6	1,78331	2200	0,700	5928582,55
850	936,87	9368,7	1,78331	2200	0,750	6231687,55
900	991,98	9919,8	1,78331	2200	0,800	6534792,55
950	1047,09	10470,9	1,78331	2200	0,850	6837897,55
1000	1102,2	11022	1,78331	2200	0,923	7141002,55
1050	1157,31	11573,1	1,78331	2200	0,970	7444107,55
1100	1212,42	12124,2	1,78331	2200	1,047	7747212,55
1150	1267,53	12675,3	1,78331	2200	1,150	8050317,55
1200	1322,64	13226,4	1,78331	2200	1,200	8353422,55
1250	1377,75	13777,5	1,78331	2200	1,240	8656527,55
1300	1432,86	14328,6	1,78331	2200	1,313	8959632,55
1350	1487,97	14879,7	1,78331	2200	1,530	9262737,55
1400	1543,08	15430,8	1,78331	2200	1,603	9565842,55
1450	1598,19	15981,9	1,78331	2200	1,687	9868947,55
1500	1653,3	16533	1,78331	2200	1,787	10172052,55
1550	1708,41	17084,1	1,78331	2200	1,883	10475157,55
1600	1763,52	17635,2	1,78331	2200	1,987	10778262,55
1650	1818,63	18186,3	1,78331	2200	2,343	11081367,55
1700	1873,74	18737,4	1,78331	2200	2,613	11384472,55
1750	1928,85	19288,5	1,78331	2200	2,750	11687577,55
1800	1983,96	19839,6	1,78331	2200	2,873	11990682,55
1850	2039,07	20390,7	1,78331	2200	3,203	12293787,55
1900	2094,18	20941,8	1,78331	2200	3,327	12596892,55
1950	2149,29	21492,9	1,78331	2200	3,457	12899997,55
2000	2204,4	22044	1,78331	2200	3,587	13203102,55
2050	2259,51	22595,1	1,78331	2200	3,737	13506207,55
2100	2314,62	23146,2	1,78331	2200	3,887	13809312,55
2150	2369,73	23697,3	1,78331	2200	4,033	14112417,55
2200	2424,84	24248,4	1,78331	2200	4,300	14415522,55
2250	2479,95	24799,5	1,78331	2200	4,493	14718627,55
2300	2535,06	25350,6	1,78331	2200	4,630	15021732,55
2350	2590,17	25901,7	1,78331	2200	4,780	15324837,55
2400	2590,17	25901,7	1,78331	2200	5,067	15324837,55
2450	2608,54	26085,4	1,78331	2200	5,973	15425872,55
2500	2755,5	27555	1,78331	2200	6,120	16234152,55
2550	2755,5	27555	1,78331	2200	5,655	16234152,55
2600	2865,72	28657,2	1,78331	2200	6,535	16840362,55
2650	2810,61	28106,1	1,78331	2200	8,110	16537257,55

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.16.

➤ Kolom 1

Beban teoritis (Kg) rata-rata

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (Kg) rata-rata

➤ Kolom 3

Beban eksperimen (N) rata-rata

Seperti terlihat pada kolom 2 di atas

➤ Kolom 4

Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\ &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\ &= 1,783 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

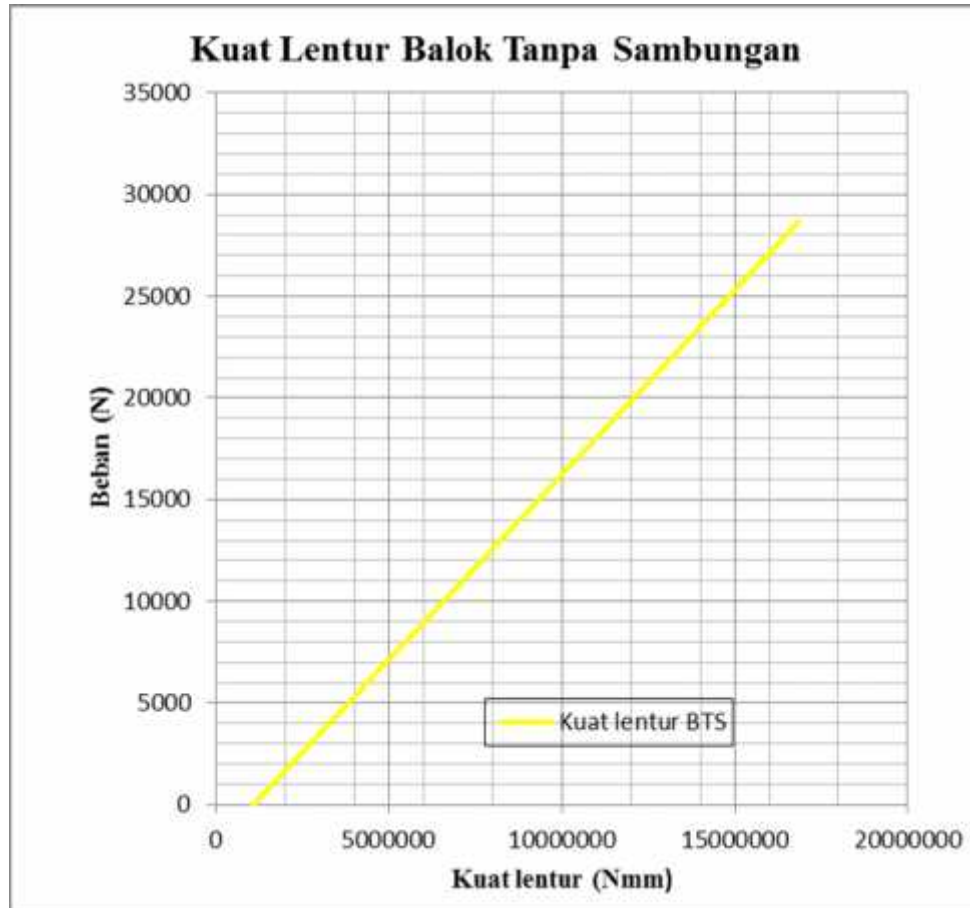
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

➤ Kolom 7

Kuat Lentur ( M ) Nmm

$$M = \frac{1}{6} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

**Grafik 4.11** Hubungan beban – kuat lentur balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata.



Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada Grafik 4.11 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.16 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat lentur *Nmm*) dan kolom 3 untuk arah vertikal (Beban eksperimen *N*). Dan terlihat pada beban runtuh 28106,1 N, mengalami kuat lentur sebesar 16537257,55 Nmm, sedangkan pada beban maksimum 28657,2 N, mengalami kuat lentur sebesar 16840362,55 Nmm.

## 2. Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata dengan letak LVDT di 1/3 bentang

Dalam perhitungan kuat lentur eksperimen balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata dengan letak LVDT di 1/3 bentang, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan.

Data perencanaan :  $l = 2200 \text{ mm}$

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\ &= \frac{1}{8} \times 1,783 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 55,11 \times 2200 \\ &= 1382007,55 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.17*.

**Tabel 4.17.** *Kuat lentur eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang*

<b>Beban Teoritis ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen ( N )</b>	<b>Beban merata (q) ( N/mm )</b>	<b>Panjang (L) (mm)</b>	<b>Lendutan ( ) (mm)</b>	<b>Kuat lentur (Nmm)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	0	0	1,78331	2200	0,000	1078902,55
50	55,110	551,1	1,78331	2200	0,000	1382007,55
100	110,220	1102,2	1,78331	2200	0,003	1685112,55
150	165,330	1653,3	1,78331	2200	0,027	1988217,55
200	220,44	2204,4	1,78331	2200	0,030	2291322,55
250	275,55	2755,5	1,78331	2200	0,037	2594427,55
300	330,66	3306,6	1,78331	2200	0,060	2897532,55
350	385,77	3857,7	1,78331	2200	0,077	3200637,55
400	440,88	4408,8	1,78331	2200	0,100	3503742,55
450	495,99	4959,9	1,78331	2200	0,123	3806847,55
500	551,1	5511	1,78331	2200	0,157	4109952,55
550	606,21	6062,1	1,78331	2200	0,163	4413057,55
600	661,32	6613,2	1,78331	2200	0,193	4716162,55
650	716,43	7164,3	1,78331	2200	0,213	5019267,55
700	771,54	7715,4	1,78331	2200	0,257	5322372,55
750	826,65	8266,5	1,78331	2200	0,263	5625477,55
800	881,76	8817,6	1,78331	2200	0,300	5928582,55
850	936,87	9368,7	1,78331	2200	0,323	6231687,55
900	991,98	9919,8	1,78331	2200	0,347	6534792,55
950	1047,09	10470,9	1,78331	2200	0,380	6837897,55
1000	1102,2	11022	1,78331	2200	0,393	7141002,55
1050	1157,31	11573,1	1,78331	2200	0,433	7444107,55
1100	1212,42	12124,2	1,78331	2200	0,483	7747212,55
1150	1267,53	12675,3	1,78331	2200	0,563	8050317,55
1200	1322,64	13226,4	1,78331	2200	0,617	8353422,55
1250	1377,75	13777,5	1,78331	2200	0,663	8656527,55
1300	1432,86	14328,6	1,78331	2200	0,713	8959632,55
1350	1487,97	14879,7	1,78331	2200	0,767	9262737,55

1400	1543,08	15430,8	1,78331	2200	0,827	9565842,55
1450	1598,19	15981,9	1,78331	2200	0,867	9868947,55
1500	1653,3	16533	1,78331	2200	0,923	10172052,55
1550	1708,41	17084,1	1,78331	2200	0,973	10475157,55
1600	1763,52	17635,2	1,78331	2200	1,040	10778262,55
1650	1818,63	18186,3	1,78331	2200	1,120	11081367,55
1700	1873,74	18737,4	1,78331	2200	1,187	11384472,55
1750	1928,85	19288,5	1,78331	2200	1,280	11687577,55
1800	1983,96	19839,6	1,78331	2200	1,380	11990682,55
1850	2039,07	20390,7	1,78331	2200	1,503	12293787,55
1900	2094,18	20941,8	1,78331	2200	1,607	12596892,55
1950	2149,29	21492,9	1,78331	2200	1,730	12899997,55
2000	2204,4	22044	1,78331	2200	1,840	13203102,55
2050	2259,51	22595,1	1,78331	2200	1,970	13506207,55
2100	2277,88	22778,8	1,78331	2200	2,140	13607242,55
2150	2296,25	22962,5	1,78331	2200	2,240	13708277,55
2200	2277,88	22778,8	1,78331	2200	2,453	13607242,55
2250	2259,51	22595,1	1,78331	2200	2,587	13506207,55
2300	2241,14	22411,4	1,78331	2200	2,767	13405172,55
2350	2222,77	22227,7	1,78331	2200	2,970	13304137,55
2400	2204,4	22044	1,78331	2200	3,237	13203102,55
2450	2186,03	21860,3	1,78331	2200	3,407	13102067,55
2500	2130,92	21309,2	1,78331	2200	3,463	12798962,55
2550	2075,81	20758,1	1,78331	2200	3,487	12495857,55

**Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.16.**

- Kolom 1  
Beban teoritis (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 3  
Beban eksperimen (N) rata-rata  
Seperti terlihat pada kolom 2 di atas

➤ Kolom 4

Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\ &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\ &= 1,783 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

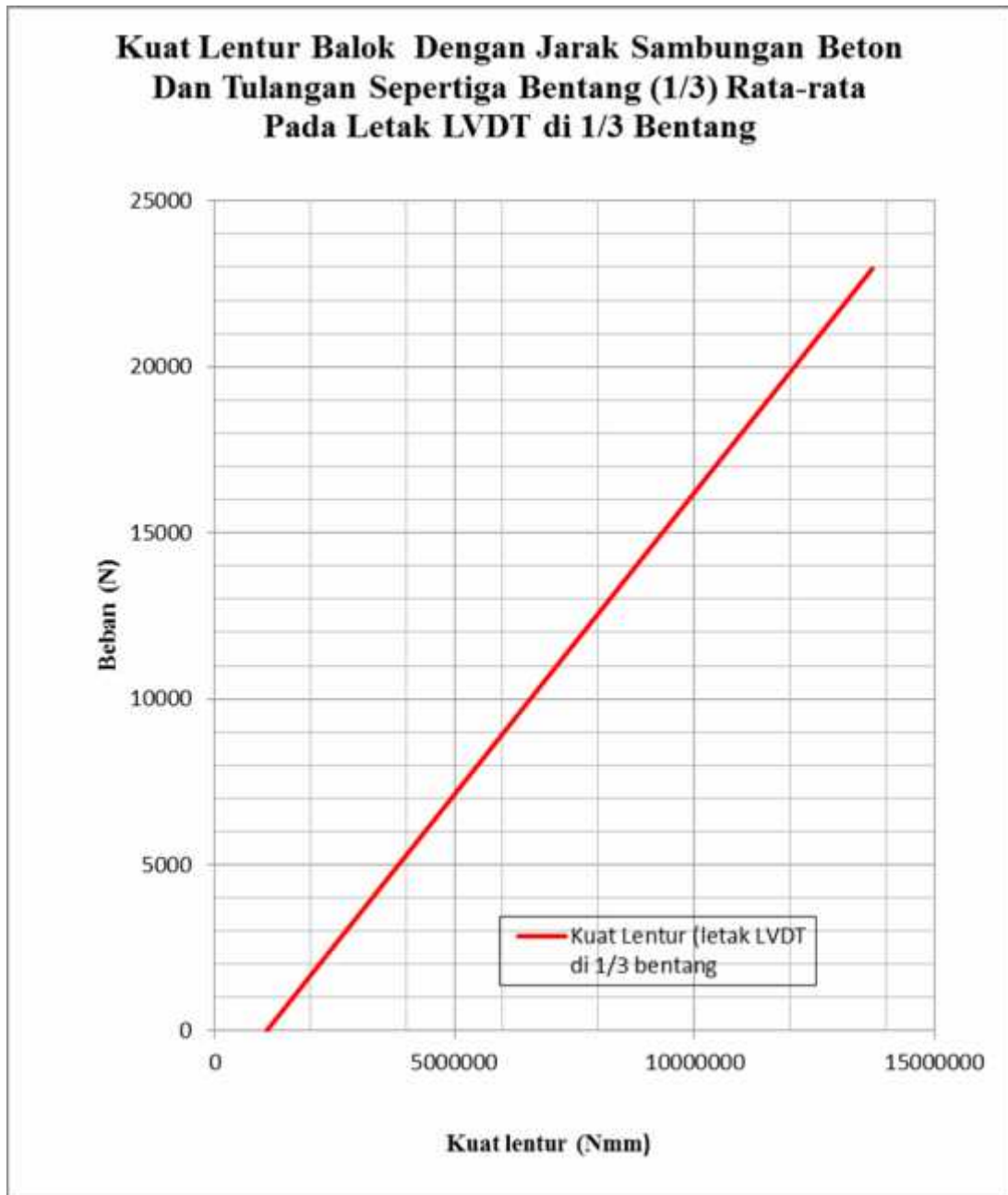
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

➤ Kolom 7

Kuat Lentur ( M ) Nmm

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

**Grafik 4.12** Hubungan beban – kuat lentur balok dengan jarak sambungan 1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang



Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.12 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara

menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.17 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat lentur  $Nmm$ ) dan kolom 3 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 22962,5 N, mengalami kuat lentur sebesar 13708277,55 Nmm, sedangkan pada beban minimum 20758,1 N, mengalami kuat lentur sebesar 12495857,55 Nmm.

### 3. Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata dengan letak LVDT di 1/2 bentang

Dalam perhitungan kuat lentur eksperimen balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata dengan letak LVDT di 1/2 bentang, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan.

Data perencanaan :  $l = 2200 \text{ mm}$

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\ &= \frac{1}{8} \times 1,783 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 55,11 \times 2200 \\ &= 1382007,55 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.18*.

**Tabel 4.18.** *Kuat lentur eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang*

<b>Beban Teoritis ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen ( N )</b>	<b>Beban merata (q) ( N/mm )</b>	<b>Panjang (L) (mm)</b>	<b>Lendutan ( ) (mm)</b>	<b>Kuat lentur (Nmm)</b>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
0	0	0	1,78331	2200	0,000	1078902,55
50	55,110	551,1	1,78331	2200	0,017	1382007,55
100	110,220	1102,2	1,78331	2200	0,043	1685112,55
150	165,330	1653,3	1,78331	2200	0,083	1988217,55
200	220,44	2204,4	1,78331	2200	0,127	2291322,55
250	275,55	2755,5	1,78331	2200	0,173	2594427,55
300	330,66	3306,6	1,78331	2200	0,223	2897532,55
350	385,77	3857,7	1,78331	2200	0,273	3200637,55
400	440,88	4408,8	1,78331	2200	0,327	3503742,55
450	495,99	4959,9	1,78331	2200	0,383	3806847,55
500	551,1	5511	1,78331	2200	0,453	4109952,55
550	606,21	6062,1	1,78331	2200	0,493	4413057,55
600	661,32	6613,2	1,78331	2200	0,557	4716162,55
650	716,43	7164,3	1,78331	2200	0,613	5019267,55
700	771,54	7715,4	1,78331	2200	0,677	5322372,55
750	826,65	8266,5	1,78331	2200	0,737	5625477,55
800	881,76	8817,6	1,78331	2200	0,797	5928582,55
850	936,87	9368,7	1,78331	2200	0,860	6231687,55
900	991,98	9919,8	1,78331	2200	0,910	6534792,55
950	1047,09	10470,9	1,78331	2200	0,990	6837897,55
1000	1102,2	11022	1,78331	2200	1,053	7141002,55
1050	1157,31	11573,1	1,78331	2200	1,137	7444107,55
1100	1212,42	12124,2	1,78331	2200	1,307	7747212,55
1150	1267,53	12675,3	1,78331	2200	1,427	8050317,55
1200	1322,64	13226,4	1,78331	2200	1,617	8353422,55
1250	1377,75	13777,5	1,78331	2200	1,767	8656527,55
1300	1432,86	14328,6	1,78331	2200	1,917	8959632,55
1350	1487,97	14879,7	1,78331	2200	2,027	9262737,55
1400	1543,08	15430,8	1,78331	2200	2,130	9565842,55
1450	1598,19	15981,9	1,78331	2200	2,280	9868947,55
1500	1653,3	16533	1,78331	2200	2,430	10172052,55
1550	1708,41	17084,1	1,78331	2200	2,590	10475157,55
1600	1763,52	17635,2	1,78331	2200	2,773	10778262,55
1650	1818,63	18186,3	1,78331	2200	2,970	11081367,55

1700	1873,74	18737,4	1,78331	2200	3,187	11384472,55
1750	1928,85	19288,5	1,78331	2200	3,433	11687577,55
1800	1983,96	19839,6	1,78331	2200	3,777	11990682,55
1850	2039,07	20390,7	1,78331	2200	4,133	12293787,55
1900	2094,18	20941,8	1,78331	2200	4,493	12596892,55
1950	2149,29	21492,9	1,78331	2200	4,880	12899997,55
2000	2204,4	22044	1,78331	2200	5,227	13203102,55
2050	2259,51	22595,1	1,78331	2200	5,547	13506207,55
2100	2277,88	22778,8	1,78331	2200	5,923	13607242,55
2150	2296,25	22962,5	1,78331	2200	6,280	13708277,55
2200	2277,88	22778,8	1,78331	2200	6,703	13607242,55
2250	2259,51	22595,1	1,78331	2200	7,180	13506207,55
2300	2241,14	22411,4	1,78331	2200	7,467	13405172,55
2350	2222,77	22227,7	1,78331	2200	7,663	13304137,55
2400	2204,4	22044	1,78331	2200	8,107	13203102,55
2450	2186,03	21860,3	1,78331	2200	8,283	13102067,55
2500	2130,92	21309,2	1,78331	2200	8,437	12798962,55
2550	2075,81	20758,1	1,78331	2200	8,550	12495857,55

**Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.18.**

➤ Kolom 1

Beban teoritis (Kg) rata-rata

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (Kg) rata-rata

➤ Kolom 3

Beban eksperimen (N) rata-rata

Seperti terlihat pada kolom 2 di atas

➤ Kolom 4

Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\
 &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\
 &= 1,783 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

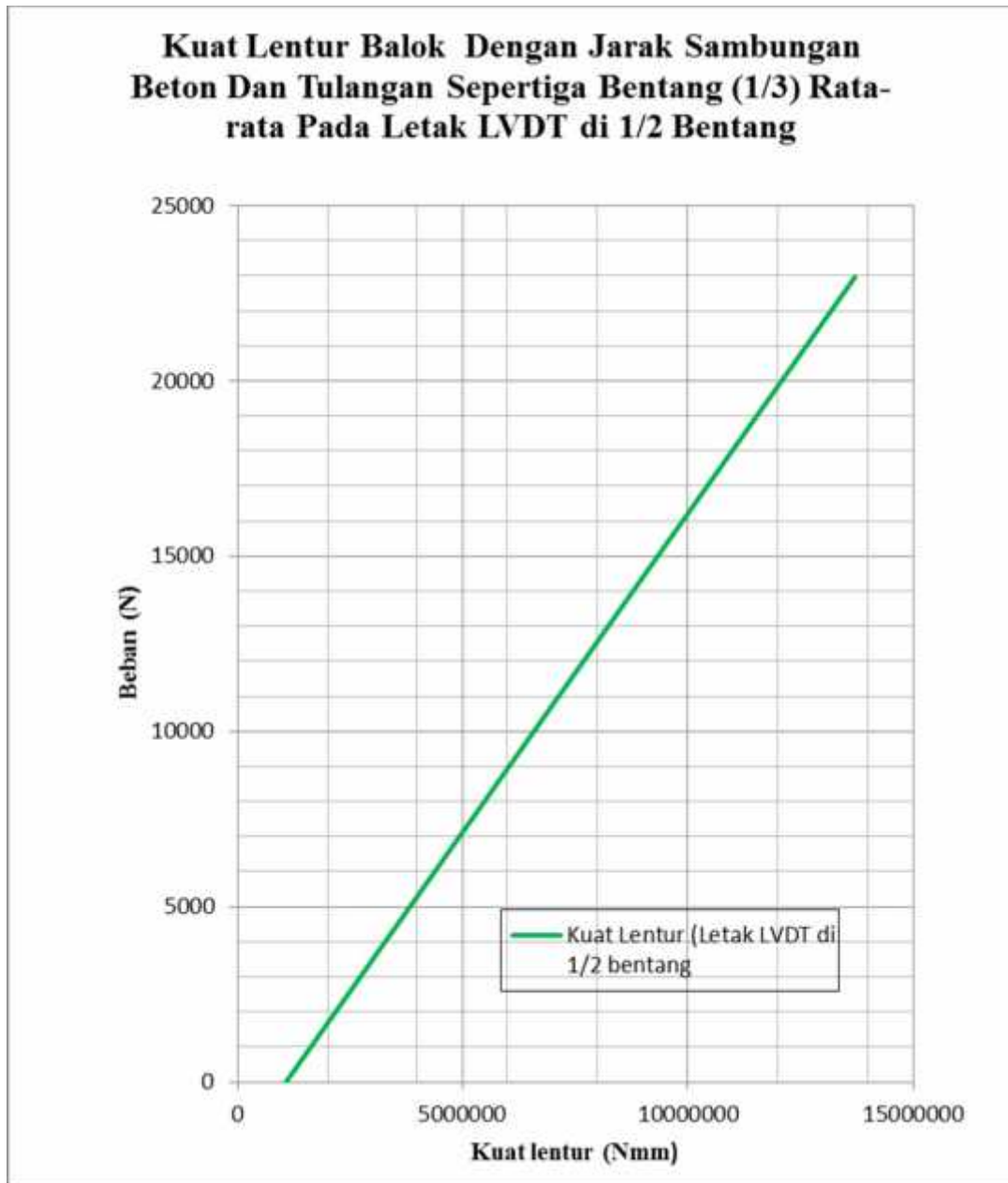
➤ Kolom 7

Kuat Lentur ( M ) Nmm

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$



**Grafik 4.13** Hubungan beban – kuat lentur balok dengan jarak sambungan 1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang



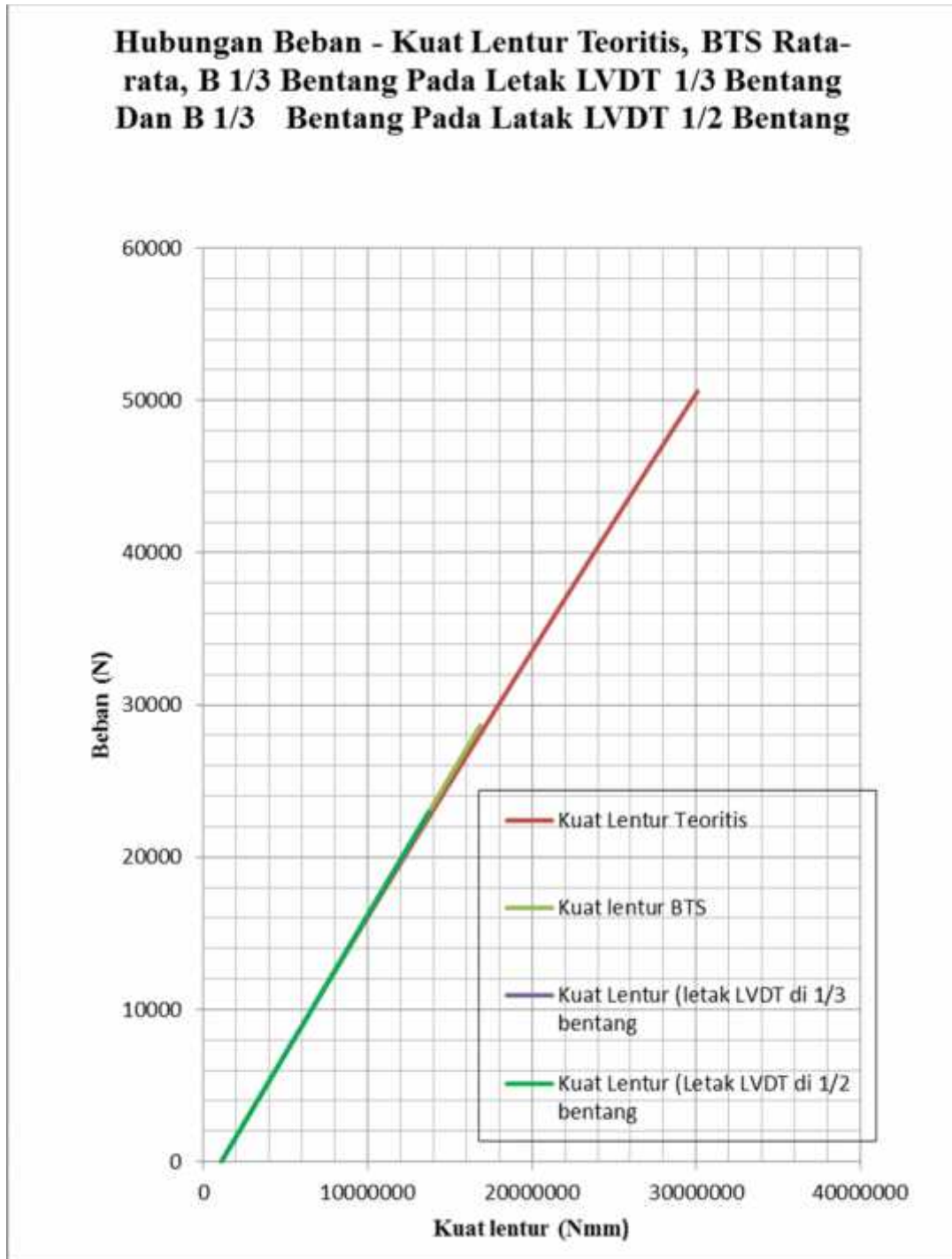
Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.13 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara

menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.18 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat lentur  $Nmm$ ) dan kolom 3 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 22962,5 N, mengalami kuat lentur sebesar 13506207,55 Nmm, sedangkan pada beban minimum 20758,1 N, mengalami kuat lentur sebesar 12495857,55 Nmm.

#### **4. Gabungan Kuat Lentur Teoritis Dan Eksperimen**

Grafik hubungan beban – kuat lentur balok tanpa sambungan beton dan tulangan rata-rata, balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang, pada letak LVDT di  $1/2$  bentang dan teoritis yang terlihat pada grafik 4.14 di bawah adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.16, 4.17 dan 4.18.

**Grafik 4.14.** Hubungan Beban- Kuat Lentur teoritis, BTS, B-1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang dan B1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang



Berdasarkan bentuk grafik 4.14 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $M$  (Kuat lentur) pada kurva BTS rata-rata, B-1/3 bentang rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang dan B 1/3 bentang rata-rata LVDT di 1/3 bentang, dan teoritis sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $M$  (Kuat lentur) dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 28657,2 N dengan besar kuat lentur 16840362,55 Nmm. Dan beban runtuhnya sebesar 28106,10 N dengan besar kuat lentur 16537257,55 Nmm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 22962,50 N dengan besar kuat lentur 13708277,55 Nmm. Dan beban runtuhnya sebesar 20758,10 N dengan besar kuat lentur 12495857,55 Nmm.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di  $\frac{1}{2}$  bentang mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 22962,50 N dengan besar kuat lentur 13708277,55 Nmm. Dan beban runtuhnya sebesar 20758,10 N dengan besar kuat lentur 12495857,55 Nmm.

Grafik hasil analisa teoritis mempunyai nilai beban ( $P$ ) maksimum 50595 N dengan besar kuat lentur 30079709,2 Nmm.

**Tabel 4.18.** Perbedaan Beban -Momen lentur BTS, B-1/3 bentang dan B-1/3 bentang pada letak LVDT di 1/2 bentang

No	Uraian	Beban Maksimum ( P ) ( N )	Momen Lentur ( mm )
1	Balok T teoritis	50594,58859	28905926,28
2	Balok T BTS	26452,8	15625940,00
3	Balok T 1/3 B	2296,25	13708277,55
4	Balok T 1/3 B Tengah bentang	27922,4	13708277,55

### 5. Perbandingan kuat lentur BTS, B 1/3 bentang

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium, didapat perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum pada balok tanpa sambungan (BTS), B 1/3 bentang pada letak LVDT di 1/3 bentang dan B 1/3 bentang pada letak LVDT di 1/2 bentang. Perbedaannya kami tampilkan dalam bentuk persentase seperti pada tabel 4.18 di bawah ini

**Tabel 4.19.** Perbandingan Beban -Momen Lentur Teoritis BTS dan B-1/3 bentang

Parameter	Teoritis	BTS	1/4 B	Presentase BTS-1/4B ( % )	Presentase Teoritis- 1/4B ( % )	Presentase Teoritis - BTS ( % )
Beban Puncak ( N )	50594,58859	2645,28	2296,25	-15,20	95,46	94,77
Momen Lentur ( N mm )	28905926,28	15625940	13708277,55	-13,99	52,58	45,94

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum antara balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) seperti terlihat pada tabel 4.19 di atas, terlihat persentase  $P_{maks}$

-15,20 % dan  $M_{maks}$  -13,99 %. Jadi dapat di simpulkan bahwa jarak sambungan 1/3 bentang tidak aman pada pembangunan sebuah kontruksi beton bertulang. Khususnya pada balok beton.

### 4.3. Perhitungan Kuat Geser Eksperimen

#### 1. Balok Tanpa Sambungan (BTS) rata-rata

Data perencanaan :  $l = 2200$  mm

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi pada lendutan 0.010 mm terjadi beban sebesar 551,1 N, dengan besar kuat geser ;

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 551,1\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200\right) \\ &= 2237,191 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.20*.

**Tabel 4.20.** Kuat Geser Eksperimen Balok Tanpa Sambungan (BTS) rata-rata

Beban ( Kg )	Beban Eksperimen (Kg)	Beban Eksperimen ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( ) (mm)	Kuat Geser (N)
1	2	3	4	5	6	7
0	0,00	0	1,78331	2200	0,000	1961,641
50	55,11	551,10	1,78331	2200	0,010	2237,191
100	110,22	1102,20	1,78331	2200	0,057	2512,741
150	165,33	1653,30	1,78331	2200	0,113	2788,291
200	220,44	2204,40	1,78331	2200	0,153	3063,841
250	275,55	2755,50	1,78331	2200	0,203	3339,391

300	330,66	3306,60	1,78331	2200	0,243	3614,941
350	385,77	3857,70	1,78331	2200	0,293	3890,491
400	440,88	4408,80	1,78331	2200	0,340	4166,041
450	495,99	4959,90	1,78331	2200	0,393	4441,591
500	551,10	5511,00	1,78331	2200	0,443	4717,141
550	606,21	6062,10	1,78331	2200	0,487	4992,691
600	661,32	6613,20	1,78331	2200	0,540	5268,241
650	716,43	7164,30	1,78331	2200	0,597	5543,791
700	771,54	7715,40	1,78331	2200	0,643	5819,341
750	826,65	8266,50	1,78331	2200	0,700	6094,891
800	881,76	8817,60	1,78331	2200	0,750	6370,441
850	936,87	9368,70	1,78331	2200	0,800	6645,991
900	991,98	9919,80	1,78331	2200	0,850	6921,541
950	1047,09	10470,90	1,78331	2200	0,923	7197,091
1000	1102,20	11022,00	1,78331	2200	0,970	7472,641
1050	1157,31	11573,10	1,78331	2200	1,047	7748,191
1100	1212,42	12124,20	1,78331	2200	1,150	8023,741
1150	1267,53	12675,30	1,78331	2200	1,200	8299,291
1200	1322,64	13226,40	1,78331	2200	1,240	8574,841
1250	1377,75	13777,50	1,78331	2200	1,313	8850,391
1300	1432,86	14328,60	1,78331	2200	1,530	9125,941
1350	1487,97	14879,70	1,78331	2200	1,603	9401,491
1400	1543,08	15430,80	1,78331	2200	1,687	9677,041
1450	1598,19	15981,90	1,78331	2200	1,787	9952,591
1500	1653,30	16533,00	1,78331	2200	1,883	10228,141
1550	1708,41	17084,10	1,78331	2200	1,987	10503,691
1600	1763,52	17635,20	1,78331	2200	2,343	10779,241
1650	1818,63	18186,30	1,78331	2200	2,613	11054,791
1700	1873,74	18737,40	1,78331	2200	2,750	11330,341
1750	1928,85	19288,50	1,78331	2200	2,873	11605,891
1800	1983,96	19839,60	1,78331	2200	3,203	11881,441
1850	2039,07	20390,70	1,78331	2200	3,327	12156,991
1900	2094,18	20941,80	1,78331	2200	3,457	12432,541
1950	2149,29	21492,90	1,78331	2200	3,587	12708,091
2000	2204,40	22044,00	1,78331	2200	3,737	12983,641
2050	2259,51	22595,10	1,78331	2200	3,887	13259,191
2100	2314,62	23146,20	1,78331	2200	4,033	13534,741
2150	2369,73	23697,30	1,78331	2200	4,300	13810,291
2200	2424,84	24248,40	1,78331	2200	4,493	14085,841
2250	2479,95	24799,50	1,78331	2200	4,630	14361,391
2300	2535,06	25350,60	1,78331	2200	4,780	14636,941
2350	2590,17	25901,70	1,78331	2200	5,067	14912,491
2400	2590,17	25901,70	1,78331	2200	5,973	14912,491
2450	2608,54	26085,40	1,78331	2200	6,120	15004,341
2500	2755,50	27555,00	1,78331	2200	5,655	15739,141

2550	2755,50	27555,00	1,78331	2200	6,535	15739,141
2600	2865,72	28657,20	1,78331	2200	8,110	16290,241
2650	2810,61	28106,10	1,78331	2200	9,410	16014,691

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.20.

➤ Kolom 1

Beban teoritis (Kg) rata-rata

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (Kg) rata-rata

➤ Kolom 3

Beban eksperimen (N) rata-rata

Seperti terlihat pada kolom 2 di atas

➤ Kolom 4

Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\
 &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\
 &= 1,783 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

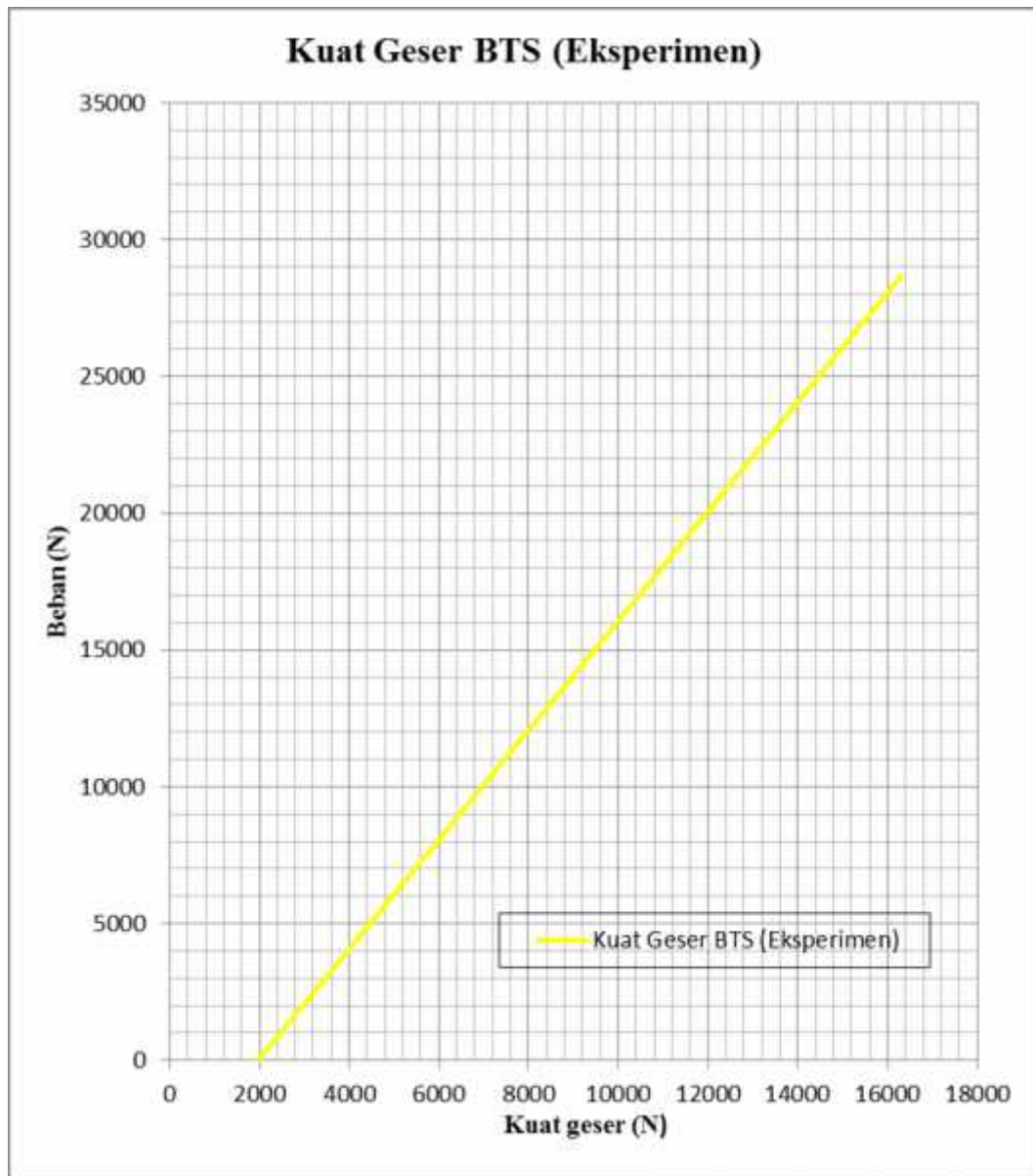
➤ Kolom 7

Kuat Geser ( Vu ) N

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right)$$



*Grafik 4.15. Hubungan beban – kuat geser balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata*



Grafik hubungan beban – kuat geser balok beton tanpa sambungan rata-rata yang terlihat pada Grafik 4.15 di atas adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.20 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat geser  $N$ ) dan kolom 3

untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum  $N$ , 28657,2 N mengalami kuat geser sebesar 16290,241 N, sedangkan pada beban minimum 28106,1 N, mengalami kuat geser sebesar 16014,691 N.

## 2. Balok Dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang Rata-Rata Dengan LVDT Di 1/3 Bentang

Dalam perhitungan kuat geser eksperimen balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang, beban ( $P$ ) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan.

Data perencanaan :  $l = 2200$  mm

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi pada lendutan 0.010 mm terjadi beban sebesar 551,1 N, dengan besar kuat geser ;

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 551,1\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200\right) \\ &= 2237,191 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.21*.

**Tabel 4.21.** *Kuat Geser Eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata pada LVDT di 1/3 bentang*

<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen (Kg)</b>	<b>Beban Eksperimen ( N )</b>	<b>Beban merata (q) ( N/mm )</b>	<b>Panjang (L) (mm)</b>	<b>Lendutan ( ) (mm)</b>	<b>Kuat Geser (N)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	0,00	0	1,78331	2200	0,000	1961,641
50	55,11	551,10	1,78331	2200	0,000	2237,191
100	110,22	1102,20	1,78331	2200	0,003	2512,741
150	165,33	1653,30	1,78331	2200	0,027	2788,291
200	220,44	2204,40	1,78331	2200	0,030	3063,841
250	275,55	2755,50	1,78331	2200	0,037	3339,391
300	330,66	3306,60	1,78331	2200	0,060	3614,941
350	385,77	3857,70	1,78331	2200	0,077	3890,491
400	440,88	4408,80	1,78331	2200	0,100	4166,041
450	495,99	4959,90	1,78331	2200	0,123	4441,591
500	551,10	5511,00	1,78331	2200	0,157	4717,141
550	606,21	6062,10	1,78331	2200	0,163	4992,691
600	661,32	6613,20	1,78331	2200	0,193	5268,241
650	716,43	7164,30	1,78331	2200	0,213	5543,791
700	771,54	7715,40	1,78331	2200	0,257	5819,341
750	826,65	8266,50	1,78331	2200	0,263	6094,891
800	881,76	8817,60	1,78331	2200	0,300	6370,441
850	936,87	9368,70	1,78331	2200	0,323	6645,991
900	991,98	9919,80	1,78331	2200	0,347	6921,541
950	1047,09	10470,90	1,78331	2200	0,380	7197,091
1000	1102,20	11022,00	1,78331	2200	0,393	7472,641
1050	1157,31	11573,10	1,78331	2200	0,433	7748,191
1100	1212,42	12124,20	1,78331	2200	0,483	8023,741
1150	1267,53	12675,30	1,78331	2200	0,563	8299,291
1200	1322,64	13226,40	1,78331	2200	0,617	8574,841
1250	1377,75	13777,50	1,78331	2200	0,663	8850,391
1300	1432,86	14328,60	1,78331	2200	0,713	9125,941
1350	1487,97	14879,70	1,78331	2200	0,767	9401,491
1400	1543,08	15430,80	1,78331	2200	0,827	9677,041
1450	1598,19	15981,90	1,78331	2200	0,867	9952,591
1500	1653,30	16533,00	1,78331	2200	0,923	10228,141

1550	1708,41	17084,10	1,78331	2200	0,973	10503,691
1600	1763,52	17635,20	1,78331	2200	1,040	10779,241
1650	1818,63	18186,30	1,78331	2200	1,120	11054,791
1700	1873,74	18737,40	1,78331	2200	1,187	11330,341
1750	1928,85	19288,50	1,78331	2200	1,280	11605,891
1800	1983,96	19839,60	1,78331	2200	1,380	11881,441
1850	2039,07	20390,70	1,78331	2200	1,503	12156,991
1900	2094,18	20941,80	1,78331	2200	1,607	12432,541
1950	2149,29	21492,90	1,78331	2200	1,730	12708,091
2000	2204,40	22044,00	1,78331	2200	1,840	12983,641
2050	2259,51	22595,10	1,78331	2200	1,970	13259,191
2100	2277,88	22778,80	1,78331	2200	2,140	13351,041
2150	2296,25	22962,50	1,78331	2200	2,240	13442,891
2200	2277,88	22778,80	1,78331	2200	2,453	13351,041
2250	2259,51	22595,10	1,78331	2200	2,587	13259,191
2300	2241,14	22411,40	1,78331	2200	2,767	13167,341
2350	2222,77	22227,70	1,78331	2200	2,970	13075,491
2400	2204,40	22044,00	1,78331	2200	3,237	12983,641
2450	2186,03	21860,30	1,78331	2200	3,407	12891,791
2500	2130,92	21309,20	1,78331	2200	3,463	12616,241
2550	2075,81	20758,10	1,78331	2200	3,487	12340,691

**Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.21.**

- Kolom 1  
Beban teoritis (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 3  
Beban eksperimen (N) rata-rata  
Seperti terlihat pada kolom 2 di atas
- Kolom 4  
Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\
 &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\
 &= 1,783 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

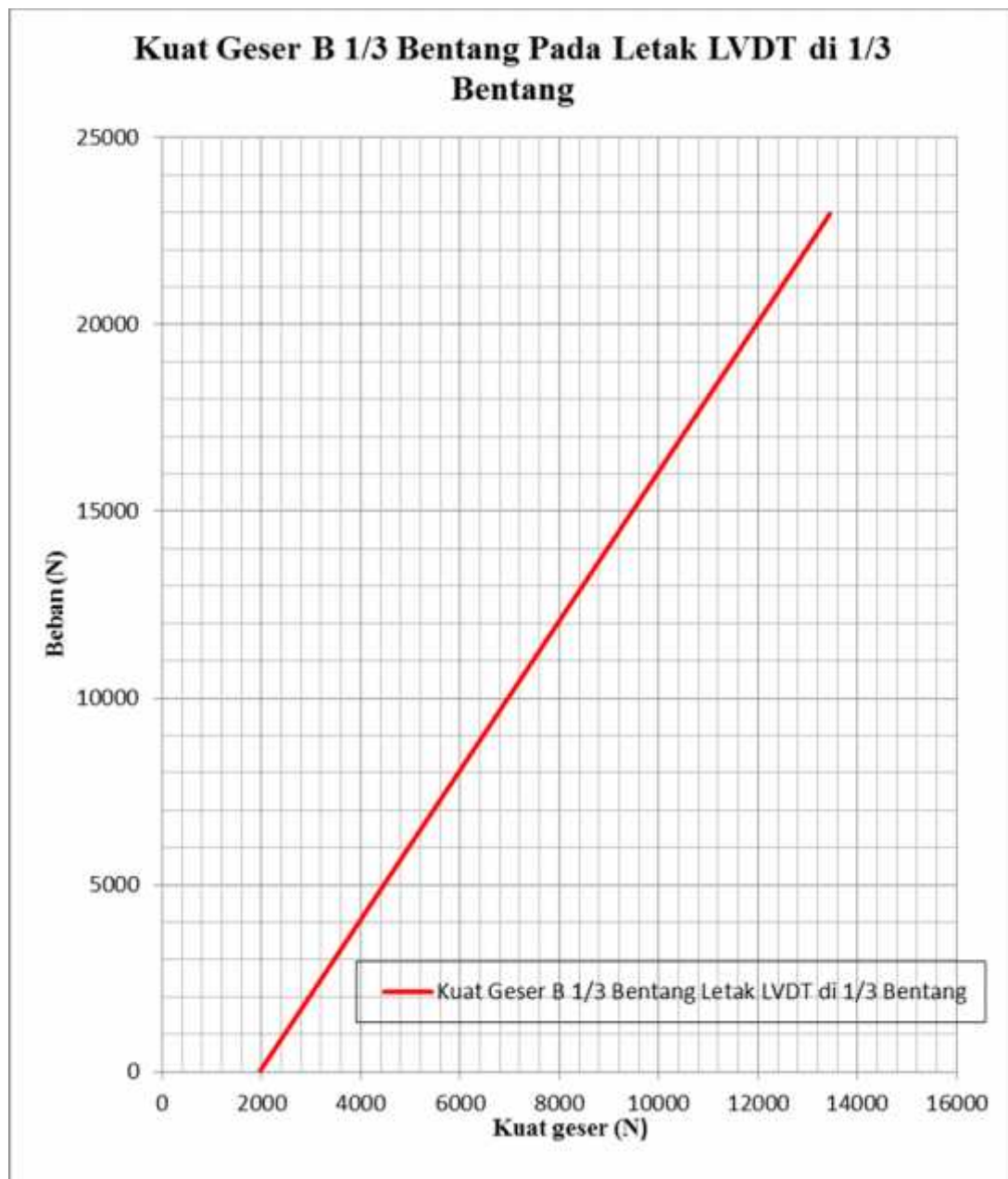
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

➤ Kolom 7

Kuat Geser ( Vu ) N

$$V_u = \left(\frac{1}{2}\right) \times p + \left(\frac{1}{2}\right) \times q \times l$$

**Grafik 4.22.** Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan B 1/3 rata-rata pada jarak LVDT di 1/3 bentang



Grafik hubungan beban – Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang yang terlihat pada Grafik 4.22 di atas adalah hasil analisa teoritis yang

digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.21 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat geser  $N$ ) dan kolom 3 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 22962,50 N, mengalami kuat geser sebesar 13442,891 N, sedangkan pada beban minimum 20758,10 N, mengalami kuat geser sebesar 12340,691 N.

### 3. Balok Dengan Jarak Sambungan 1/3 Bentang Rata-Rata Dengan LVDT Di 1/2 Bentang

Dalam perhitungan kuat geser eksperimen balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang, beban ( $P$ ) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan.

Data perencanaan :  $l = 2200$  mm

$$q = 1,783 \text{ N/mm}$$

$$p = 55,11 \text{ (beban eksperimen)}$$

Jadi pada lendutan 0.010 mm terjadi beban sebesar 551,1 N, dengan besar kuat geser ;

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 551,1\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200\right) \\ &= 2237,191 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.22*.

**Tabel 4.22.** *Kuat Geser Eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang rata-rata pada LVDT di 1/2 bentang*

<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Beban Eksperimen (Kg)</b>	<b>Beban Eksperimen ( N )</b>	<b>Beban merata (q) ( N/mm )</b>	<b>Panjang (L) (mm)</b>	<b>Lendutan ( ) (mm)</b>	<b>Kuat Geser (N)</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
0	0,00	0	1,78331	2200	0,000	1961,641
50	55,11	551,10	1,78331	2200	0,017	2237,191
100	110,22	1102,20	1,78331	2200	0,043	2512,741
150	165,33	1653,30	1,78331	2200	0,083	2788,291
200	220,44	2204,40	1,78331	2200	0,127	3063,841
250	275,55	2755,50	1,78331	2200	0,173	3339,391
300	330,66	3306,60	1,78331	2200	0,223	3614,941
350	385,77	3857,70	1,78331	2200	0,273	3890,491
400	440,88	4408,80	1,78331	2200	0,327	4166,041
450	495,99	4959,90	1,78331	2200	0,383	4441,591
500	551,10	5511,00	1,78331	2200	0,453	4717,141
550	606,21	6062,10	1,78331	2200	0,493	4992,691
600	661,32	6613,20	1,78331	2200	0,557	5268,241
650	716,43	7164,30	1,78331	2200	0,613	5543,791
700	771,54	7715,40	1,78331	2200	0,677	5819,341
750	826,65	8266,50	1,78331	2200	0,737	6094,891
800	881,76	8817,60	1,78331	2200	0,797	6370,441
850	936,87	9368,70	1,78331	2200	0,860	6645,991
900	991,98	9919,80	1,78331	2200	0,910	6921,541
950	1047,09	10470,90	1,78331	2200	0,990	7197,091
1000	1102,20	11022,00	1,78331	2200	1,053	7472,641
1050	1157,31	11573,10	1,78331	2200	1,137	7748,191
1100	1212,42	12124,20	1,78331	2200	1,307	8023,741
1150	1267,53	12675,30	1,78331	2200	1,427	8299,291
1200	1322,64	13226,40	1,78331	2200	1,617	8574,841
1250	1377,75	13777,50	1,78331	2200	1,767	8850,391
1300	1432,86	14328,60	1,78331	2200	1,917	9125,941
1350	1487,97	14879,70	1,78331	2200	2,027	9401,491
1400	1543,08	15430,80	1,78331	2200	2,130	9677,041
1450	1598,19	15981,90	1,78331	2200	2,280	9952,591
1500	1653,30	16533,00	1,78331	2200	2,430	10228,141



1550	1708,41	17084,10	1,78331	2200	2,590	10503,691
1600	1763,52	17635,20	1,78331	2200	2,773	10779,241
1650	1818,63	18186,30	1,78331	2200	2,970	11054,791
1700	1873,74	18737,40	1,78331	2200	3,187	11330,341
1750	1928,85	19288,50	1,78331	2200	3,433	11605,891
1800	1983,96	19839,60	1,78331	2200	3,777	11881,441
1850	2039,07	20390,70	1,78331	2200	4,133	12156,991
1900	2094,18	20941,80	1,78331	2200	4,493	12432,541
1950	2149,29	21492,90	1,78331	2200	4,880	12708,091
2000	2204,40	22044,00	1,78331	2200	5,227	12983,641
2050	2259,51	22595,10	1,78331	2200	5,547	13259,191
2100	2277,88	22778,80	1,78331	2200	5,923	13351,041
2150	2296,25	22962,50	1,78331	2200	6,280	13442,891
2200	2277,88	22778,80	1,78331	2200	6,703	13351,041
2250	2259,51	22595,10	1,78331	2200	7,180	13259,191
2300	2241,14	22411,40	1,78331	2200	7,467	13167,341
2350	2222,77	22227,70	1,78331	2200	7,663	13075,491
2400	2204,40	22044,00	1,78331	2200	8,107	12983,641
2450	2186,03	21860,30	1,78331	2200	8,283	12891,791
2500	2130,92	21309,20	1,78331	2200	8,437	12616,241
2550	2075,81	20758,10	1,78331	2200	8,550	12340,691

**Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.22.**

- Kolom 1  
Beban teoritis (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 3  
Beban eksperimen (N) rata-rata  
Seperti terlihat pada kolom 2 di atas
- Kolom 4  
Beban merata ( q ) N/mm

$$\begin{aligned}
 q &= \text{Luas Penampang} \times \text{Berat jenis beton} \\
 &= 0,08 \times 0,63 + 0,15 \times 0,17 \times 2362 \\
 &= 1,783 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok ( L ) mm

➤ Kolom 6

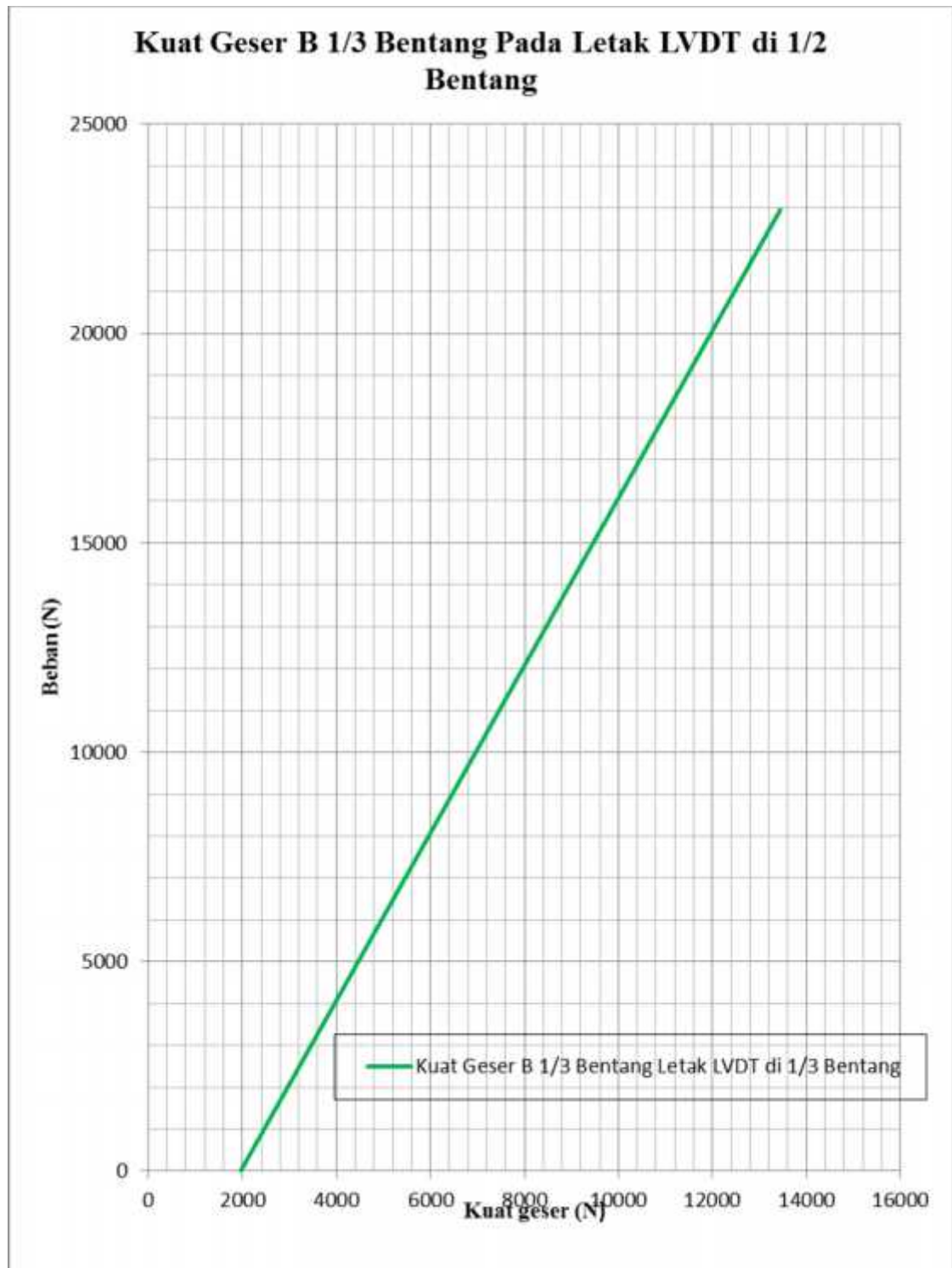
Lendutan yang terjadi pada balok ( ) mm tanpa sambungan rata-rata

➤ Kolom 7

Kuat Geser (  $V_u$  ) N

$$V_u = \left(\frac{1}{2}\right) \times p + \left(\frac{1}{2}\right) \times q \times l$$

**Grafik 4.23.** Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan B 1/3 rata-rata pada jarak LVDT di 1/2 bentang

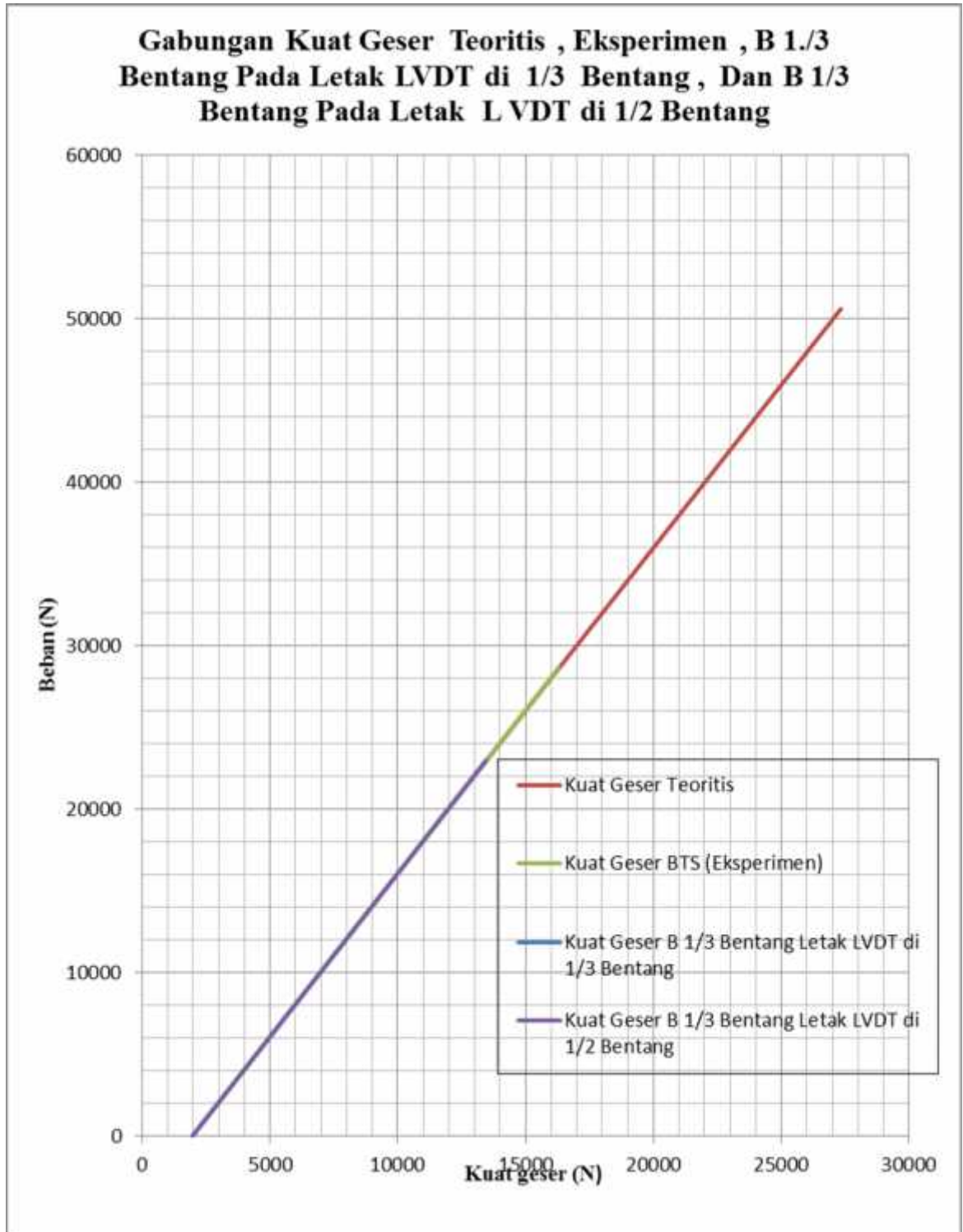


Grafik hubungan beban – Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang rata-rata pada letak LVDT di  $1/3$  bentang yang terlihat pada Grafik 4.23 di atas adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.22 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Kuat geser  $N$ ) dan kolom 3 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 22962,50 N, mengalami kuat geser sebesar 13442,891 N, sedangkan pada beban minimum 20758,10 N, mengalami kuat geser sebesar 12340,691 N.

#### **4. Gabungan Kuat Geser Teoritis Dan Eksperimen**

Grafik hubungan beban – kuat geser balok tanpa sambungan beton dan tulangan rata-rata, balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan B  $1/3$  bentang rata-rata pada letak LVDT di  $1/3$  bentang, B  $1/3$  bentang rata-rata pada letak LVDT  $1/2$  bentang dan teoritis yang terlihat pada grafik 4.15 di bawah adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.12 dan 4.13.

**Grafik 4.24.** Hubungan Beban- Kuat Geser teoritis, BTS, dan B-1/3 rata-rata (pada letak LVDT di 1/2 Bentang



Berdasarkan bentuk grafik 4.24 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan Kuat geser pada kurva BTS rata-rata, B-1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang, B-1/3 rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang, dan teoritis sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan kuat geser dapat diuraikan sebagai berikut :

Grafik hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 28657,20 N dengan besar kuat geser 16290,241 N. Dan beban runtuhnya sebesar 28106,10 N dengan besar kuat lentur 16014,691 N.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/3 bentang mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 22962,50 N dengan besar kuat geser 13442,891 N. Dan beban runtuhnya sebesar 20758,10 N dengan besar kuat lentur 12340,69 N.

Grafik hasil analisa eksperimen Balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) rata-rata pada letak LVDT di 1/2 bentang mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 22962,50 N dengan besar kuat geser 13442,891 N. Dan beban runtuhnya sebesar 20758,10 N dengan besar kuat lentur 12340,69 N.

Grafik hasil analisa teoritis mempunyai nilai beban ( $P$ ) maksimum 50594,59 N dengan besar kuat lentur 27329,376 N

**Tabel 4.23.** Perbedaan beban - Kuat Geser BTS dan B-1/3 bentang

No	Uraian	Beban Maksimum ( P ) ( N )	Momen Geser ( mm )
1	Balok T teoritis	50594,58859	27258,94
2	Balok T BTS	2645,28	15184,40
3	Balok T 1/3 B	2296,25	13442,89
4	Balok T 1/3 B Tengah bentang	2296,25	13442,89

### 5. Perbandingan kuat geser BTS, B-1/3 bentang

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium, didapat perbedaan nilai beban maksimum dan kuat geser maksimum pada balok tanpa sambungan (BTS) dengan balok dengan jarak sambungan beton, tulangan 1/3 bentang (B-1/3) pada letak LVDT di 1/3 bentang dan tulangan 1/3 bentang (B-1/3) pada letak LVDT di 1/2 bentang. Perbedaannya kami tampilkan dalam bentuk persentase seperti pada tabel 4.24 di bawah ini :

**Tabel 4.24.** Perbandingan beban maks-kuat geser maks BTS dan B-1/3 bentang

Parameter	Teoritis	BTS	1/3 B	Presentase BTS-1/3B ( % )	Presentase Teoritis- 1/3B ( % )	Presentase Teoritis - BTS ( % )
Beban Puncak ( N )	50594,58859	2645,28	2296,25	-15,20	95,46	94,77
Momen geser ( N mm )	27258,9353	15184	13442,89	-12,95	50,68	44,30

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan kuat geser maksimum antara balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan jarak sambungan 1/3 bentang (B-1/3) pada letak LVDT di 1/3 bentang seperti terlihat pada tabel 4.24 di

atas, terlihat persentase  $P_{maks}$  -15,20 % dan  $Vu_{maks}$  -12,95 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa jarak sambungan 1/3 bentak tidak aman pada pembangunan sebuag kontruksi beton bertulang, khususnya pada balok beton.

#### **4.4. Pembahasan**

Dalam pembahasan pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sepertiga bentang ( $B/3$ ) terhadap kekuatan balok yang dilaksanakan di lokasi Priyek Pembangunan Ijen Padjajaran Suites Hotel Resort And Convention Hall, pengujian kuat tarik tulangan di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang, pengujian kuat tekan beton di Laboratorium Bahan Bangunan Dan Beton Politeknik Negeri Malang dan pengujian benda uji balok di Laboratorium Struktur dan Uji Bahan Kontruksi Universitas Brawijaya Malang. Benda uji berupa 50 buah silinder berukuran 150 x 300 mm, 3 buah sampel balok tanpa sambungan dan 3 buah sampel balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang.

Dalam penelitian ini menganal :isa lendutan, kuat lentur dan kuat geser dengan hasil analisa eksperimen sebagai berikut

##### **1. Lendutan**

###### **Analisa lendutan balok tanpa sambungan A (BTS)**

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan A (BTS-A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1543,08 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 1,70 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah



seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 10,07 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2810,61 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 10,89 \text{ mm}$ .

### **Analisa lendutan balok tanpa sambungan B (BTS)**

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan B (BTS-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 1,45 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2590,17 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 5,40 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.4, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2590,17 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2094,18 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 9,6 \text{ mm}$ .

### **Analisa lendutan balok tanpa sambungan C (BTS)**

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan C (BTS-C) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1708,41 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 1,61 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2755,50 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 6,26 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.6, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2755,50 \text{ Kg}$

dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2424,84 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 8,96 \text{ mm}$ .

Hasil analisa dari ketiga balok tersebut, diambil nilai rata-rata beban  $P$  dan lendutan, beban puncak terjadi  $P = 2755,50 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 8,19 \text{ mm}$ , dan beban akan terus diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2617,725 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 9,93 \text{ mm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.4 dan grafik 4.4.

#### **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) A**

- **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) A pada letak LVDT di 1/3 bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) pada letak LVDT di 1/3 bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1377,75 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 0,82 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2259,51 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 2,24 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.8, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2259,51 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap

diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 1708,41 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 4,11 \text{ mm}$ .

- **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) A pada letak LVDT di 1/2 bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-A) pada letak LVDT di 1/2 bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1377,75 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 2,18 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2259,51 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 6,92 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.8, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2259,51 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 1708,41 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 9,27 \text{ mm}$ .

#### **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) B**

- **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) B pada letak LVDT di 1/3 bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang (B  $1/3$ -B) pada letak LVDT di  $1/3$  bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 0,52 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2369,73 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 2,45 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.10, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2369,73 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 1928,85 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 3,43 \text{ mm}$ .

➤ **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B  $1/3$ ) B pada letak LVDT di  $1/2$  bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang (B  $1/3$ -B) pada letak LVDT di  $1/2$  bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 1,38 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2369,73 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 6,89 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.10, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2369,73 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap

diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 1928,85 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 8,41 \text{ mm}$ .

**Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) C**

- **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) C pada letak LVDT di 1/3 bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/3 bentang (B 1/3-C) pada letak LVDT di 1/3 bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1322,64 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 0,45 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2700,39 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 2,67 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.12, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2700,39 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2590,17 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 2,92 \text{ mm}$ .

- **Analisa lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan longitudinal sepertiga bentang (B 1/3) C pada letak LVDT di 1/2 bentang**

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $1/3$  bentang (B  $1/3$ -C) pada letak LVDT di  $1/2$  bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai  $P = 1322,64 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 1,11 \text{ mm}$ , kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2700,39 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi sebesar  $\Delta = 7,25 \text{ mm}$ . Seperti terlihat dalam Gambar 4.12, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak  $P = 2700,39 \text{ Kg}$  dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi  $P = 2590,17 \text{ Kg}$  dengan besar defleksi  $\Delta = 7,97 \text{ mm}$ .

## **2. Kuat Lentur Akibat Beban Eksperimen**

### **Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan (BTS)**

Anilisa kuat lentur balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2865,7 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $16840362,55 \text{ Nmm}$ , sedangkan pada beban minimum  $P = 2810,6 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $16537257,55 \text{ Nmm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.16 dan grafik 4.11.

### **Analisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/3 bentang**

Anilisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di  $1/3$  bentang didapat

dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2296,3 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $13708277,55 \text{ Nmm}$ , sedangkan pada beban minimum  $P = 2075,8 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $12495857,55 \text{ Nmm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.17 dan grafik 4.12.

### **Analisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/2 bentang**

Anilisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di  $\frac{1}{2}$  bentang didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2296,3 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $13708277,55 \text{ Nmm}$ , sedangkan pada beban minimum  $P = 2075,8 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $12495857,55 \text{ Nmm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.18 dan grafik 4.13.

### **3. Kuat Geser Akibat Beban Eksperimen**

#### **Analisa kuat geser balok tanpa sambungan (BTS)**

Anilisa kuat geser balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2865,72 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $16290,241 \text{ N}$ , sedangkan pada

beban minimum  $P = 2810,6 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $16014,691 \text{ N}$ .

Data bisa dilihat pada tabel 4.20 dan grafik 4.15.

**Analisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/3 bentang**

Anilisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/3 bentang didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2296,25 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $13442,891 \text{ N}$ , sedangkan pada beban minimum  $P = 2075,81 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $12340,691 \text{ Nmm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.21 dan grafik 4.22.

**Analisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/2 bentang**

Anilisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B-(1/3) pada letak LVDT di 1/2 bentang didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban  $P$  eksperimen, dan terlihat pada beban maksimum  $P = 2296,25 \text{ Kg}$ , mengalami kuat lentur sebesar  $13442,891 \text{ N}$ , sedangkan pada beban minimum  $P = 2075,81 \text{ Kg}$  mengalami kuat lentur sebesar  $12340,691 \text{ Nmm}$ . Data bisa dilihat pada tabel 4.22 dan grafik 4.23.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan perhitungan teoritis dan hasil penelitian pengaruh sambungan balok T jarak sambungan 1/3 bentang dan balok tanpa sambungan ( BTS ) terhadap kekuatan balok yang telah dilaksanakan memberikan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil nilai beban - kuat lentur (  $M$  ) dimana untuk perhitungan teoritis dapat menerima beban (  $P$  ) adalah 5059,46 Kg balok T tanpa sambungan dengan nilai beban (  $P$  ) eksperimen adalah 2645,280 N dengan nilai momen 16840362,55 Nmm. Sedangkan nilai beban-kuat lentur pada balok T dengan jarak sambungan 1/3 bentang (letak LVDT di 1/2 bentang) dengan nilai beban eksperimen (  $P$  ) 2296,25 N dan nilai momen yang terjadi adalah 13708277,55 Nmm.
2. Berdasarkan hasil nilai beban-kuat geser dimana untuk perhitungan teoritis dapat menerima beban (  $P$  ) = 5059,46 Kg dengan nilai kuat geser (  $V_u$  ) = 9467,883 N, balok tanpa sambungan ( BTS ) diketahui beban eksperimen (  $P$  ) = 2645,28 N dengan nilai kuat geser (  $V_u$  ) = 16290,241 N dan balok T dengan jarak sambungan 1/3 bentang diketahui beban puncak (  $P$  ) mengalami kenaikan yaitu 2296,25 N dan nilai kuat geser (  $V_u$  ) = 13442,891 N.
3. Berdasarkan nilai beban – lendutan dimana untuk perhitungan teoritis dapat menerima beban maksimum (  $P$  ) = 5059,46 Kg dengan besar defleksi = 4,482 mm, balok T tanpa sambungan ( BTS ) dapat menerima beban maksimum (  $P$  ) = 2645,28 Kg dengan besar defleksi = 6,53 mm dan balok T dengan

sambungan  $1/3$  (letak LVDT di  $1/2$  bentang) bentang diketahui beban puncak ( $P$ ) = 2296,25 Kg dengan defleksi = 6,28 mm. Sedangkan defleksi = 1,62 mm yang di alami pada tengah bentang balok T jarak sambungan  $1/3$  bentang.

4. Posisi retak yang terjadi terhadap balok T tanpa sambungan terjadi pada tengah bentang atau retak awal diposisi pemberian baban terpusat. Sedangkan untuk balok T dengan jarak sambungan  $1/3$  bentang retak awal betada di tengah bentang atau di daerah posisi pemberian beban dan retak tidak berpengaruh pada sambungan  $1/3$  bentang.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kami dapat memberikan saran-saran untuk penelitian tingkat lanjut sebagai berikut;

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan bengan menggunakan lebih banyak lagi variasi letak sambungan misalkan  $1/6$  bentang,  $1/5$  bentang.
2. Perlu dilakuakan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi diameter tulangan yang lebih banyak lagi, serta bisa dengan menggunakan tulangan baja ulir dan polos.
3. Perlu diperhatikan jenis tumpuan dalam pelaksanaan penelitian sesuai dengan perhitungan teoritis, agar hubungan beban-lendutan BTS rata-rata dan teoritis tidak mengalami perbedaan yang sangat jauh. Seperti yang terlihat pada *grafik 4.5*.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dimensi balok yang berbeda dan variasi panjang bentang yang berbeda.

5. Pelaksanaan penelitian sebaiknya dilakukan di laboratorium supaya hasil pengujian sesuai yang diharapkan. Karena mendapatkan pengawasan yang maksimal.
6. Waktu pelaksanaan penelitian diusahakan sebelum membuat benda uji sebaiknya melihat alat yang dibutuhkan dan kapasitas alat.
7. Perlu diperhatikan pada tumpuan pada saat melakukan pengujian di laboratorium. Apakah tumpuan sesuai atau tidak.



### HASIL UJI KOKOH TEKAN HANCUR SILINDER / KUBUS BETON

NOMER ORDER : 100 / UBA / SLD / 14  
 DIKIRIM OLEH : PT. TRICON SARANA MAKMUR  
 UNTUK PEKERJAAN : PADJAJARAN HOTEL IJEN - MALANG  
 Plant : PT. Varia Usaha Beton  
 BANYAKNYA : 35 Silinder + Capping  
 DITERIMA DI LAB. : 30 April 2014

No.	Tanggal		Umur ( hari )	Jenis Konstruksi	Berat ( kg )	Tekanan Hancur ( kN )	Teg. Hancur Silinder ( kg / cm <sup>2</sup> )	Teg. Hancur Kubus ( kg / cm <sup>2</sup> )	K E T.
	Buat	Tes							
1	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V44 - Pile Cap	12,7	770	435,95	525,24	K 350
2	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V61 - Pile Cap	12,5	890	503,89	607,10	K 350
3	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V25 - Pile Cap	12,5	1020	577,49	695,78	K 350
4	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V67 - Pile Cap	12,5	900	509,55	613,92	K 350
5	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V59 - Pile Cap	12,5	815	461,43	555,94	K 350
6	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V3 - Pile Cap	12,4	865	489,74	590,05	K 350
7	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V16 - Pile Cap	12,4	880	498,23	600,28	K 350
8	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V53 - Pile Cap	12,6	825	467,09	562,76	K 350
9	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V61 - Pile Cap	12,5	865	489,74	590,05	K 350
10	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V22 - Pile Cap	12,6	785	444,44	535,48	K 350
11	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V34 - Pile Cap	12,6	700	396,32	477,49	K 350
12	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V34 - Pile Cap	12,6	600	339,70	409,28	K 350
13	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V28 - Pile Cap	12,5	635	359,52	433,16	K 350
14	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V7 - Pile Cap	12,4	765	433,12	521,83	K 350
15	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V64 - Pile Cap	12,5	765	433,12	521,83	K 350
16	02-Apr-14	30-Apr-14	28	V25 - Pile Cap	12,6	1035	585,99	706,01	K 350
17	20-Apr-14	30-Apr-14	10	V2 - KLM + BW	12,4	450	340,34	410,05	K 350
18	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V15 - Pile Cap Zona 1	12,5	630	498,38	600,45	K 350
19	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V9 - Pile Cap Zona 1	12,5	560	443,00	533,74	K 350
20	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V3 - Pile Cap Zona 1	12,7	665	526,06	633,81	K 350
21	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V7 - Pile Cap Zona 1	12,5	520	411,36	495,61	K 350
22	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V9 - Pile Cap Zona 1	12,5	560	443,00	533,74	K 350
23	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V7 - Pile Cap Zona 1	12,7	550	435,09	524,21	K 350
24	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V21 - Pile Cap Zona 1	12,5	610	482,55	581,39	K 350
25	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V5 - Pile Cap Zona 1	12,5	710	561,66	676,70	K 350
26	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V21 - Pile Cap Zona 1	12,3	555	439,05	528,97	K 350
27	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V19 - Pile Cap Zona 1	12,5	605	478,60	576,63	K 350
28	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V13 - Pile Cap Zona 1	12,8	650	514,20	619,52	K 350
29	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V1 - Pile Cap Zona 1	12,5	680	537,93	648,11	K 350
30	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V11 - Pile Cap Zona 1	12,5	585	462,78	557,56	K 350
31	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V17 - Pile Cap Zona 1	12,5	510	403,45	486,08	K 350
32	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V5 - Pile Cap Zona 1	12,6	610	482,55	581,39	K 350
33	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V15 - Pile Cap Zona 1	12,8	570	450,91	543,27	K 350
34	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V1 - Pile Cap Zona 1	12,7	640	506,29	609,98	K 350
35	21-Apr-14	30-Apr-14	9	V13 - Pile Cap Zona 1	12,6	765	605,17	729,12	K 350

Cat. : a. Tegangan Hancur Silinder / Kubus Beton ( kg / cm<sup>2</sup> )  
 dihitung / dikonversikan pada umur 28 hari.

b. Tegangan Hancur Silinder Beton rerata = 469,93 kg / cm<sup>2</sup>  
 Tegangan Hancur Kubus Beton rerata (hasil konversi) = 566,19 kg / cm<sup>2</sup>

c. Nilai tegangan tekan tersebut pada point b di atas adalah **TEGANGAN TEKAN BETON RATA-RATA**,  
 bukan nilai tegangan beton karakteristik ataupun f<sub>c</sub>.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
POLITEKNIK NEGERI MALANG - JURUSAN TEKNIK SIPIL  
LABORATORIUM BAHAN BANGUNAN DAN BETON

Jl. Soekarno Hatta No. 9 Malang 65141 Telp (0341) 404424 Fax (0341) 404420

<http://www.pottek-malang.ac.id>

**HASIL UJI KOKOH TEKAN HANCUR SILINDER / KUBUS BETON**

NOMER ORDER : 143 / UBA / SLD / 14  
DIKIRIM OLEH : PT. TRICON SARANA MAKMUR  
UNTUK PEKERJAAN : PADJAJARAN HOTEL IJEN - MALANG  
Plant : PT. Varia Usaha Beton  
BANYAKNYA : 15 Silinder + Capping  
DITERIMA DI LAB. : 13 Juni 2014

No.	Tanggal		Umur (hari)	Jenis Konstruksi	Berat (kg)	Tekanan Hancur (kN)	Teg. Hancur Silinder (kg/cm <sup>2</sup> )	Teg. Hancur Kubus (kg/cm <sup>2</sup> )	K E T.
	Buat	Tes							
1	29-Apr-14	13-Jun-14	45	Retaining Wall Zona 3	12,3	660	354,25	426,80	K 350
2	29-Apr-14	13-Jun-14	45	Retaining Wall Zona 1	12,6	610	327,41	394,47	K 350
3	12-Mei-14	13-Jun-14	32	Plat Balok Lantai 1 Zona 1	12,5	740	413,63	498,35	K 350
4	12-Mei-14	13-Jun-14	32	V7 - Plat Balok Lantai 1 Zona 1	12,7	800	447,17	538,76	K 350
5	02-Jun-14	13-Jun-14	11	V1 - Kolom Lantai 2 Zona 2	12,1	380	275,33	331,73	K 350
6	02-Jun-14	13-Jun-14	11	V2 - Kolom Lantai 2 Zona 2	12,0	395	286,20	344,82	K 350
7	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V10 - Kolom Lantai 2 Zona 2	12,8	455	359,94	433,66	K 350
8	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V16 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,5	400	316,43	381,24	K 350
9	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V7 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,1	440	348,07	419,36	K 350
10	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V21 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,4	425	336,21	405,07	K 350
11	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V3 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,6	440	348,07	419,36	K 350
12	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V21 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,5	470	371,80	447,96	K 350
13	04-Jun-14	13-Jun-14	9	V7 - Plat Lantai 2 Zona 2	12,7	405	320,38	386,01	K 350
14	06-Jun-14	13-Jun-14	7	V3 - Kolom Lantai 2 Zona 2	12,4	470	409,39	493,24	K 350
15	06-Jun-14	13-Jun-14	7	V1 - Kolom Lantai 4 Zona 3	12,3	460	400,68	482,74	K 350

Cat. : a. Tegangan Hancur Silinder / Kubus Beton (kg/cm<sup>2</sup>)  
dihitung / dikonversikan pada umur 28 hari.

b. Tegangan Hancur Silinder Beton rerata = 354,33 kg/cm<sup>2</sup>  
Tegangan Hancur Kubus Beton rerata (hasil konversi) = 426,90 kg/cm<sup>2</sup>

c. Nilai tegangan tekan tersebut pada point b di atas adalah **TEGANGAN TEKAN BETON RATA-RATA**,  
bukan nilai tegangan beton karakteristik ataupun f'c.





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

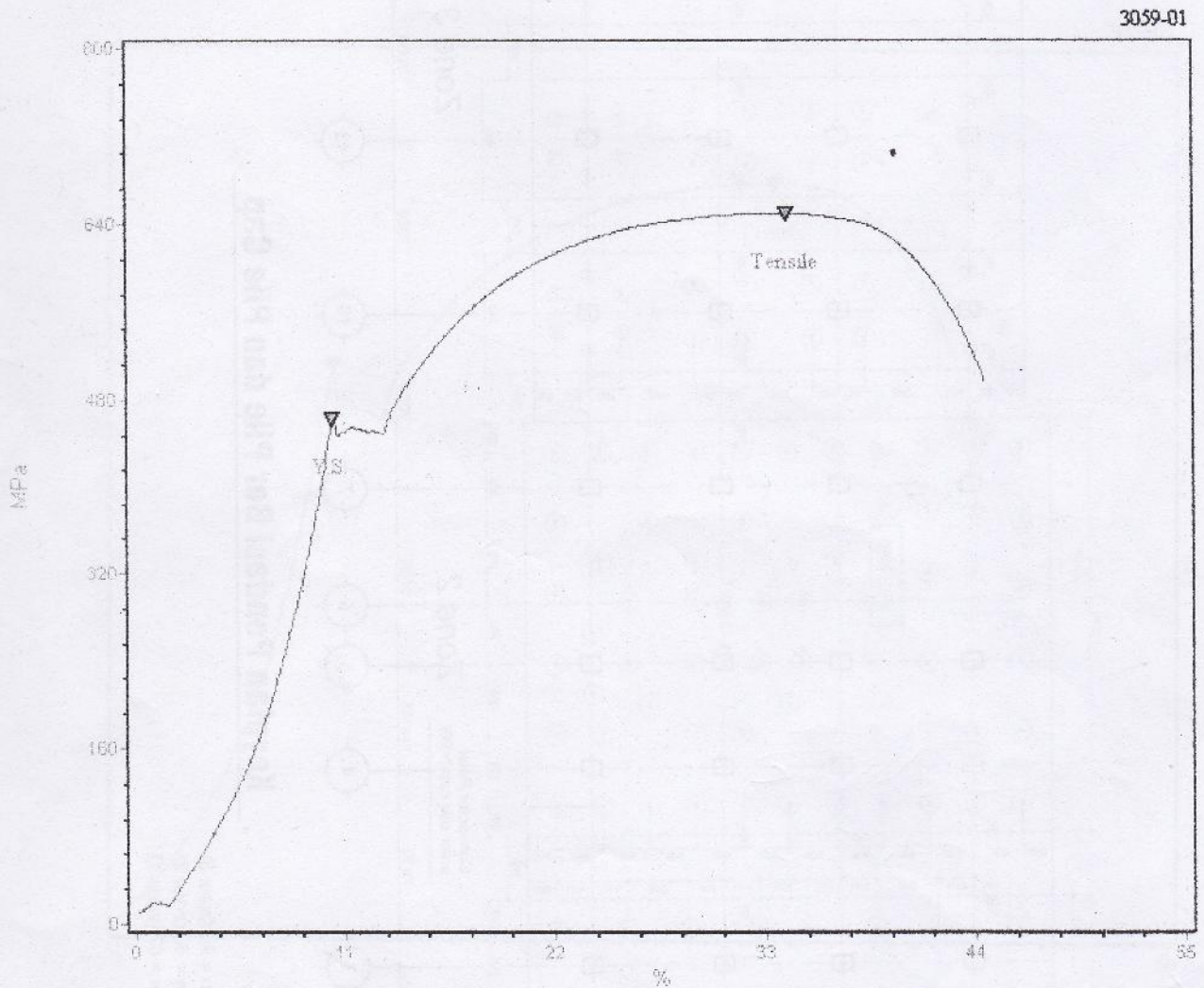
Test No : 3059

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 03/10/2014

NO.	SPECIMEN	Area mm <sup>2</sup>	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Polos N10 (A)	44.18	28694.40	462.398	649.508	44.444



Kepala Laboratorium :

**Ir. Teguh Rahardjo, MT**  
NIP 195706011992021001



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

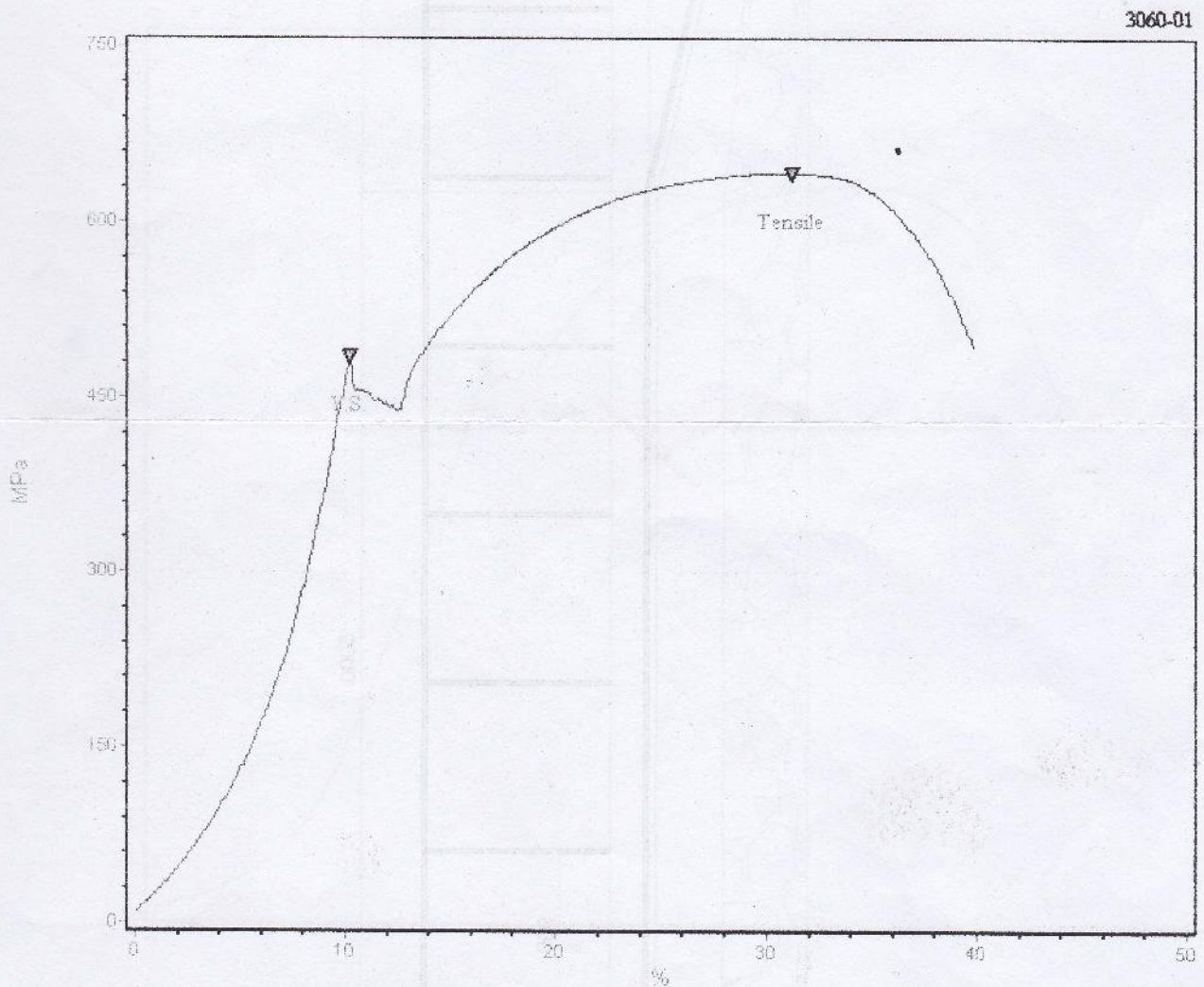
Test No : 3060

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 03/10/2014

NO.	SPECIMEN	Area mm <sup>2</sup>	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Polos N10 (B)	44.18	28371.00	484.802	642.188	39.822



Kepala Laboratorium :

**Ir. Teguh Rahardjo, MT**

NIP 195706011992021001



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL**  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext: 511 Malang

TEST REPORT

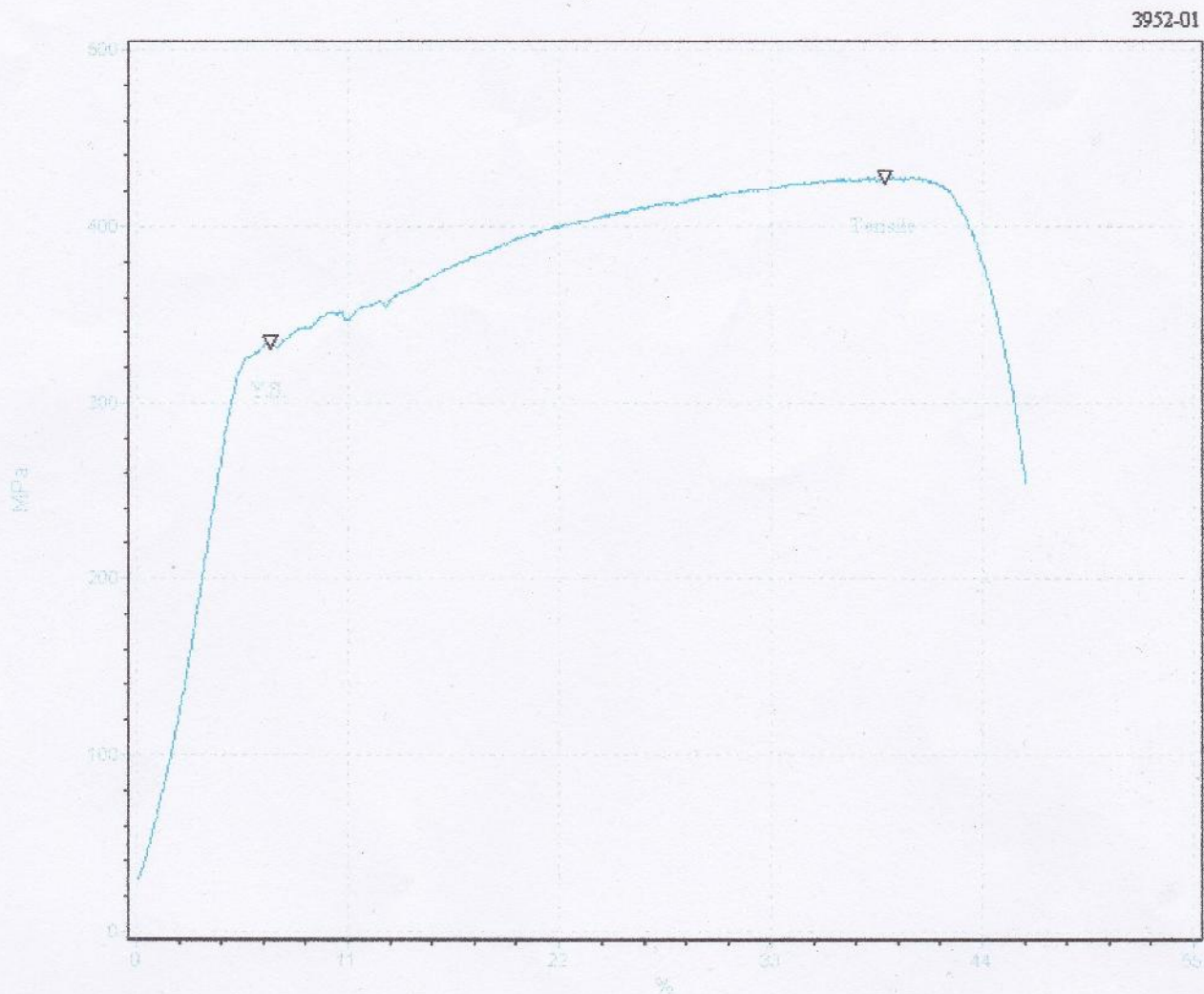
Test No : 3952

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm <sup>2</sup>	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulangan (A)	15.90	6801.20	334.589	427.632	46.222



Kepala Laboratorium :



**Ir. Teguh Rahardjo, MT**  
NIP 195706011992021001





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL**  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

**TEST REPORT**

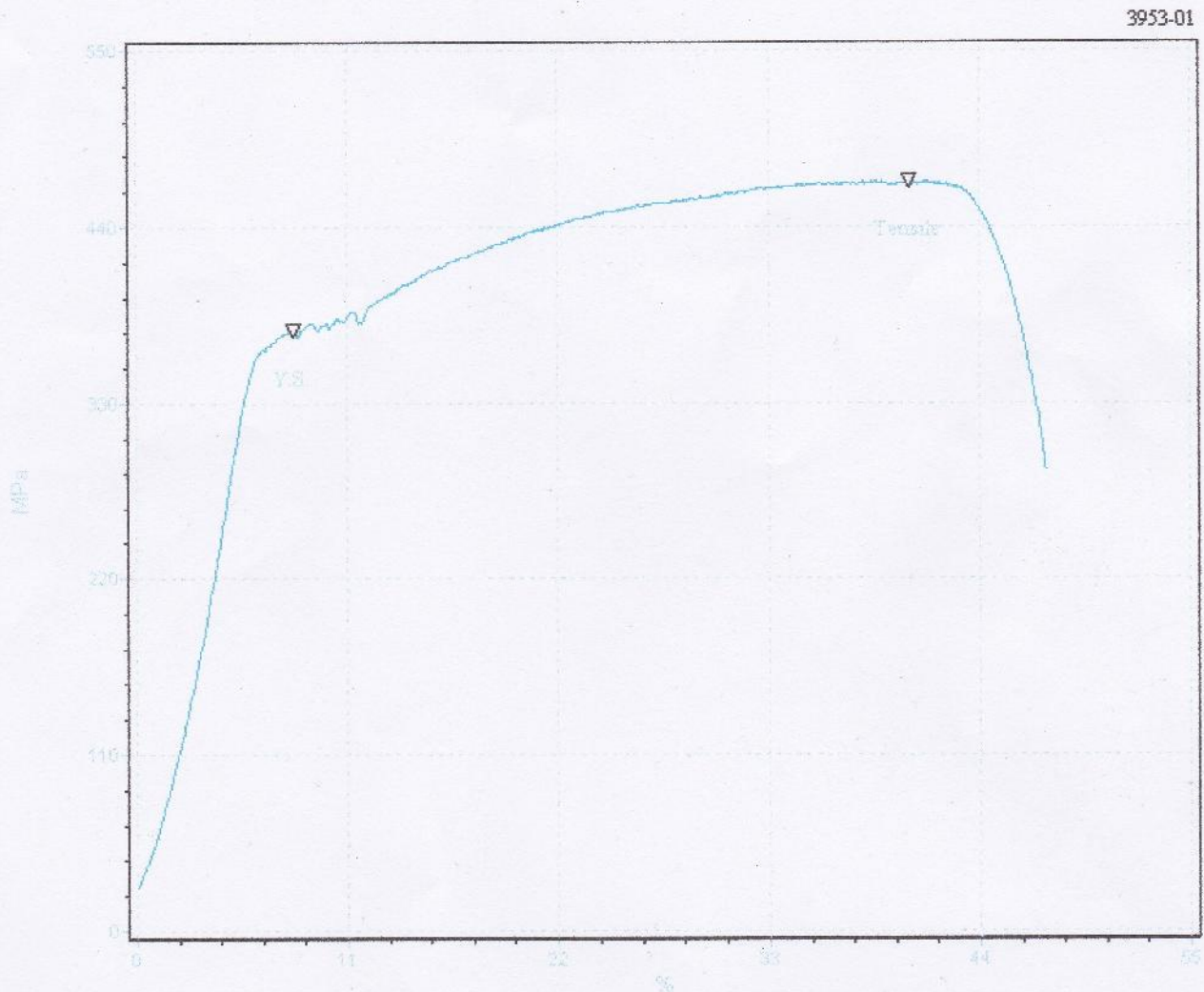
Test No : 3953

Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm <sup>2</sup>	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulangan (B)	15.90	7448.00	375.257	468.301	47.378



**Ir. Teguh Rahardjo, MT**  
NIP 195706011992021001



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN  
**LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL**  
Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

**TEST REPORT**

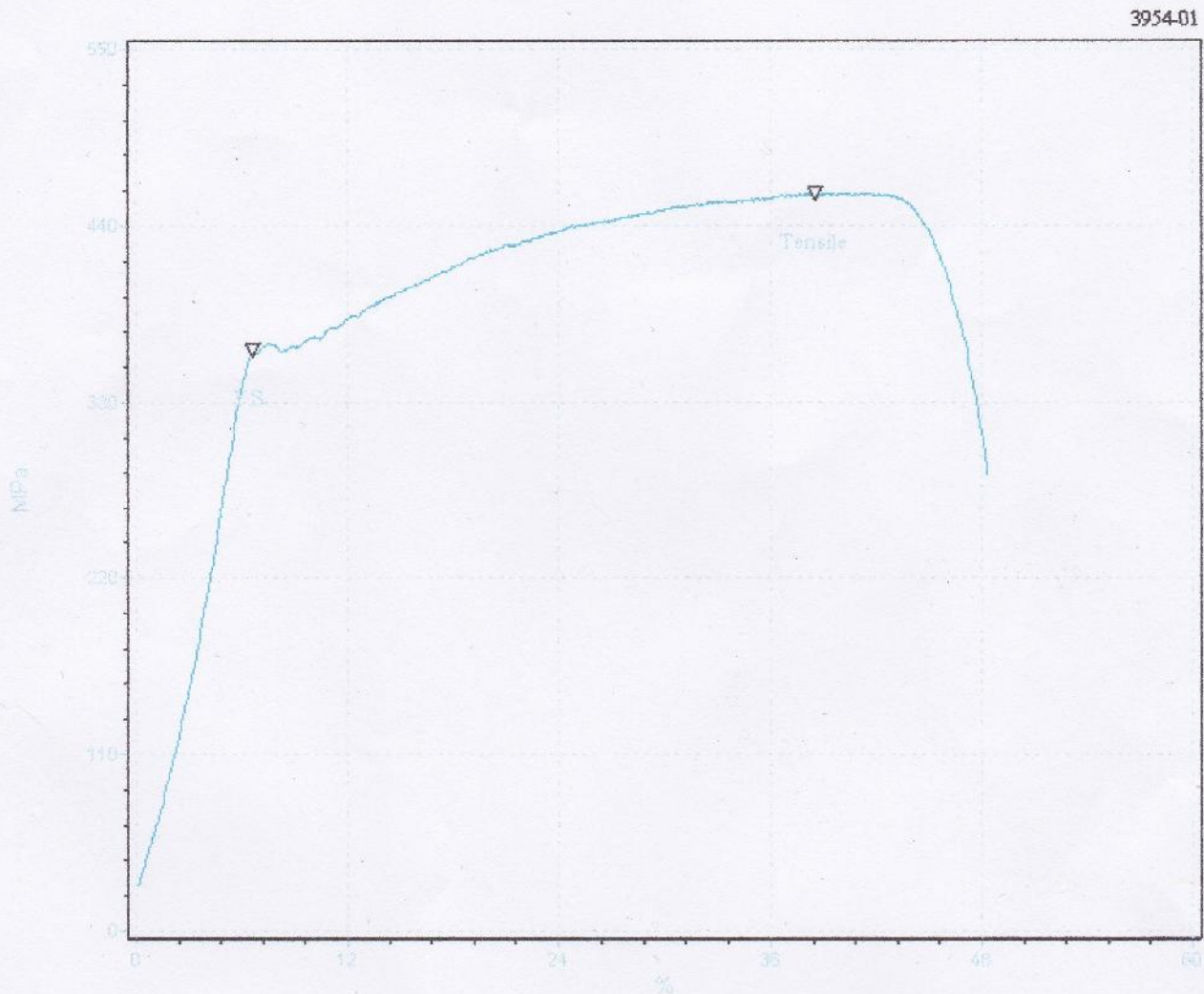
Test No : 3954

Standard : ASTM A370

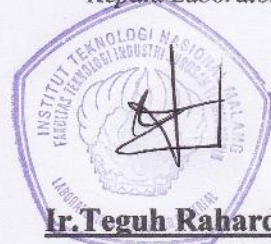
Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm <sup>2</sup>	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
1	Baja Tulangan (C)	15.90	7320.60	362.009	460.290	48.267



Kepala Laboratorium :



**Ir. Teguh Rahardjo, MT**

NIP 195706011992021001

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*. Bandung : BSN

Febrianto .A.S.P.2013. *Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Lima Bentang Terhadap Kekuatan Balok*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FTSP ITN.

Imran, I., Kamaludin & Hanafiah, *Perilaku Sambungan Antara Elemen Beton*

Manaha, Y.P. 2009. *Efektifitas Pengekangan Fine Mesh Terhadap Peningkatan Daktilitas Kolom Beton Bertulang di Daerah Gempa Kuat, DIPA 2009 Nomor : 091/SP2H/PP/DP2M/IV/2009 Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional*.

Nainggolan T.H, Manaha Y.P, Priskasari E., *Pengaruh Sambungan Beton dan Tulangan Longitudinal Terhadap Kekuatan Balok SRPMK*, buku penelitian.

Nawy, E.G.Tanpa Tahun . *Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar (Jilid 1)*. Terjemahan Tavio & Kusuma, B. 2010. Surabaya: ITS Press.

Ningsih. 2004. *Penggunaan Pasak Kayu Bentuk Ekor Burung Sebagai Sambungan Momen dan Geser Pada Balok Kayu*

Permana, L.C. 2013. *Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Empat Bentang Terhadap Kekuatan Balok*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FTSP ITN.

Priskasari, E. 2010. *Kekuatan Lekatan (Bond) dan Panjang Penyaluran Tulangan Cold Rolled & Twisted Bar Pada Beton Mutu Tinggi*. Penelitian Hibah Bersaing.

Purwono, R. Tawio. Imran, I. & Raka, I.G.P. 2007. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 dilengkapi Penjelasan (S-2002)*. Surabaya: ITS Press.

Putra .M. V. M.2013. *Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Enam Bentang Terhadap Kekuatan Balok*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: FTSP ITN.

# **LAMPIRAN**



**Pekerjaan pembesian**



**Pekerjaan pembesian**



**Pekerjaan pembesian**



**Pekerjaan pembuatan begisting**



**Pekerjaan pembuatan begisting**



**Pemasangan Strain Gauges**



**Pemasangan Strain Gauges**



**Pemasangan Strain Gauges**



**Pemasangan Strain Gauges**



**Strain Gauges**



**Benda uji yang akan di cor**



**Benda uji yang akan di cor**



**Benda uji yang akan di cor**



**Pengecoran**



**Pengecoran**



**Pengecoran**



**Pembongkaran benda uji**



**Benda uji balok T**





**Persiapan pengujian**



**Pengujian**



**Pengujian**



**Pengujian**



**Pengujian Rekam Retak**



**Hasil pengujian**