

**LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI**

**PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN  
LONGITUDINAL TERHADAP BALOK T PADA JARAK SEPER EMPAT  
BENTANG**

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang Strata Satu  
(S-1)*

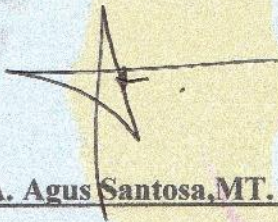
*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil*

**Disusun Oleh :**

**Rany Agus Setyawanto  
(10.21.017)**

**Disahkan Oleh :**

**Ketua**



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

**Sekretaris**



**( Lila Ayu Ratna W. ST. MT. )**

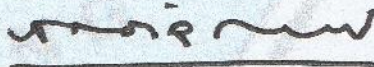
**Anggota penguji :**

**Penguji I**



**( Ir. Ester Priskarsari, MT. )**

**Penguji II**



**( Ir. H. Sudirman Indra, MS. )**

**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 TERHADAP BALOK T PADA JARAK SEPER EMPAT  
BENTANG**

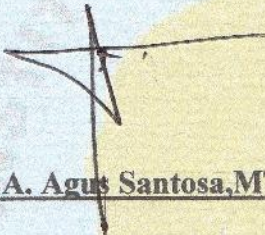
*Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil  
Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :**

**Rany Agus Setyawanto  
(10.21.017)**

**Disetujui Oleh :**

**Dosen Pembimbing I**



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

**Dosen Pembimbing II**



**( Ir. Munasih, MT. )**

**Mengetahui :**

**Ketua Program Studi Teknik Sipil**



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

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

**2015**



# INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp. (0341) 551431 Malang

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : RANY AGUS SETYAWANTO

Nim : 10.21.017

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

**“ PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN  
LONGITUDINAL TERHADAP BALOK T PADA JARAK SEPER EMPAT  
BENTANG “**

Adalah hasil karya sendiri bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 14 Maret 2015

METERAI  
TEMPEL  
05DEAAAF432115566  
ENAM RIBU RUPIAH  
6000  
DJP

Yang Membuat Pernyataan



RANY AGUS SETYAWANTO

## ABSTRAK

Setyawanto, Rany, Agus. 2015. *Pengaruh Letak Sambungan Beton Dan Tulangan Longitudinal Terhadap Kekuatan Balok "T" Pada Jarak Seper-Empat Bentang*. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Pembimbing : ( I ) Ir. A.Agus Santosa., MT, ( II ) Ir. Munasih., MT.

**Kata Kunci :** Sambungan, Lendutan, Kuat Lentur, Kuat Geser, Retak

Pembangunan struktur pada bangunan gedung tidak dilaksanakan secara langsung, tetapi dilaksanakan secara bertahap karena dipengaruhi oleh faktor bahan maupun biaya. Sehingga dapat menyebabkan terjadinya sambungan antara beton baru dan beton lama yang sudah dilaksanakan sebelumnya. Apabila letak sambungan tidak sesuai dengan perencanaan maka akan berakibat fatal pada bangunan tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mencari pengaruh kuat lentur, kuat geser, lendutan, dan retak terhadap sambungan balok T pada seper-empat bentang.

Penelitian ini menggunakan balok T dengan 2 variasi semple yaitu 3 balok T tanpa sambungan dan 3 balok T dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak seper-empat bentang untuk mendapatkan nilai lendutan, beban, dan retak yang terjadi pada balok.

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur, kuat geser, lendutan, retak pada balok T tanpa sambungan dan balok T dengan jarak sambungan seper-empat bentang didapatkan perbedaan yaitu nilai kuat lentur 5.26% , beban puncak 4.92%, Nilai kuat geser 4.62%, beban puncak 5.26%, Beban maks 2,83%,  $\Delta$ maks 70,95%, posisi retak yang terjadi pada tengah balok atau diposisi pemberian beban.

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAKSI .....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR NOTASI .....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	3
1.3    Ruang Lingkup Masalah .....	3
1.4    Tujuan Penelitian .....	4
1.5    Manfaat Penelitian .....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1    Penelitian Terdahulu .....	6
2.2    Pengekang Pada Beton.....	14
2.3    Metode Perencanaan .....	15
2.4    Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan .....	16
2.5    Baja Tulangan .....	17
2.6    Prinsip – Prinsip Perencanaan .....	18
2.7    Perencanaan Balok T .....	23

2.7.1 Balok T Persegi .....	24
2.7.2 Balok T Murni .....	27
2.8 Perencanaan Balok Terhadap Geser .....	29
2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak .....	31
2.10 Defleksi Balok T .....	35
2.11 Defleksi Balok Yang Bertulang Tekan .....	37

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Parameter Penelitian .....	41
3.2 Model Analisa .....	42
3.3 Pengujian Laboratorium .....	43
3.3.1 Waktu Pelaksanaan Dan Tempat .....	43
3.3.2 Benda Uji .....	43
3.3.3 Pembuatan Benda Uji Balok T .....	44
3.3.4 Perawatan Benda Uji .....	45
3.3.5 Proses Pengujian .....	45
3.4 Umum .....	52
3.4.1 Campuran Beton .....	52
3.4.2 Pengujian Beton .....	53
3.4.1 Data Dan Perhitungan Kuat Tarik Baja .....	56
3.5 Analisa Teoritis .....	56

3.5.1 Kontrol Momen .....	58
3.5.2 Penulangan Geser .....	65
3.5.3 Pehitungan Lendutan .....	70
3.5.3.1 Akibat Beban Teoritis .....	70
3.5.3.2 Retak Awal .....	78
3.5.3.3 Lebar Retak .....	78
3.6 Perhitungan Kuat Lentur Teoritis .....	89
3.7 Perhitungan Kuat Geser Teoritis .....	94

#### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Eksperimen Lendutan .....	99
4.1.1 Balok T Tanpa Sambungan Beton .....	99
4.1.1.1 Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS – A ) .....	99
4.1.1.2 Balok T Tanpa Sambungan B ( BTS – B ) .....	105
4.1.1.3 Balok T Tanpa Sambungan C ( BTS – C ) .....	110
4.1.1.4 Gabungan Hubungan Bebab-Lendutan Balok Tanpa Sambungan ( BTS ) .....	115
4.1.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan ( 1/4 ) Bentang .....	121
4.1.2.1 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang A ( B – 1/4 A ) .....	121

4.1.2.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ Bentang B ( $B - 1/4 B$ ) .....	126
4.1.2.3 Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ Bentang C ( $B - 1/4 C$ ) .....	131
4.1.2.4 Gabungan Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan $1/4$ Bentang .....	137
4.1.3 Hasil Lendutan Pada Tengah Bentang Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan ( $1/4$ ) Bentang .....	140
4.1.3.1 Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ Bentang A ( $B - 1/4 A$ ) .....	140
4.1.3.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ Bentang B ( $B - 1/4 B$ ) .....	145
4.1.3.3 Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ Bentang C ( $B - 1/4 C$ ) .....	150
4.1.3.4 Gabungan Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan $1/4$ Bentang Pada Lendutan Tengah Bentang .....	156
4.1.4 Gabungan Balok T, BTS, Sambungan $1/4$ Bentang Dan Jarak Sambungan Beton Tulangan $1/4$ Pada Lendutan Tengah Bentang .....	159



4.1.5	Kesimpulan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan 1/4 Bentang Dan Jarak Sambungan Beton Tulangan 1/4 Pada Lendutan Tengah Bentang .....	161
4.1.6	Perbandingan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan 1/4 Bentang Dan Jarak Sambungan Beton Tulangan 1/4 Pada Lendutan Tengah Bentang .....	166
4.2	Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen .....	168
4.2.1	Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) Rata-Rata .....	168
4.2.2	Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang .....	168
4.2.3	Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang Pada Tengah Bentang .....	176
4.2.4	Gabungan Kuat Lentur Teoritis Dan Eksperimen .....	180
4.2.5	Perbandingan Kuat Lentur BTS dan B-1/4 Bentang .....	181
4.3	Perhitungan Kuat Geser Eksperimen .....	182
4.3.1	Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) Rata-Rata .....	182
4.3.2	Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang .....	187
4.3.3	Gabungan Kuat Geser Teoritis Dan Eksperimen .....	191
4.3.4	Perbandingan Kuat Lentur BTS dan B-1/4 Bentang .....	192
4.4	Mekanisme Perilaku Retak .....	193
4.4.1	Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) .....	193
4.4.2	Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang .....	187

4.5	Hasil Pengamatan Strain Guages .....	198
4.5.1	Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS-A ) .....	198
4.5.2	Balok T Tanpa Sambungan B ( BTS-B ) .....	201
4.5.3	Balok T Tanpa Sambungan C ( BTS-C ) .....	204
4.5.4	Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang A .....	207
4.5.5	Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang B .....	210
4.5.4	Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang C .....	213

## **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	196
5.2	Saran .....	197

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

3.1	Komposisi Campuran Beton Hasil Mix Design.....	53
3.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....	54
3.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	56
3.4	Hasil Analisa Teoritis Lendutan.....	80
3.5	Hasil Analisa Teoritis Kuat Lentur .....	89
3.6	Kuat Geser Teoritis .....	94
4.1	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok Tanpa Sambungan A ( BTS-A ) .....	100
4.2	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok Tanpa Sambungan B ( BTS-B ) .....	105
4.3	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok Tanpa Sambungan C ( BTS-C ) .....	110
4.4	Hubungan Beban-Lendutan BTS A, C Dan Rata-Rata .....	116
4.5	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang A .....	121
4.6	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang B .....	126
4.7	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang C .....	131

4.8	Hubungan Beban-Lendutan Balok 1/4 Bentang A, C Dan Rata-Rata .....	137
4.9	Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang A.....	141
4.10	Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang B .....	146
4.11	Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang A.....	151
4.12	Hubungan Beban-Lendutan Balok 1/4 Bentang A, C Dan Rata-Rata Pada Tengah Bentang .....	137
4.13	Perbandingan Hasil Dan Eksperimen Pada Balok T BTS Dan Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang .....	162
4.14	Perbandingan Hasil Dan Eksperimen Pada Balok T BTS Dan Balok T Jarak Sambungan 1/3 Bentang Yang Diteliti Oleh Mahasiswa Lainnya ...	163
4.15	Perbandingan Hasil Dan Eksperimen Pada Balok T BTS Dan Balok T Jarak Sambungan 1/2 Bentang Yang Diteliti Oleh Mahasiswa Lainnya ..	165
4.16	Perbandingan Beban-Lendutan BTS, 1/4 B da 1/4 B Tengah Bentang ..	167
4.17	Kuat Lentur Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) Rata-Rata .....	169
4.18	Kuat Lentur Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang Rata-Rata .....	173
4.19	Kuat Lentur Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang Rata-Rata Pada Tengah Bentang .....	176

4.20	Perbedaan Beban-Momen Lentur Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) dan Balok T 1/4 Bentang .....	181
4.21	Perbandingan Beban-Momen Lentur Teoritis, BTS dan B-1/4 Bentang .	181
4.22	Kuat Geser Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) Rata-Rata.	183
4.23	Kuat Geser Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 B Rata-Rata.....	187
4.24	Perbedaan Beban-Kuat Geser Balok BTS dan B-1/4 Bentang.....	192
4.25	Perbandingan Beban-Kuat Geser Teoritis, BTS dan B-1/4 Bentang .....	192
4.26	Regangan Pada Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS-A) .....	198
4.27	Regangan Pada Balok T Tanpa Sambungan B ( BTS-B).....	201
4.28	Regangan Pada Balok T Tanpa Sambungan C ( BTS-C).....	204
4.29	Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan A.....	208
4.30	Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan B .....	211
4.31	Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan C .....	214
4.32	Nilai Regangan Pada BTS dan Balok T Sambungan 1/4 Bentang.....	218

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Model Sambungan Balok .....	6
2.2	Diagram Regangan Tegangan Beton.....	16
2.3	Diagram Tegangan Regangan Baja Tulangan.....	17
2.4	Diagram Tegangan Regangan Baja Balok .....	18
2.5	Diagram Tegangan Regangan Pada Kondisi Balance .....	21
2.6	Penampang Balok T .....	23
2.7	Balok T Dengan $a < hf$ .....	24
2.8	Balok T Murni Dengan $a > hf$ .....	27
2.9	Hubungan Beban Defleksi Pada Balok Daerah I, Taraf Praretak ; Daerah II, Taraf Pascaretak; Daerah III, Taraf Pasca- Serviceability ( Tulangan Baja Meleleh .....	32
2.10	Distribusi tegangan dan regangan melintasi kedalaman penampang berflens : (a) geometri ; (b) regangan ; (c) tegangan.....	35
2.11.	Distribusi Tegangan Dan Regangan Pada Saat Beban Layan Dalam Balok Persegi Bertulangan Ganda : (A) Geometri; (B) Regangan; (C)Tegangan .....	38
2.12.	Distribusi Tegangan Dan Regangan Pada Saat Beban Layan Dalam Balok T Bertulangan Ganda : (A) Geometri; (B) Regangan; (C)Tegangan .....	39
3.1.	Penulangan Balok dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang (B-1/4).....	44

3.2	Proses Pengujian Lendutan .....	48
3.3	Bagan Alir Analisa Balok T .....	49
3.4	Bagan Alir Rencana Penelitian .....	51
3.5	Penampang Balok T .....	58
3.6	Penulangan Geser .....	66
3.7	Distribusi Tegangan Dan Regangan Melintasi Penampang Berflens .....	71
3.8	Distribusi Tegangan Dan Regangan Melintasi Penampang Berflens .....	74
3.9	Hubungan Beban – Lendutan Teoritis .....	88
3.10	Hubungan Beban – Kuat Lentur Teoritis .....	93
3.11	Hubungan Beban – Kuat Geser Teoritis .....	93
4.1	Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan A (BTS-A) .....	102
4.2	Pengujian Benda Uji Balok Tanpa Sambungan A ( BTS – A ) .....	103
4.3	Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS-A ) .....	104
4.4	Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B).....	108
4.5	Pengujian Benda Uji Balok Tanpa Sambungan B ( BTS – B ).....	109
4.6	Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan B ( BTS-B ).....	109
4.7	Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan C (BTS-C).....	113
4.8	Pengujian Benda Uji Balok Tanpa Sambungan C ( BTS – C ).....	114

4.9	Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan C ( BTS-C ).....	115
4.10	Hubungan Beban – Lendutan BTS A,B,C, dan Rata-Rata BTS .....	118
4.11	Hubungan Beban-Lendutan Bts Rata-Rata dan Teoritis .....	120
4.12	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A .....	124
4.13	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A .....	125
4.14	Pola Retak Balok T Denagan Jarak Sambungan 1/4 ( A ) .....	125
4.15	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B ..	129
4.16	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B .....	130
4.17	Pola Retak Balok T Denagan Jarak Sambungan 1/4 ( B ) .....	130
4.18	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) C ..	134
4.19	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) C .....	135
4.20	Pola Retak Balok T Denagan Jarak Sambungan 1/4 ( C ) .....	136
4.21	Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4) A,C dan (B-1/4) Rata-rata .....	139
4.22	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A .....	143
4.23	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A .....	144
4.24	Pola Retak Balok T Denagan Jarak Sambungan 1/4 ( A ) .....	145
4.25	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B ..	148
4.26	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B .....	149



4.27	Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ ( B ) .....	150
4.28	Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan $(1/4)$ C .	153
4.29	Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan $(1/4)$ C .....	154
4.30	Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan $1/4$ ( C ) .....	155
4.31	Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan $1/4$ (B- $1/4$ ) A,C dan (B- $1/4$ ) Rata-rata .....	158
4.32	Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan $1/4$ (B- $1/4$ ) A,C dan (B- $1/4$ ) Rata-rata .....	160
4.33	Hubungan Beban – Momen Lentur Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan BTS Rata-Rata.....	172
4.34	Hubungan Beban – Momen Lentur Eksperimen Balok T Dengan Jarak Sambungan Tulangan $1/4$ (B- $1/4$ ) .....	175
4.35	Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok T Dengan Jarak Sambungan Tulangan $1/4$ (B- $1/4$ ) Rata-rata Pada Tengah Bentang .....	179
4.36	Hubungan Beban- Kuat Lentur Teoritis,BTS, Dan B- $1/4$ Rata-Rata Dan Tengah Bentang .....	180
4.37	Hubungan Beban – Kuat Geser Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan ( BTS ) .....	186
4.38	Hubungan Beban – Kuat Geser Eksperimen Balok T Jarak ambungan $1/4$ Bentang .....	190
4.39	Hubungan Beban - Kuat Geser Teoritis,BTS, Dan B- $1/4$ Rata-Rata .....	191
4.40	Pola Retak Balok Tanpa Sambungan (BTS)-A .....	193
4.41	Pola Retak Balok Tanpa Sambungan (BTS)-B .....	194
4.42	Pola Retak Balok Tanpa Sambungan (BTS)-C .....	195

4.43	Pola Retak Balok Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang (B-1/4 A) .....	196
4.44	Pola Retak Balok Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang (B-1/4 B) .....	197
4.45	Pola Retak Balok Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang (B-1/4 C) .....	198
4.46	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan A .....	200
4.47	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan B .....	203
4.48	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan C .....	206
4.49	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan A, B, C .....	207
4.50	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan $\frac{1}{4}$ Bentang Sambungan A .....	210
4.51	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan $\frac{1}{4}$ Bentang Sambungan B .....	213
4.52	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan $\frac{1}{4}$ Bentang Sambungan C .....	216
4.53	Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan $\frac{1}{4}$ Bentang Sambungan A, B, C .....	217

## DAFTAR NOTASI

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

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

$BTS$  = 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

$C_c$  = Gaya tekan beton (N)

$C_s$  = Gaya tekan baja (N)

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

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

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$E_s$  = Modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

$f'_c$  = Kuat tekan beton rencana (MPa)

$f_r$  = Modulus keruntuhan lentur beton (MPa)

$f_y$  = Kuat leleh tulangan longitudinal (MPa)

$h$  = Tinggi 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)

$l$  = Panjang Balok (mm)

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

$M_n$  = Momen nominal (Nmm)

- $n$  = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton
- $P$  = Beban (N)
- $q$  = Beban Sendiri (N/mm)
- $V_c$  = Kuat geser nominal (N)
- $V_u$  = Gaya Geser terfaktor pada penampang (N)
- $y$  = Jarak sumbu netral penampang ke serat paling tertekan (mm)
- $y_t$  = Jarak dari sumbu pusat penampang bruto, dengan mengabaikan keberadaan tulangan, ke serat tarik terluar (mm)
- $Z$  = Besaran pembatas distribusi tulangan lentur (mm)
- $\varepsilon_c$  = Regangan beton
- $\varepsilon_y$  = Regangan baja tulangan
- $\varnothing$  = Diameter tulangan baja (mm)
- $\Delta$  = Defleksi yang terjadi pada balok (mm)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di Indonesia perkembangan pembangunan proyek-proyek gedung didesain dengan kuat karena Indonesia memiliki banyak daerah yang termasuk daerah rawan gempa. Pelaksanaan pembangunan struktur gedung bertingkat dilaksanakan dengan cara bertahap baik vertikal maupun horizontal. Tahapan yang dilaksanakan dalam pengecoran gedung bertingkat tidak mungkin dilaksanakan secara bersamaan. Hal ini dikarenakan pelaksanaan pengecoran secara bersamaan membutuhkan biaya yang sangat besar, sehingga pelaksanaan struktur balok dan kolom dilaksanakan dengan cara disambung-sambung.

Sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tentang perancangan struktur beton bertulang tahan gempa mensyaratkan pemakaian tulangan pengekang dan tulangan longitudinal untuk mencapai nilai lentur, geser, lendutan sesuai dengan persyaratan. Pendetailan khusus pada pengekangan diberikan terutama pada daerah terjadinya sendi plastis ( pada semua ujung balok dan ujung kolom ), sesuai dengan konsep perancangan struktur saat ini, sesuai dengan dengan konsep perancangan struktur tahan gempa saat ini, terutama pada struktur bangunan yang didesain sebagai Struktur Pemikul Momen Khusus ( SPRMK ) yang terletak pada daerah rawan gempa kuat atau wilayah gempa zona 5 dan 6. Selain itu pada daerah yang mengalami tegangan atau gaya dalam yang dominan, seperti pada ujung-ujung balok dan di daerah sambungan tulangan longitudinal, memerlukan

pengekangan yang lebih ketat, untuk menjamin kekuatan bangunan supaya tidak mengalami kegagalan getas yang tidak diinginkan.

Ada beberapa macam cara untuk menyambung beton lama dan beton baru, salah satunya adalah dengan menggunakan bahan perekat beton yaitu *bond crete* atau bahan yang sejenisnya. Sering sambungan antara beton lama dan beton baru pada balok dilaksanakan tanpa menggunakan bahan perekat beton. Pada penelitian ini akan dilakukan penyambungan beton lama dan beton baru tanpa dan dengan menggunakan bahan perekat beton (*bond crete*), mengingat harga dari perekat beton tersebut cukup mahal dan masih langka, maka bahan perekat tersebut tidak ideal jika pembangunan dilaksanakan di luar jawa. Sambungan tulangan longitudinal perlu diperhatikan panjang penyaluran dan pengekangan pada daerah penyambungan tersebut serta yang terpenting adalah letak atau lokasi sambungan dari beton balok dan tulangan longitudinal di sepanjang balok T tersebut.

Penelitian mengenai pengaruh letak penyambungan beton dan tulangan longitudinal balok T masih sangat jarang dilakukan, sehingga penulis merasa sangat perlu untuk melakukan penelitian ini, dan diharapkan hasil penelitian ini dapat menghasilkan kesimpulan mengenai letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T, terutama balok T beton bertulang yang dirancang sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di wilayah gempa 5 dan 6 atau wilayah gempa kuat.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Masalah penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

- a. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T pada jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap kuat lentur?
- b. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap kuat geser?
- c. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T dengan jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap lendutan?
- d. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak  $1/4$  bentang berpengaruh terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang?

## **1.3 Ruang Lingkup Masalah**

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

- a. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang terhadap lendutan.
- b. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang terhadap kuat lentur.
- c. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak  $1/4$  bentang terhadap kuat geser.
- d. Pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sambungan  $1/4$  bentang terhadap perilaku retak dan keruntuhan.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T terhadap kuat lentur pada jarak sambungan  $1/4$  bentang.
- b. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T terhadap kuat geser pada jarak sambungan  $1/4$  bentang.
- c. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T terhadap lendutan pada jarak sambungan  $1/4$  bentang.
- d. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok T pada jarak sambungan  $1/4$  bentang.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Bagi Peneliti :
  - Sebagai syarat untuk menempuh jenjang strata satu dan memperoleh strata satu bagi penyusun.
  - Mendapatkan pengetahuan tambahan dan dapat memahami proses pembuatan benda uji sesuai syarat-syarat yang berlaku saat ini.
  - Merupakan kesempatan yang baik untuk menerapkan teori yang telah ada untuk menambah wawasan pengetahuan tentang perancahan beton bertulang.
  - Memberikan gambaran umum tentang perilaku beton di lapangan jika nantinya menggunakan metode yang diteliti.



2. Bagi Lembaga Pendidikan :

Laporan hasil penelitian yang telah dilaksanakan ini dapat menambah buku-buku keputakaan, khususnya mengenai struktur beton bertulang, sehingga dapat digunakan sebagai bahan materi tambahan dalam proses akademik.

3. Bagi Perencanaan dan Pelaksanaan Proyek

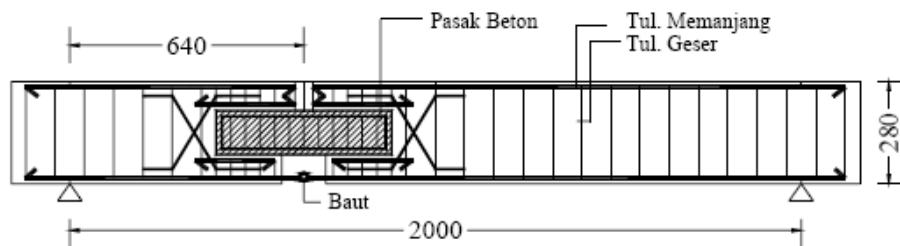
Memberikan informasi tentang pengaruh variasi letak sambungan terhadap kekuatan beton, sehingga dapat membantu perencana dan pelaksanaan proyek untuk memperkirakan kekuatan struktur bangunan gedung.

## 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) 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**

2. 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.

3. Penelitian tentang sambungan beton dan tulangan longitudinal juga pernah dilaksanakan oleh Francisso Natalino D.J.S Da Silva, (2013) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Pada Jarak Seper-Dua Bentang Terhadap Kekuatan Balok, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan  $1/2$  bentang. Dari hasil penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak  $1/2$  bentang kekuatan balok dari hasil teoritis dengan beban merata sebesar  $0,36 \text{ N/mm}$  dan Panjang  $L = 2000 \text{ mm}$ , terbesar dengan beban  $P = 862 \text{ Kg} = 8459 \text{ N}$  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  $P = 862 \text{ Kg} = 8459 \text{ N}$  menghasilkan kuat geser  $4589,488 \text{ N}$  dengan defleksi sebesar  $6,53 \text{ mm}$ . Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar  $1962 \text{ N}$ . Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah  $0,083$  dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah. Dari hasil nilai beban lendutan pada balok tanpa sambungan yang dapat menerima beban maksimum sebesar  $1090 \text{ Kg}$  dengan lebar defleksi  $9,19 \text{ mm}$ , sedangkan nilai kuat lenturnya

adalah 6150119,297 Nmm dan nilai kuat geser 6330.119 N. Pada balok dengan sambungan 1/2 bentang nilai beban maksimum sebesar 900 Kg dengan defleksi 10,18 mm, sedangkan nilai lentur 5903166,154 Nmm dan mendapatkan kuat geser 6083,116 N.

4. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh Lucky Cahya Permana, (2013) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Empat Bentang Terhadap Kekuatan Balok, 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 dengan beban merata sebesar 0,36 N/mm dan Panjang  $L = 2000$  mm kekuatan lentur terbesar dengan beban  $P = 778,94706$  Kg = 7789,47 N menghasilkan kuat lentur sebesar 4074735,30 Nmm dengan defleksi terhadap balok sebesar 5,92 mm. Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban  $P = 778,971$  Kg = 7789,47 N menghasilkan kuat geser 4254,74 N dengan defleksi sebesar 5,92 mm. Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar 2000 N. Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah 0,083 dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah. Dari hasil penelitian terjadinya perbedaan pada balok sambungan 1/4 bentang terhadap balok tanpa sambungan, nilai tersebut meliputi: nilai lendutan sebesar 14,45%, nilai kuat lentur sebesar 14,21% , sedangkan nilai kuat geser adalah 13,80%. hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada

jarak 1/4 bentang mempengaruhi nilai lendutan, nilai kuat lentur, dan nilai kuat geser terhadap balok tanpa sambungan. 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 1/4 bentang retak awal lebih mendekati pada posisi sambungan dengan lebar retak akhir  $\pm 3,64$  mm, jadi letak balok sambungan 1/4 bentang sedikit berpengaruh terhadap perilaku retak.

5. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh Alhidayatulloh Febrianto S.P,dkk (2013) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Lima Bentang Terhadap Kekuatan Balok, Institut Teknologi Nasional Malang yang menganalisa pengaruh retak, keruntuhan, kekuatan lentur, kekuatan geser dan lendutan dengan letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada sambungan 1/5 bentang. Dari hasil penelitian pengaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak 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. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh M. Vianey M. Putra, dkk (2013) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Enam Bentang Terhadap Kekuatan Balok, 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 ( $\Delta$ ) rata – rata BTS dan B – 1/6 adalah  $\Delta_{\text{maks}} 8,81\%$ , dan  $\Delta_{\text{runtuh}} -0,36\%$ . 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  $M_{\text{maks}} 8,74\%$ , dan  $M_{\text{runtuh}} -0,56\%$ . 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  $V_{C_{\text{maks}}} 8,49\%$ , dan  $V_{C_{\text{runtuh}}}$  -

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.

7. Kemudian hasil penelitian yang dilakukan oleh Mohhammad Saleh, (2013) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Tiga Bentang Terhadap Kekuatan Balok, 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, perbedaan nilai lendutan sebesar -21,9804% (B  $1/3$ ) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal 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 longitudinal balok dengan jarak  $1/3$  bentang (B $1/3$ ) berpengaruh terhadap kuat lentur. Terjadi perbedaan nilai kuat geser sebesar -21,8944% (B  $1/3$ ) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak  $1/3$  bentang (B $1/3$ ) 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.

Perbedaan penelitian ini dengan ketiga peneliti di atas pada nomor 1 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 1/4L 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.

Sedangkan perbedaan ini dengan penelitian sebelumnya pada nomor 2 sampai 7 yang membedakan adalah bentuk penampang. Pada penelitian sebelumnya menggunakan penampang balok persegi, sedangkan pada penelitian ini menggunakan penampang Balok T. Untuk letak sambungan pada penelitian ini pada dasarnya sama seperti yang pernah dilakukan penelitian sebelumnya.

## 2.2 Pengekangan Pada Beton

Mengacu pada SNI 03-2847-2002 pengekangan pada beton perlu dilakukan agar element struktur balok tidak mengalami kegagalan akibat geser. Keruntuhan beton yang terjadi diakibatkan oleh 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 diterima balok maka semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan untuk struktur beton lebih kuat dan daktil.

Beton dapat dikekang dengan tulangan sengkang yang berbentuk sengkang tunggal biasa (*hoop*), sengkang pengikat silang (*cross ties*) atau sengkang tumpang (*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.

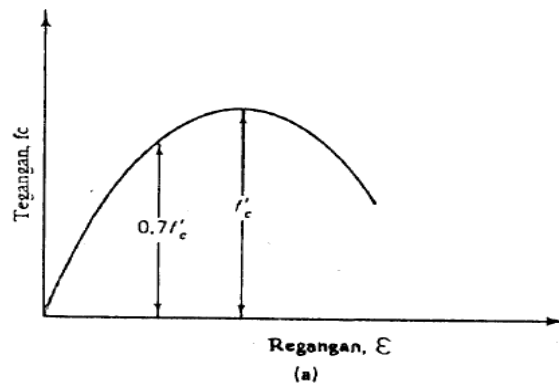
### 2.3 Metode Perencanaan

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

Dalam kaitannya terhadap metode-metode perencanaan yang sebenarnya adalah berkaitan dengan asumsi yang digunakan sesuai dengan pembahasan diatas. Pada bahan beton perlu diperhatikan terutama dipusatkan kepada persoalan bagaimana perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya adalah gaya aksial, lentur, gaya geser, puntir atau merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut tergantung pada hubungan tegangan regangan yang terjadi didalam beton seperti pada gambar 2.2.



**Gambar 2.2. Diagram tegangan regangan beton**

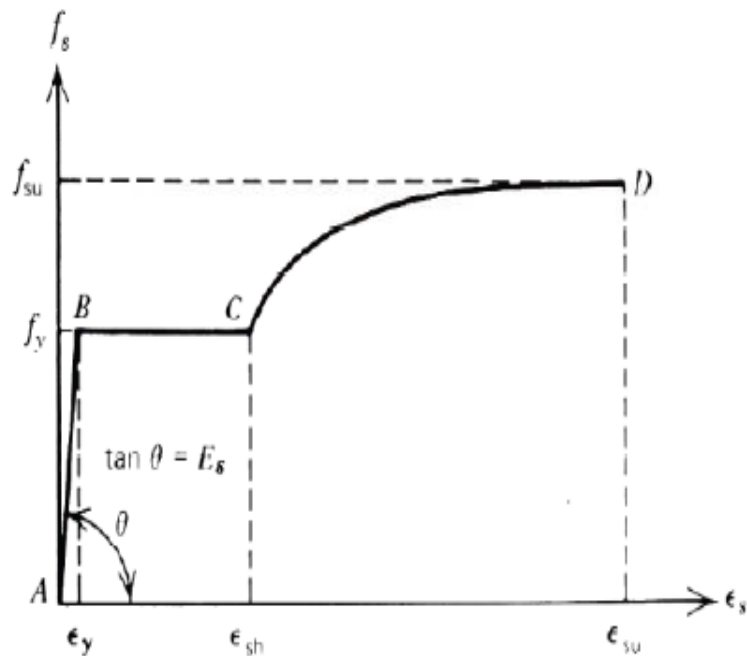
Karena beton memiliki sifat yang hanya mempunyai nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik yang relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan gaya yang bekerja didaerah tekan pada penampangnya, pada hubungan regangan tegangan yang ditimbulkan karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar.

Nilai tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/mm^2$  ( Mpa ) mewakili nilai kuat tekan beton. Kekuatan tekan beton dengan nilai 10-65 Mpa pada saat umur 28 hari. Sedangkan untuk struktur beton bertulang mempunyai kuat tekan berkisar 17-30 Mpa, dan beton prategang nilai kuat tekan betonnya lebih

tinggi dapat mencapai nilai kuat tekan 30-45 Mpa. Untuk beton berkebutuhan khusus yang memerlukan kuat tekan tinggi, beton ready mix dapat membuat kuat tekan beton hingga kuat tekan 62 Mpa dengan pengawasan yang ketat dari laboratorium.

## 2.5 Baja Tulangan

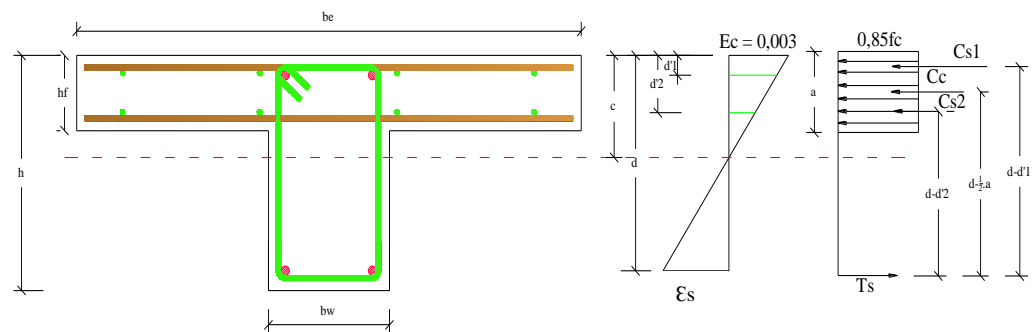
Dalam perhitungan perencanaan beton bertulang sifat fisik baja tulangan yang paling penting adalah Modulus elastisitas ( $E_s$ ) dan tegangan leleh baja ( $f_y$ ). Tegangan leleh baja dalam perencanaan ini didefinisikan sebagai tegangan baja dimana meningkatnya tegangan yang tidak disertai lagi dengan peningkatan regangan. Didalam perencanaan beton bertulang nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui dan ditentukan pada awal perhitungan. Grafik hubungan tegangan regangan baja tulangan dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan.

## 2.6 Prinsip-Prinsip Perencanaan

1. Mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 20.7 dalam perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi. Sedangkan pada rumus yang terdapat di SNI 03-2847-2002 pasal 20.7.4 Perencanaan penampang yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus didasarkan atas kompatibilitas tegangan dan regangan.



**Gambar 2.4. Diagram tegangan regangan balok**

2. Kondisi regangan seimbang yang terjadi pada penampang adalah ketika tulangan tarik mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang di tentukan  $f_y$  pada saat bersamaan dengan bagian beton yang mendapatkan tekanan mencapai batas asumsi yaitu 0,003.
3. Pada komponen struktur lentur dan komponen struktur yang mendapatkan beban 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  $\rho P_b$  rasio tulangan yang ada tidak boleh melampaui  $0,75 \rho_b$  yang dapat menghasilkan kondisi regangan seimbang penampang yang mengalami lentur tanpa mendapatkan beban aksial. Pada

struktur tulangan tekan bagian pb yang disamakan dengan tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan factor 0,75.

4. Peningkatan kekuatan komponen suatu struktur lentur dapat dilakukan dengan menambahkan tulangan tekan dan 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. Adapun beberapa kombinasi pembebanan bisa dilihat pada SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 :

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

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

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

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

- 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)

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

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:

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

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

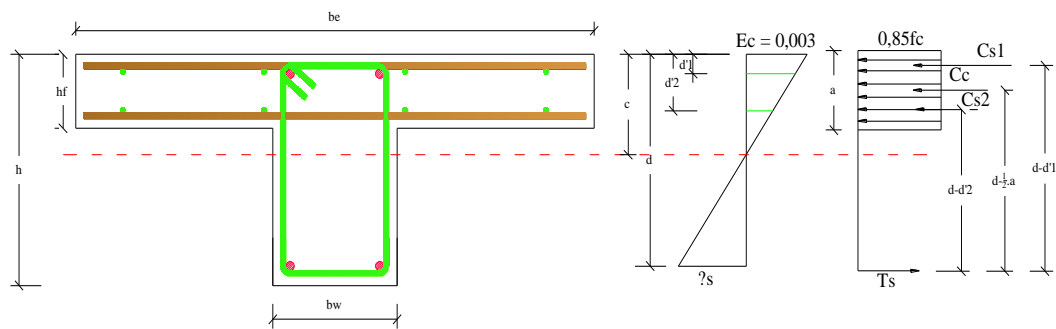
Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada serat tepi yang tertekan 0,003, sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu  $\epsilon_y = f_y/E_s$ .

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 ( $\rho$ ) pada struktur rencana sedemikian rupa direncanakan sama dengan  $\rho$  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.

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



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

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

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

$$\Leftrightarrow fs = 600 \frac{(d - xb)}{xb} \quad (2.4c)$$

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

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

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

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

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

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot xb \quad (2.4i)$$

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot \left\{ \frac{600}{600 + f_y} d \right\} \quad (2.4j)$$

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

$$\Leftrightarrow \rho b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2.4l)$$

dengan ketentuan :

$$\beta_1 = 0,85 \quad f_c' \leq 30 \text{Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,005}{7} \cdot (f_c' - 30) \quad f_c' > 30 \text{ Mpa}$$

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

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

Untuk perencanaan pada kondisi undereinforced sedemikian rupa dibuat prencana lebih kecil dari  $\rho_{balanced}$ , dengan  $\rho$  pasang lebih kecil dari  $\rho_{balanced}$

sehingga jumlah tulangan relatif sedikit sehingga tulangan akan meleleh sebelum beton hancur, yang menghasilkan suatu ragam keruntuhan daktail (ductile) dengan deormasi besar.

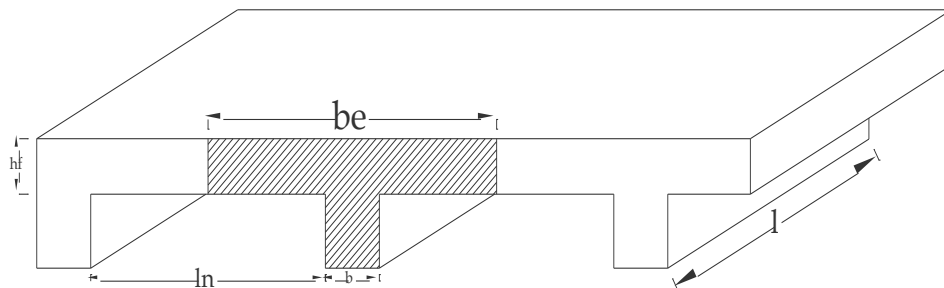
c. *Kondisi Over Reinforced* ( $f_s < f_y$ ,  $A_s > A_{sb}$ ,  $f_s = f_y$ ,  $\epsilon_{cu} = 0,003$ )

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

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 ( $b_{\text{eff}}$ ) balok-T seperti pada *gambar 2.6* adalah sebagai berikut:

1. Lebar pelat efektif sebagai bagian dari sayap balok-T adalah:

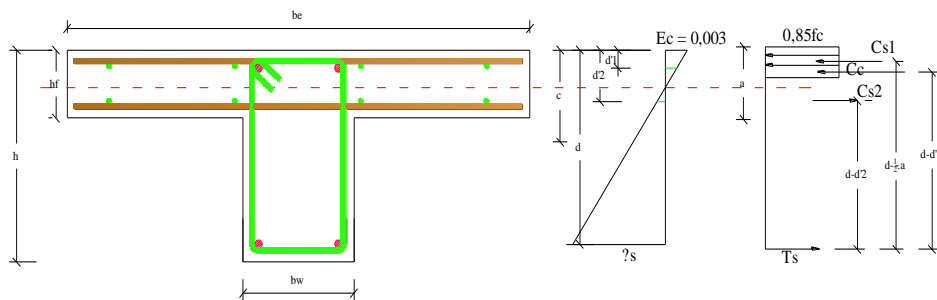
- $b_{\text{eff}} \leq \frac{1}{4}$  bentang balok ( $\frac{1}{4} L$ )
- $b_{\text{eff}} \leq b_w + 8hf_{\text{kiri}} + 8hf_{\text{kanan}}$
- $b_{\text{eff}} \leq b_w + \frac{1}{2}Ln_{\text{kiri}} + \frac{1}{2}Ln_{\text{kanan}}$ .

2. Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap adalah:

- $b_{\text{eff}} \leq b_w + \frac{1}{12}L$
- $b_{\text{eff}} \leq b_w + 6hf$
- $b_{\text{eff}} \leq b_w + \frac{1}{2}Ln$ .

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

$$M_R > M_u \Rightarrow \text{berperilaku sebagai Balok - T Persegi}$$

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

Rasio penulangan adalah berkisar antara harga di bawah ini:

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

Gaya tarik T pada keadaan batas dihitung berdasarkan persamaan berikut;

$$T_1 = A s_1 \cdot f_y \quad (2.6)$$

$$T_2 = A s_2 \cdot f_y \quad (2.6a)$$

$$A s = A s_1 + A s_2 \quad (2.6b)$$

Gaya D harus seimbang dengan gaya T sehingga:

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

$$D_2 = A s' \cdot f_y \quad (2.7a)$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_e + A s' \cdot f_y = A s \cdot f_y \quad (2.7b)$$

$$a = \frac{(a s - A s') f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b_e} = \frac{A s_1 f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b_e} \quad (2.7c)$$

$$a = \frac{\rho \cdot b_e \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b_e} = \frac{\rho \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c} \rightarrow \omega = \frac{\rho \cdot f_y}{f'c} \rightarrow \rho = \frac{\omega \cdot f'c}{f_y} \quad (2.7d)$$

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

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

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

maka dapat dicari nilai  $\omega$  yang kemudian dapat menentukan nilai  $\rho$ .

Penentuan rasio penulangan ( $\rho$ ):

$$Rn = \frac{Mn}{b_e \cdot d^2} \quad (2.8)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} \quad (2.9)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \quad (2.10)$$

Penentuan luas tulangan:

$$As = \rho \cdot b \cdot d \quad (2.11)$$

Kontrol  $\rho$ :

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

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

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

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:

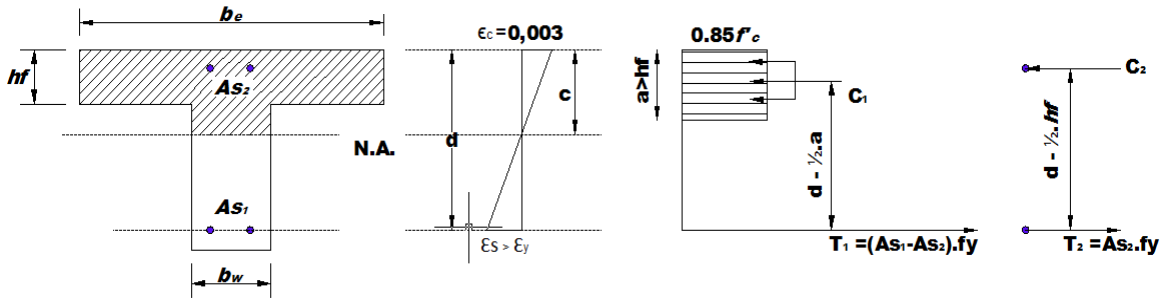
$$M_R = \phi Mn \quad (2.14)$$

Periksa Persyaratan Daktilitas:

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

$As_{\text{(maks)}}$  harus lebih besar dari  $As_{\text{(perlu)}}$

## 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 2.8

adalah sebagai berikut :

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

$$T_1 = As_1 \cdot fy$$

dengan  $D_1 = T_1$

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

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

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

Badan:  $D_2 = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w$  (2.16c)

$$T_2 = As_2 \cdot fy$$

$$Mn_2 = T_2 \cdot Z_2 = As_2 \cdot fy \cdot (d - 0,5 a)$$
 (2.16d)

Tulangan:  $D_3 = As' \cdot fy$  (2.16e)

$$T_3 = As_3 \cdot fy$$

$$Mn_3 = T_3 \cdot Z_3 = As_3 \cdot fy \cdot (d - d')$$
 (2.16f)

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

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

Maka:  $M_R = \phi M_n$  (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

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

$b_w$  = lebar badan

$t$  = tebal pelat

Periksa  $\rho$ :

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

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

$\rho_{\text{aktual}}$  harus lebih besar dari  $\rho_{\min}$

Letak titik pusat daerah tekan total:

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



*dimana:*

$Y$  = letak titik pusat daerah tekan (mm)

$A$  = luas daerah tekan ( $\text{mm}^2$ )

Perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam:

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

*dimana:*

$d$  = kedalaman efektif (mm)

Periksa Persyaratan Daktilitas:

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

$A_{S(\text{maks})}$  harus lebih besar dari  $A_{S(\text{perlu})}$ .

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

*dimana:*  $M_u$  = momen ultimit

$z$  = perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam

$\phi$  = 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 :

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

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

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,  $V_c = 0 \rightarrow$  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:

- $d/2$
  - $600 \text{ mm}$
- } pilih yang terkecil
- $V_{s \text{ pakai}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot \text{sengkan} \cdot d}{s_{\text{pakai}}}$
  - $V_{s \text{ max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$
  - $V_n = V_c + V_s$

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

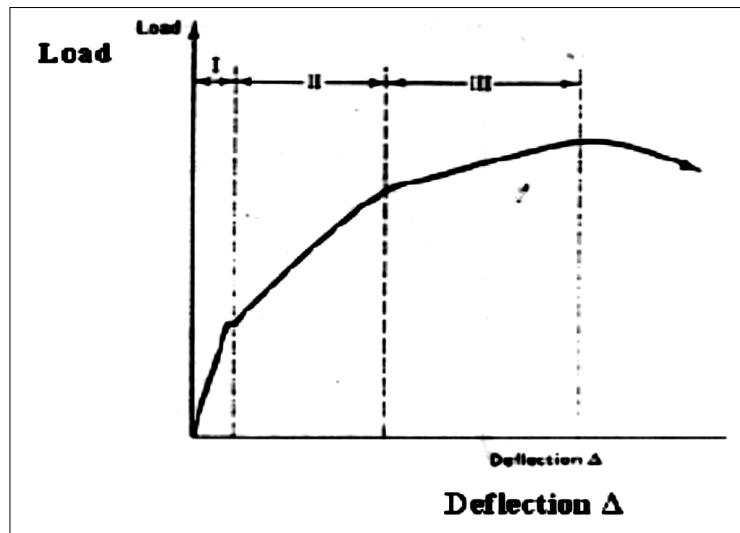
dengan jarak maksimum adalah :  $s_{\text{maks}} = \frac{A_v \cdot 3 \cdot f_y}{b}$

## 2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak

Nawy ( 2010:292 ) hubungan beban-lendutan beton bertulang pada dasarnya diidealisasikan menjadi bentuk trilinear 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 ) ( Sumber : Nawy, 2010 : 293 )**

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  $f_s = E_s \varepsilon_s$  dan tegangan beton  $f_c = E_c \varepsilon_c$  maka ;

$$A_s E_s \varepsilon_s = \frac{bc}{2} E_s \varepsilon_c \quad (2.24a)$$

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

atau

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

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

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

atau

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

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

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

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

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

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

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

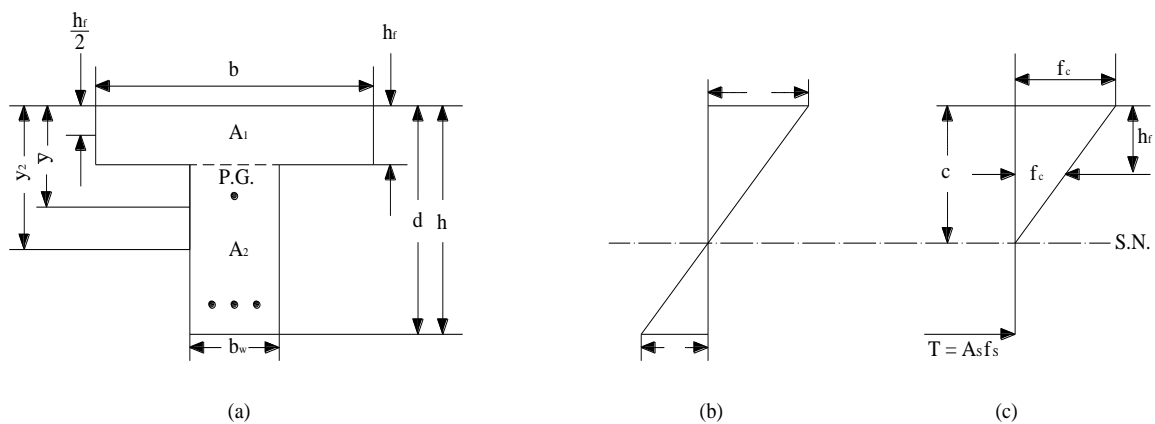
Persamaan 2.26 juga ditulis dalam bentuk

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

## 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**

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

$$y_i = h - \bar{Y} \quad (2.27a)$$

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

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

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

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

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

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

Dengan menggunakan persamann  $\epsilon_s$  berhubungan dengan  $\epsilon_c$  dan menggunakan rasio modular  $n$  memberikan kita

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

Atau

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

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

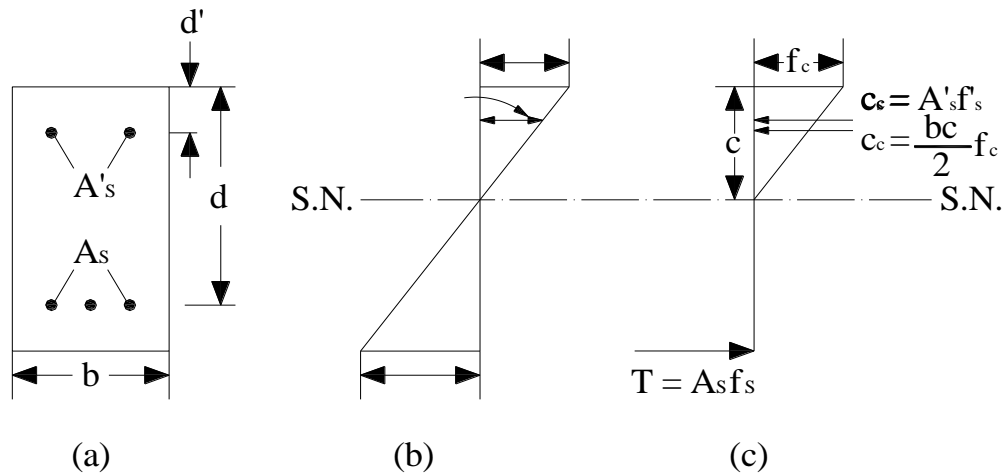
$$I_{cr} = \frac{1}{3} b_w (c - c_f)^3 + \frac{1}{12} bh_f^3 + bh_f \left[ \frac{c - hf}{2} \right]^2 + nA_s (d - c)^2 \quad (2.31)$$

Momen inersia efektif  $I_e$  dn defleksi  $\Delta$  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 diperlukan 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.**

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

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

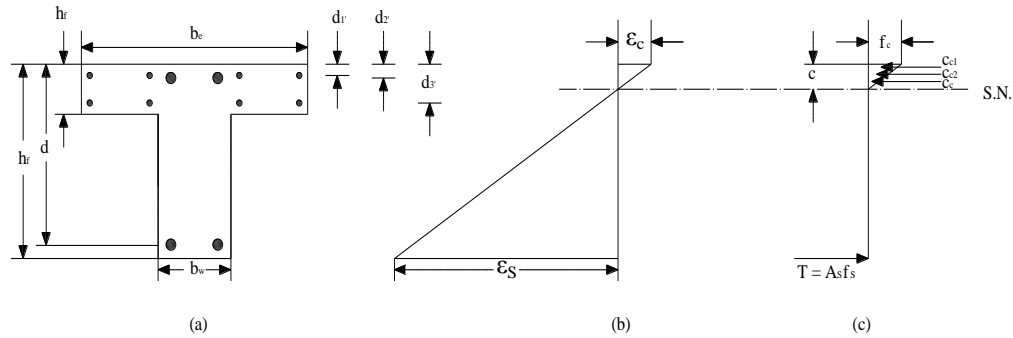
Seperti dalam kasus balok-balok beton bertulang tunggal (Pers. 2.24d sampai 2.29e), Pers. 2.32 dapat ditulis dalam bentuk;

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

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.

$$\begin{aligned} be \cdot c \frac{fc}{2} - As_1' \cdot fc \left( \frac{c - d_1'}{c} \right) - As_2' \cdot fc \left( \frac{c - d_2'}{c} \right) + As_1' \cdot fs_1' + As_2' \cdot fs_2' \\ = As_3' \cdot fs_3' + As_4' \cdot fy \end{aligned} \quad (2.34)$$

Momen inersia  $I_{cr}$  penampang retak pada balok T untuk tulanagan rangkap

dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} = \frac{1}{12} be c^3 + be c \left[ \frac{1}{2} c \right]^2 + \eta As_1 [c - d_1']^2 - As_1 [c - d_1']^2 + \eta As_2 [c - \\ d_2']^2 - As_2 [c - d_2']^2 + \eta As_3 [d_1' - c]^2 - [\eta As_4 d - c]^2 \end{aligned} \quad (3.36)$$

Untuk menghitung momen inersia efektif  $I_e$  adalah :

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

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  $\Delta$  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 (N/mm)

Untuk menghitung lebar retak maksimum mengacu pada SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 12.6 butir 4 yaitu :

$$\omega = 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \quad (3.39)$$

Dimana  $\omega$  = lebar retak

$f_s$  = tegangan maksimum baja

$\beta$  = faktor kedalaman

$A$  = luasan beton dalam tarik dibagi jumlah tulangan pada sisi tarik

## 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.
  - $be = 16 hf + b_w = (16 \times 80) + 150 = 1430$  mm.
  - maka diambil yang terkecil  $be = 550$  mm.
- b. Panjang balok  $L = 2200$  mm
- c. Selimut beton balok = 20 mm.
- d. Kuat tekan beton  $f'_c = 40.415$  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 " $1/4 L$ " 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 " $1/4 L$ " 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  $\frac{1}{4} L$  balok dari tumpuan kiri.

### **3.3 Pengujian Laboratorium**

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

Waktu Pelaksanaan : Oktober 2014 – Januari 2015

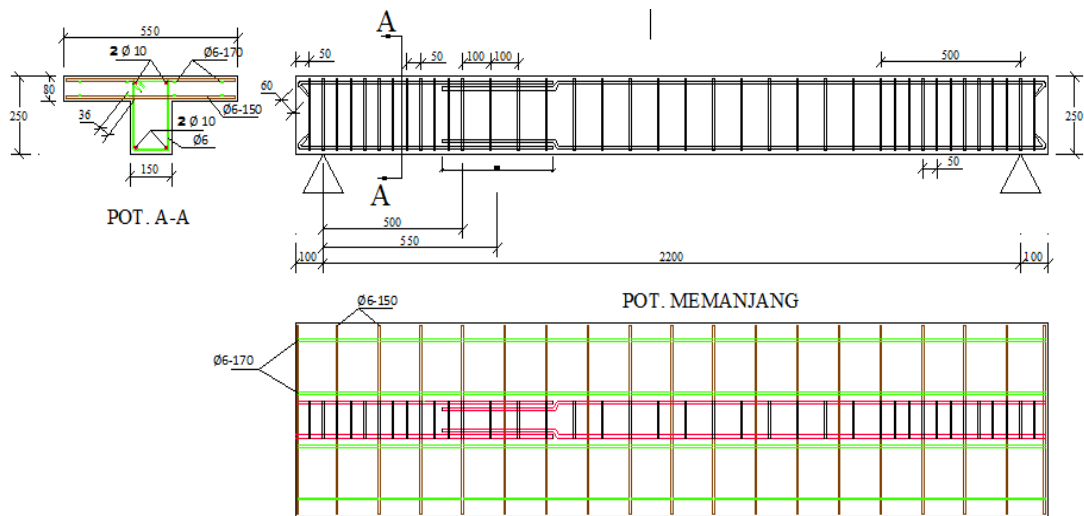
Lokasi penelitian dan pengujian :

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,  $b_e = 550$  mm dengan dua variasi yaitu :

1. Tiga buah sampel balok tanpa sambungan.
2. Dua buah sampel balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan  $\frac{1}{4}$  bentang.



**Gambar 3.1. Penulangan Balok dengan Jarak Sambungan  $\frac{1}{4}$  Bentang (B-1/4)**

### 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  $\frac{1}{4}$  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 sisi sudut bagian dalam cetakan balok yang dianggap bocor dilakukan penyumbatan dengan selotip dan kertas semen basah agar adukan beton tidak menetes/merembes keluar. Sisi bekisting balok diketok-



ketok dengan menggunakan palu, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang tertangkap 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  $23^0 - 28^0 C$
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.

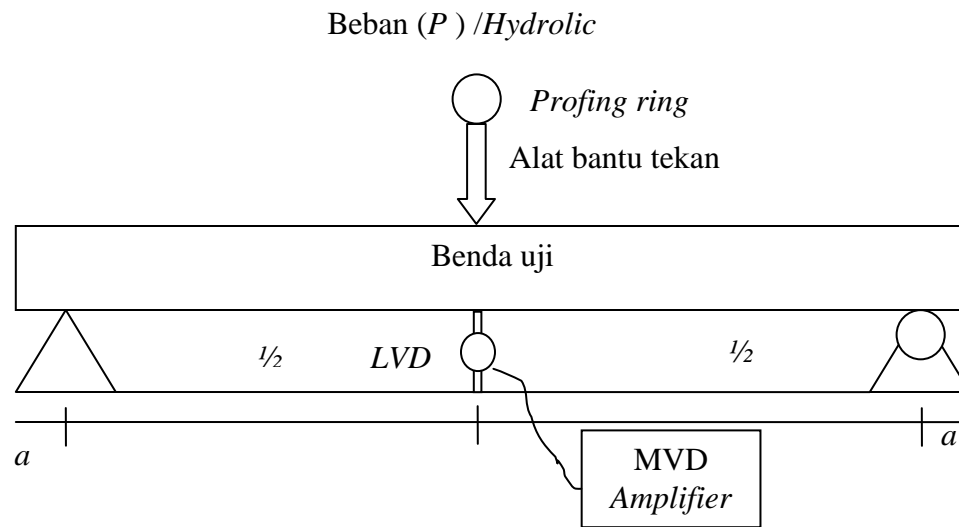
#### c. Pengujian Kuat Lentur

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 *hydraulic jack* dengan perlakuan sendi dan rol.
2. Pada mesin *hydraulic jack*, diberikan alat ukur pembebanan yaitu proving ring..
3. Diatas balok diletakan satu set alat bantu tekan dengan berat 17,6 kg.
4. *Hydraulic jack* dioperasikan hingga posisi proving ring menyentuh permukaan alat bantu tekan dan dalam posisi terkunci rapat.

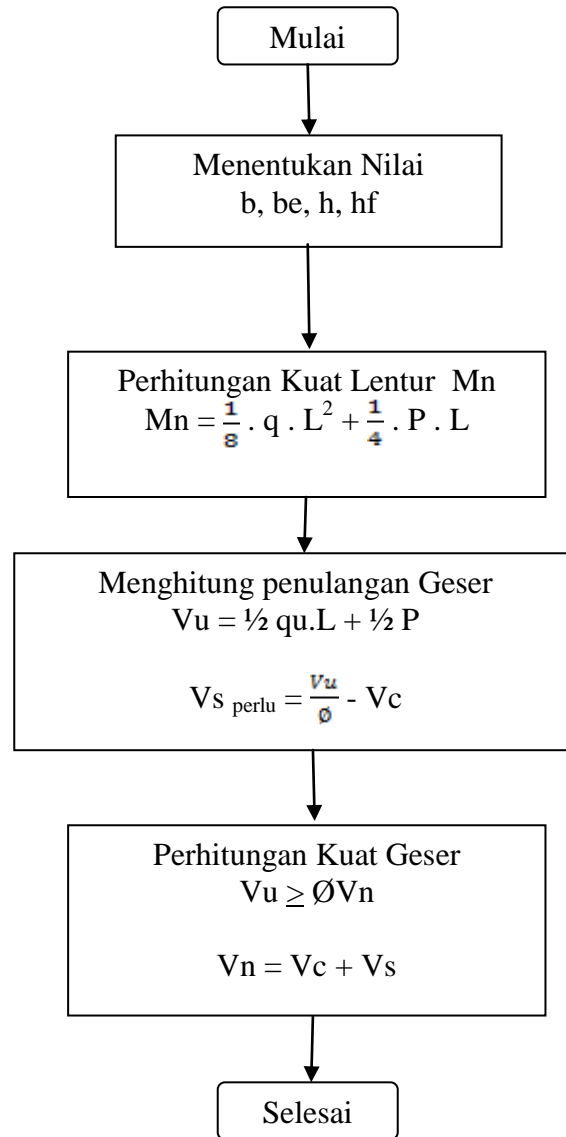
5. Dial digital (LVDT) diletakan tepat dibawah permukaan balok yang mengalami pembebanan dimana posisinya tepat berada di tengah bentang dan pada letak sambungan balok T  $\frac{1}{4}$  bentang. Kemudian dihubungkan dengan alat baca digital (*MVD Amplifier*).
6. Pengujian siap dilakukan. Gaya/beban diberikan secara perlahan-lahan beban konstan dan beban dinaikkan secara berangsur-angsur hingga pada 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 proses 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.



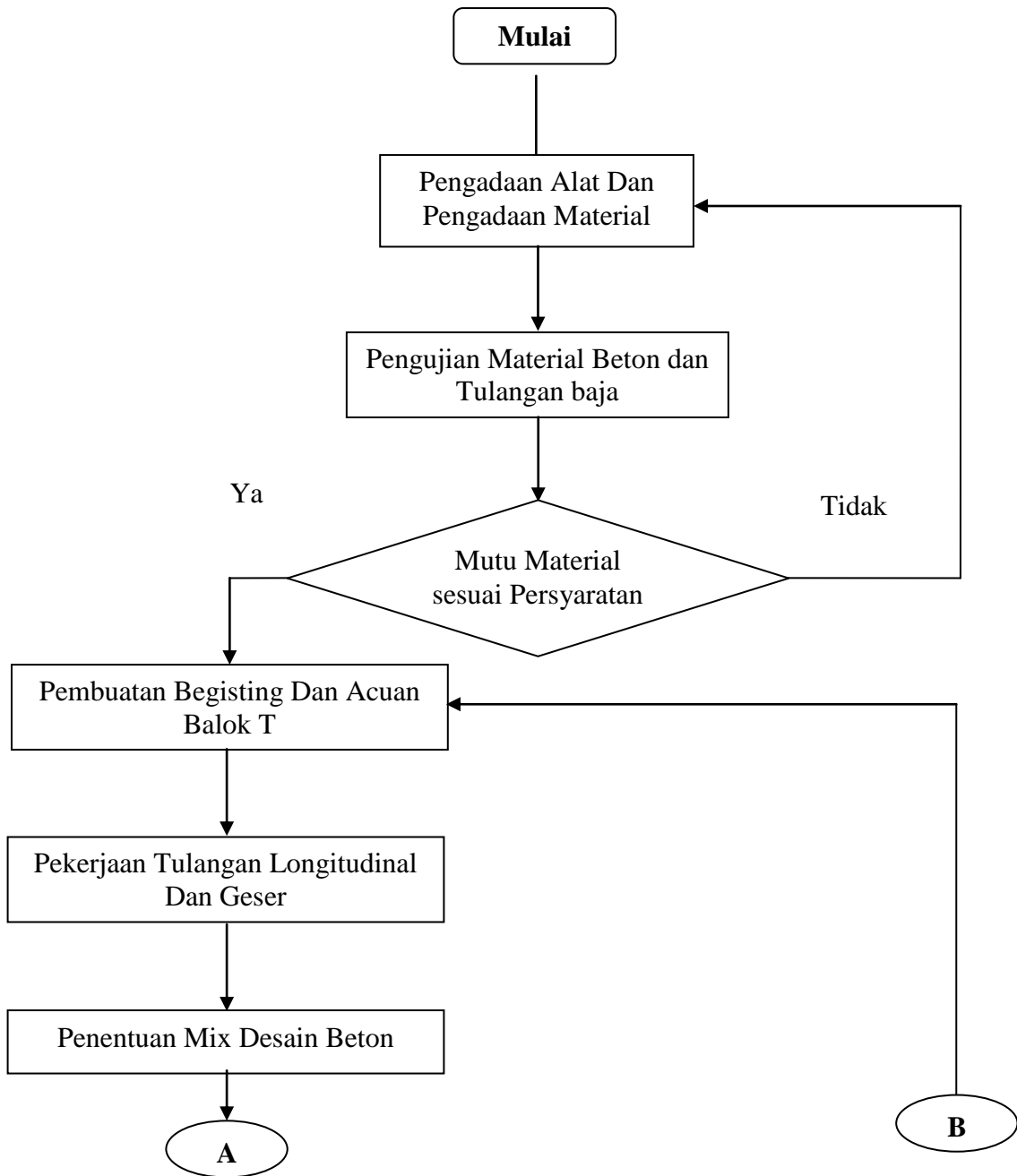
**Gambar 3.2 Proses Pengujian Lendutan**

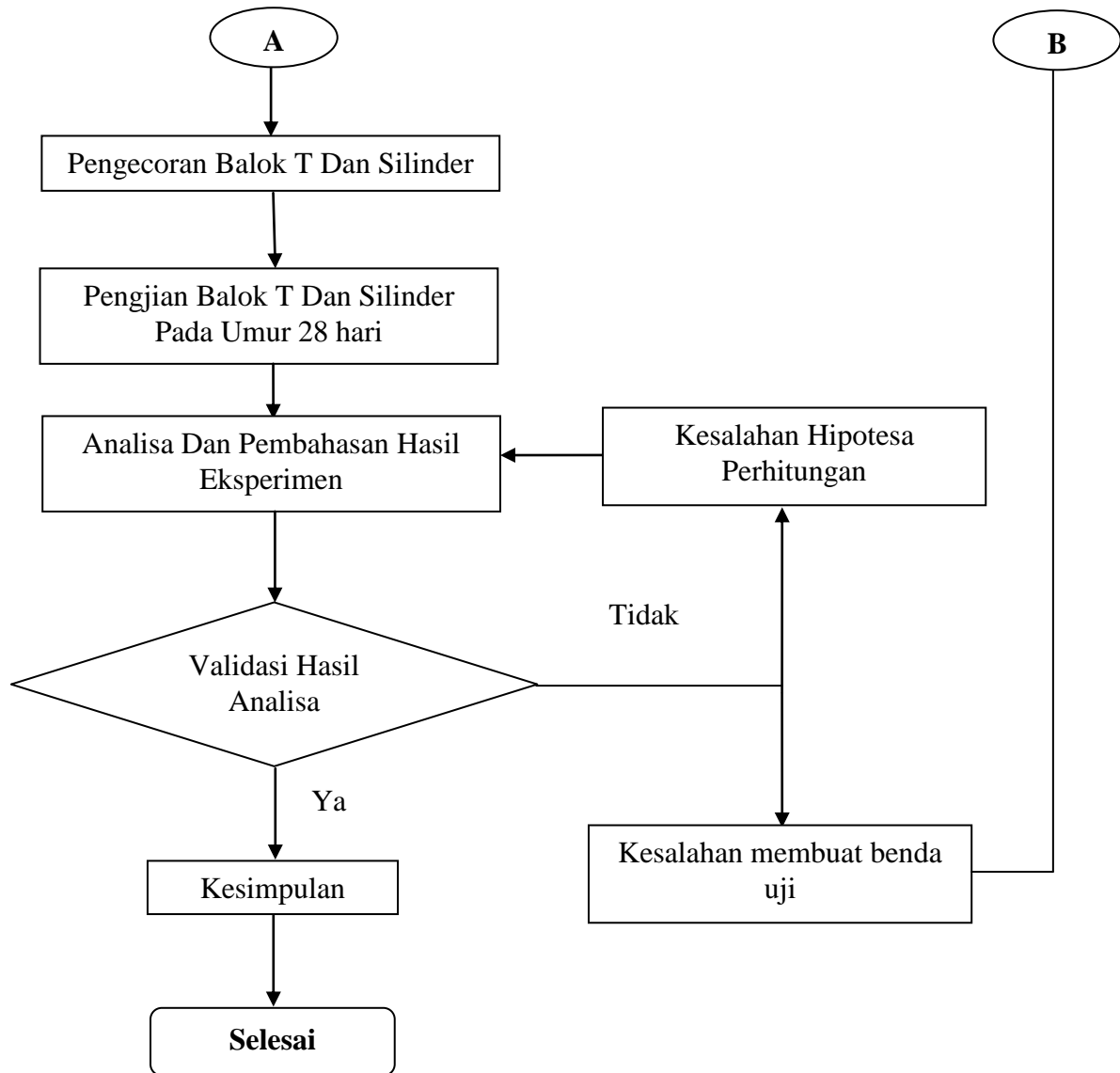
### Bagan Diagram Alir Perencanaan Balok T



**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

#### **3.4.1 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  $1 \text{ m}^3$  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> )

### 3.4.2 Pengujian 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 12 benda uji. Hasil tes yang diperoleh sesuai dengan perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.2 .

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

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	405,07	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				354,3	428,46	

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				469,93	566,19	

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

### 3.4.3 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.3.3 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

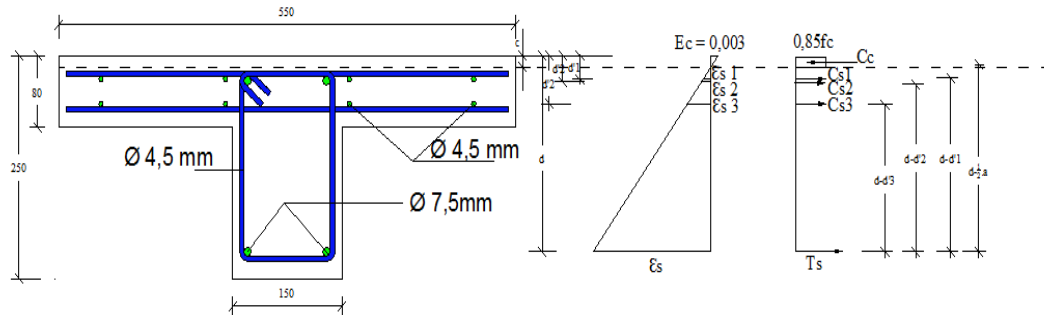
### 3.5 Analisa Teoritis

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 ( Ec' ) : 0,003 Mpa ( SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69 )

### 3.5.1 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' ) :  $412,115 \text{ kg/cm}^2 = 40,415 \text{ Mpa}$
- 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
- B<sub>1</sub> :  $0,85 - \frac{0,005}{7} \times fc' - 30 = 0,843$

- $q$  ( beban merata ) : Luas penampang x berat jenis  

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

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

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

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

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

$$= 27 \text{ mm}$$

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

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

$$= 28 \text{ mm}$$

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

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

$$= 53 \text{ mm}$$

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

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

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

$$= 202 \text{ mm}$$

- $A_{S1} = 4 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2$   
 $= 4 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 4,5^2$   
 $= 63,643 \text{ mm}^2$
- $A_{S2} = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2$   
 $= 2 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 7,5^2$   
 $= 88,39 \text{ mm}^2$
- $A_{S3} = 4 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2$   
 $= 4 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 5^2$   
 $= 63,643 \text{ mm}^2$
- $A_{S4} = 2 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2$   
 $= 2 \times \frac{1}{4} 3,14 \times 7,5^2$   
 $= 88,39 \text{ mm}^2$

- Mencari nilai c

$$\frac{\epsilon_{S1}}{0,003} = \frac{d_1' - c}{c} \longrightarrow \epsilon_{S1} = \frac{d_1' - c}{c} \times 0,003$$

$$f_{S1} = \epsilon_{S1} \times E_s$$

$$f_{S1} = \frac{d_1' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$f_{S1} = \frac{d_1' - c}{c} \times 600$$



$$\frac{\epsilon_{S_2}}{0,003} = \frac{d_2'}{c} \longrightarrow \epsilon_{S_2} = \frac{d_2' - c}{c} \times 0,003$$

$$f_{S_2} = \epsilon_{S_2} \times E_s$$

$$f_{S_2} = \frac{d_2' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$f_{S_2} = \frac{d_2' - c}{c} \times 600$$

$$\frac{\epsilon_{S_3}}{0,003} = \frac{d_3'}{c} \longrightarrow \epsilon_{S_3} = \frac{d_3' - c}{c} \times 0,003$$

$$f_{S_3} = \epsilon_{S_3} \times E_s$$

$$f_{S_3} = \frac{d_3' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

$$f_{S_3} = \frac{d_3' - c}{c} \times 600$$

$$C_{S_1} = A_{S_1} \times f_{S_1}$$

$$C_{S_2} = A_{S_2} \times f_{S_2}$$

$$C_{S_3} = A_{S_3} \times f_{S_3}$$

$$T_s = A_{S_4} \times f_y$$

$$C_c = 0,85 c \times b_e \times 0,85 F_c$$

$$\Sigma H = 0$$

$$C_c = C_{S_1} + C_{S_2} + C_{S_3} + T_s$$

$$\beta_1 c \times be \times 0,85f'c = As_1 \times \left( \frac{d_1' - c}{c} \times 600 \right) + As_2 \times \left( \frac{d_2' - c}{c} \times 600 \right) \\ + As_3 \times \left( \frac{d_3' - c}{c} \times 600 \right) + As \times fy$$

$$0,85 c^2 \times be \times 0,85f'c = As_1 \times ((d_1' - c) \times 600) + As_2 \times ((d_2' - c) \times 600) \\ + As_3 \times ((d_3' - c) \times 600) + As \times fy \times c$$

$$0,85 c_2 \times 550 \times 0,85 \times 40 = 63,643 \times (16050 - 600 c) + 88,393 \times (16950 - 600 c) \\ + 63,643 \times (31950 - 600 c) + 88,393 \times 461 \times c$$

$$16060,0278 c^2 = (1021468 + (-38185,7 c)) + (1498258,93 + (-53035,7c)) + \\ (2033389 + (-38185,7 c)) + 40784,3 c$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a = \beta_1 \times c$$

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

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

$$\begin{aligned}
C_c &= 0,85 \cdot c \cdot b_e \cdot 0,85 \cdot f'_c \\
&= 0,85 \cdot 14,303 \cdot 550 \cdot 0,85 \cdot 40 \\
&= 229708,048 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{s1} &= A_{s1} \cdot f_{s1} \\
&= 63,643 \cdot 522,135 = 33230,165 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{s2} &= A_{s2} \cdot f_y \\
&= 88,393 \cdot 461 \\
&= 40784,288 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{s3} &= A_{s3} \cdot f_y \\
&= 63,643 \cdot 335 \\
&= 21294,200 \text{ N}
\end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

$$P = 5059,459 \text{ Kg} = 5,06 \text{ Ton}$$

### 3.5.2 Penulangan Geser

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 (  $f_c'$  ) : 40 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 (  $f_y$  ) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5 (  $f_y$  ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 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 Mpa ( SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69 )

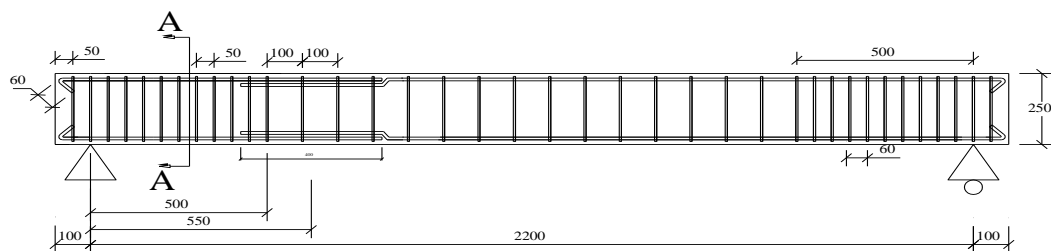
$$\begin{aligned}
 V_u &= \left( \frac{1}{2} \times q \times L \right) + \left( \frac{1}{2} \times p \right) \times 125 \% \\
 &= \left( \frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 50594,589 \right) \times 125 \% \\
 &= 34073,669 \text{ N} = 3206,464 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Karena

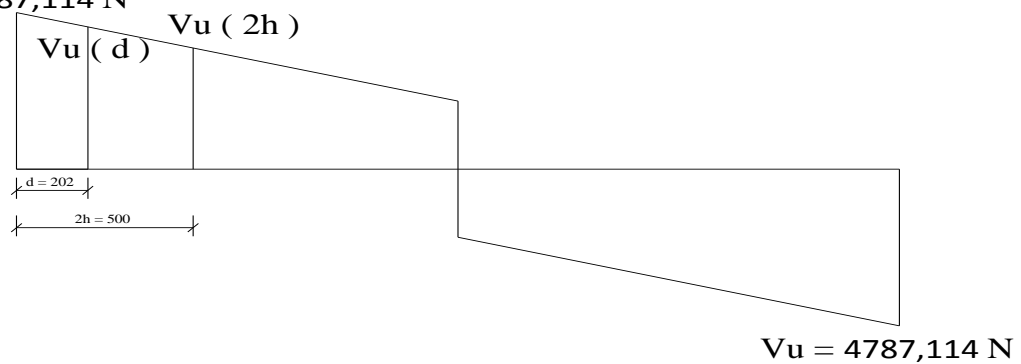
$$V_u > \frac{\phi V_c}{2}$$

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

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



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



Gambar 3.6 Penulangan Geser

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

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

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

$$1100 y = 5265824,895$$

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

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

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

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

$$= 30084,408 \text{ N} = 3008,441 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u (2H)}{\phi} - V_c$$

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

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$A_v = A_s = \frac{1}{4} \Pi \times \text{Øtulangan}^2 \times 2$$

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

$$= 32 \text{ mm}$$

$$S = \frac{32 \text{ mm}^2 \times 334,589 \times 202 \text{ mm}}{118,726 \text{ mm}}$$

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

- 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  $\emptyset 4,5 = 100 \text{ mm}$

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

Syarat

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

$$\frac{30084,408 \text{ N}}{0,6} < 32064,644 \text{ N} + 1460,996 \text{ N}$$

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

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

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

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



$$1100 y = 6112745,065$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$S = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

$$A_v = A_s = \frac{1}{4} \Pi \emptyset_{\text{tulangan}}^2 \times 2$$

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

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

$$S = \frac{32 \text{ mm}^2 \times 334,589 \text{ N} \times 202 \text{ mm}}{51423,892 \text{ N}} = 41,734 \text{ mm}$$

- Syarat spasi maksimum pada daerah gempa ( SNI 23.3.3.2 ) pada daerah sendi plastis

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

Jadi yang dipakai sengkang  $\emptyset 4,5 = 50 \text{ mm}$

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

Syarat

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

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

$$5142,389211 \text{ N} < 53525,641 \text{ N}$$

### 3.5.3 Perhitungan Lendutan

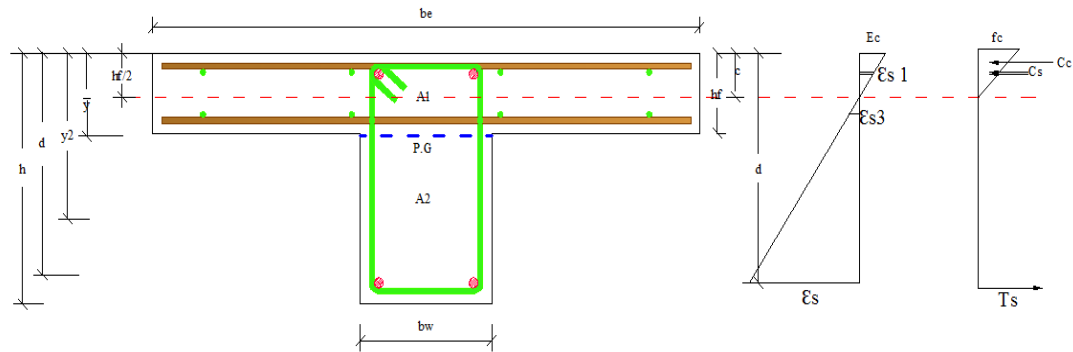
#### 3.5.3.1 Akibat Beban Teoritis

- Letak garis netral penampang transformasi ( c )

Data perhitungan :

- Panjang : 2200 mm
- Tinggi : 250 mm
- Tebal Pelat : 80 mm
- Lebar sayap : 625 mm
- Mutu beton (  $f_c'$  ) : 40 Mpa
- Mutu baja  $\emptyset 7,5$  (  $f_y$  ) : 461 Mpa
- Mutu baja  $\emptyset 4,5$  (  $f_y$  ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok :  $\emptyset 7,5 \text{ mm}$
- Tulangan sengkang :  $\emptyset 4,5 \text{ mm}$
- 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 )



**Gambar 3.7 Distribusi Tegangan Dan Regangan Melintasi Penampang Berflens**

$$\begin{aligned}
 & be \cdot c \frac{f_c}{2} - A_{s1}' \cdot f_c \left( \frac{c - d1'}{c} \right) - A_{s2}' f_c \left( \frac{c - d2'}{c} \right) + A_{s1}' \cdot f_{s1}' + A_{s2}' \cdot f_{s2}' \\
 & = A_{s3}' f_{s3}' + A_{s4}' f_y
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left( \frac{be \cdot c}{2} \right) E_c \epsilon_c - A_{s1}' \left( \frac{c - d1'}{c} \right) E_c \epsilon_c - A_{s2}' \left( \frac{c - d2'}{c} \right) E_c \epsilon_c \\
 & = - A_{s1}' E_s \epsilon_s - A_{s2}' E_s \epsilon_s + A_{s3}' E_s \epsilon_s + A_{s4}' f_y
 \end{aligned}$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec}{2} - A_{s1}' \left[ \frac{c - d1'}{c} \right] - A_{s2}' \left[ \frac{c - d2'}{c} \right] \right\} E_c \epsilon_c \right]$$

$$= \left[ \left\{ -A_{s1}' \left[ \frac{c - d1'}{c} \right] - A_{s2}' \left[ \frac{c - d2'}{c} \right] + A_{s3}' \left[ \frac{d3' - c}{c} \right] \right\} E_c \epsilon_c \right] + A_{s4}' f_y' c$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] \right\} E_c \epsilon_c \right]$$

$$= \left[ \left\{ -A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] + A_{s3}' [d3' - c] \right\} E_c \epsilon_c \right] + A_{s4}' f_y' c$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] \right\} \right]$$

$$= \left[ \left\{ -A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] + A_{s3}' [d3' - c] \right\} \frac{E_s \epsilon_c}{E_c \epsilon_c} \right] + A_{s4}' f_y' c$$

$$\left[ \left\{ \frac{bec^2}{2} - A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] \right\} \right]$$

$$= \left[ \left\{ -A_{s1}' [c - d1'] - A_{s2}' [c - d2'] + A_{s3}' [d3' - c] \right\} \eta \right] + A_{s4}' f_y' c$$

$$bec^2 - [2 A_{s1}' [c - d1']] - [2 A_{s2}' [c - d2']] + [2 \eta A_{s1}' [c - d1']]$$

$$+ [2 \eta A_{s2}' [c - d2']] - [2 \eta A_{s3}' [d3' - c]] - A_{s4}' f_y' c = 0$$

Dimana  $\eta = \frac{E_s}{E_c} \longrightarrow E_c = 4700\sqrt{f'c} = 29879,322 \text{ Mpa}$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4700 \sqrt{40,4}} = 6,694$$

$$550 c^2 - [ 2 \times 63,6429 [ c - 27 ] ] - [ 2 \times 88,3929 [ c - 28 ] ] + [ 2 \times 6,694 \times 63,643 [ c - 27 ] ] + [ 2 \times 6,694 \times 88,3929 [ c - 28 ] ] - [ 2 \times 6,694 \times 63,6429 [ 53,3 - c ] ] - 88,3929 \times 461 c = 0$$

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

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

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

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

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

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

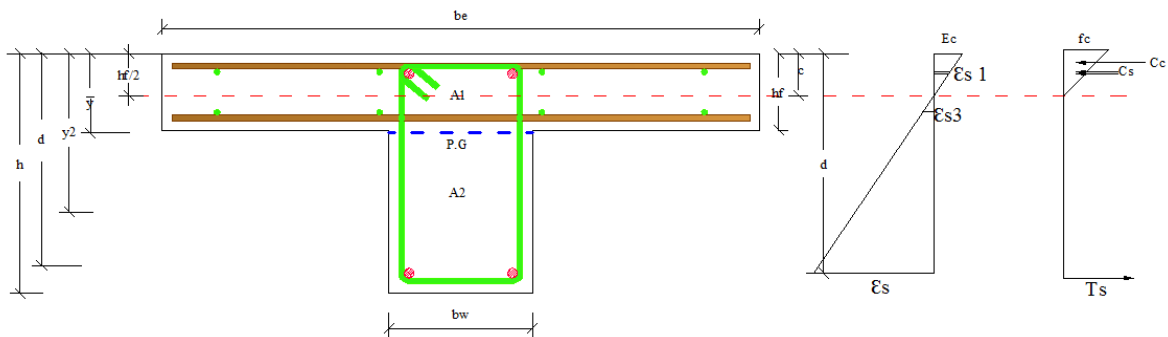
$$c = -2,359 \text{ mm}$$

- Momen inersia penampang retak  $I_{cr}$

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

$$\begin{aligned}
I_{cr} &= \frac{1}{12} \times 550 \times 71,816^3 + 550 \times 71,816 \left[ \frac{1}{2} \times 71,816 \right]^2 + 6,694 \times 63,6429 \\
&\quad [ 71,816 - 27 ]^2 - 63,6429 [ 71,816 - 26,8 ]^2 + 6,694 \times 88,3929 \\
&\quad [ 71,816 - 28 ]^2 - 88,3929 [ 71,816 - 28,3 ]^2 + 6,694 \times 63,6429 \\
&\quad [ 53,3 - 71,816 ]^2 + 6,694 \times 88,3929 [ 202 - 71,816 ]^2 \\
&= 16976193,23 + 50928579,7 + 865170,8678 - 129253,5933 + \\
&\quad 1122965,893 - 167767,2958 + 146836,2625 + 9989041,284 \\
I_{cr} &= 79731766,35 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Momen inersia gros,  $I_g$  untuk kedua persegi



**Gambar 3.8 Distribusi Tegangan Dan Regangan Melintasi Penampang Berflens**

$$\begin{aligned}
\bar{y} &= \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} \\
&= \frac{be hf y_1 + bw (h - hf) y_2}{be hf + bw (h - hf)} \\
&= \frac{550 \times 80 \times 40 \times 165 + 150 (250 - 80) 165}{550 \times 80 + 150 (250 - 80)}
\end{aligned}$$

$$= \frac{1760000 + 4207500}{44000 + 25500}$$

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

$$Y_t = h - \bar{Y}$$

$$= 250 - 85,863$$

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

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

$$= \frac{(550 \times 80)^3}{12} + 550 \times 80 \left[ 85,863 - \frac{80}{2} \right]^2 + \frac{150 (250 - 80)^3}{12} +$$

$$150 [250 - 80] \left[ 164,137 - \frac{[250 - 80]^2}{12} \right]$$

$$= 23466666,67 + 92551498,37 + 61412500 + 159696703,1$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{I_g f_r}{y_t} \\
 &= \frac{337127368,106 \times 4,450}{164,137} \\
 &= 9140274,807 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Kondisi pracetak

$$P = 500 \text{ kg} = 5000 \text{ N}$$

Maka

$$\begin{aligned}
 M_a &= \left[ \frac{1}{4} p l \right] + \left[ \frac{1}{8} q l^2 \right] \\
 &= \left[ \frac{1}{4} \times 5000 \text{ N} \times 2200 \right] + \left[ \frac{1}{8} \times 1,78331 \times 2200 \right] \\
 &= 2750000 + 1078902,55
 \end{aligned}$$

$$M_a = 3828902,550 \text{ N/mm}$$

$$M_a = 3828902,550 \text{ N/mm} < M_{cr} = 9140274,807 \text{ Nmm}$$

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

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{p l^3}{48 E_c I_e} + \frac{5 q l^4}{384 E_c I_e} \\
 &= \frac{15000 \text{ N} \times 2200^3}{48 \times 29879,322 \times 337127368,1} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 337127368,1} \\
 &= 0,110111344 + 0,053999732 \\
 &= 0,164 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



- Kondisi pascaretak

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

Maka :

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

$$= \left[ \frac{1}{4} \times 15000 \text{ N} \times 2200 \right] + \left[ \frac{1}{8} \times 1,78331 \times 2200^2 \right]$$

$$= 8250000 + 1078902,55$$

$$M_a = 9328902,550 \text{ N/mm}$$

$$M_a = 9328902,550 \text{ N/mm} > M_{cr} = 9140274,807 \text{ Nmm}$$

$$I_e = \frac{5000 \text{ N} \times 2200^3}{48 \times 29879,322 \times 337127368,1} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 337127368,1}$$

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

$$= \left[ \frac{9140274,807 \text{ Nmm}}{9328902,550 \text{ N/mm}} \right]^3 337127368,1 + \left[ 1 - \left[ \frac{9140274,807}{9328902,6} \right]^3 \right]$$

$$79731766,35$$

$$= 317088214 + 4739327,833$$

$$= 321827542,261 \text{ mm}^4 \leq 4739327,833 \text{ mm}^4$$

Sehingga

$$\Delta = \frac{p l^3}{48 E_c I_e} + \frac{5 q l^4}{384 E_c I_e}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5000 \text{ N} \times 2200^3}{48 \times 29879,322 \times 321827542} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 321827542,3} \\
&= 0,346038262 + 0,056566903 \\
&= 0,403 \text{ mm}
\end{aligned}$$

### 3.5.3.2 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.

### 3.5.3.3 Lebar Retak

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

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

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

$$\begin{aligned} \text{Tegangan baja } f_s &= \frac{Ma}{I_{cr}} (d - c) \eta \\ &= \frac{28905926.277}{7973166.35} (201.75 - 14.301) 6.694 \\ &= 454.876 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 250 - 20 - 4,5 - \frac{1}{2} (7.5) = 221.750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 20 + 4,5 + \frac{1}{2} (7.5) = 28.250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= (h-c)/(d-c) \\ &= (250 - 14.301) / (201.75 - 14.301) = 1.257 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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,

$$\begin{aligned} \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \\ &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1.257 \cdot 454.88 \cdot \sqrt[3]{28.3 \times 706.25} = 0,171 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Tabel 3.4 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 )	Δ ( mm )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	1,78331	2200	1078902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,054
2	50	500	1,78331	2200	1353902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,065
3	100	1000	1,78331	2200	1628902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,076
4	150	1500	1,78331	2200	1903902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,087
5	200	2000	1,78331	2200	2178902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,098
6	250	2500	1,78331	2200	2453902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,109
7	300	3000	1,78331	2200	2728902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,120
8	350	3500	1,78331	2200	3003902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,131
9	400	4000	1,78331	2200	3278902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,142
10	450	4500	1,78331	2200	3553902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,153
11	500	5000	1,78331	2200	3828902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,164
12	550	5500,000	1,78331	2200	4103902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,175
13	600	6000	1,78331	2200	4378902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,186
14	650	6500	1,78331	2200	4653902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,197
15	700	7000	1,78331	2200	4928902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,208
16	750	7500	1,78331	2200	5203902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,219
17	800	8000	1,78331	2200	5478902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,230
18	850	8500	1,78331	2200	5753902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,241

19	900	9000	1,78331	2200	6028902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,252
20	950	9500	1,78331	2200	6303902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,263
21	1000	10000	1,78331	2200	6578902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,274
22	1050	10500	1,78331	2200	6853902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,285
23	1100	11000	1,78331	2200	7128902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,296
24	1150	11500	1,78331	2200	7403902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,307
25	1200	12000	1,78331	2200	7678902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,318
26	1250	12500	1,78331	2200	7953902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,329
27	1300	13000	1,78331	2200	8228902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,340
28	1350	13500	1,78331	2200	8503902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,351
29	1400	14000	1,78331	2200	8778902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,362
30	1450	14500	1,78331	2200	9053902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,373
31 Retak awal	1500	15000	1,78331	2200	9328902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	337127368,106	29879,322	0,384
32	1550	15500	1,78331	2200	9603902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	301620702,177	29879,322	0,442
33	1600	16000	1,78331	2200	9878902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	283601510,152	29879,322	0,483
34	1650	16500	1,78331	2200	10153902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	267481750,134	29879,322	0,526
35	1700	17000	1,78331	2200	10428902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	253017597,316	29879,322	0,571
36	1750	17500	1,78331	2200	10703902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	240001841,883	29879,322	0,617
37	1800	18000	1,78331	2200	10978902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	228257631,412	29879,322	0,665
38	1850	18500	1,78331	2200	11253902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	217633406,242	29879,322	0,715
39	1900	19000	1,78331	2200	11528902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	207998777,944	29879,322	0,766
40	1950	19500	1,78331	2200	11803902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	199241157,821	29879,322	0,818
41	2000	20000	1,78331	2200	12078902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	191262985,324	29879,322	0,872

42	2050	20500	1,78331	2200	12353902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	183979438,902	29879,322	0,926
43	2100	21000	1,78331	2200	12628902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	177316536,854	29879,322	0,982
44	2150	21500	1,78331	2200	12903902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	171209554,972	29879,322	1,039
45	2200	22000	1,78331	2200	13178902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	165601702,768	29879,322	1,096
46	2250	22500	1,78331	2200	13453902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	160443011,688	29879,322	1,155
47	2300	23000	1,78331	2200	13728902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	155689397,868	29879,322	1,214
48	2350	23500	1,78331	2200	14003902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	151301869,222	29879,322	1,273
49	2400	24000	1,78331	2200	14278902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	147245852,310	29879,322	1,334
50	2450	24500	1,78331	2200	14553902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	143490619,013	29879,322	1,395
51	2500	25000	1,78331	2200	14828902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	140008796,682	29879,322	1,456
52	2550	25500	1,78331	2200	15103902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	136775948,317	29879,322	1,517
53	2600	26000	1,78331	2200	15378902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	133770211,719	29879,322	1,579
54	2650	26500	1,78331	2200	15653902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	130971988,465	29879,322	1,641
55	2700	27000	1,78331	2200	15928902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	128363675,075	29879,322	1,703
56	2750	27500	1,78331	2200	16203902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	125929430,073	29879,322	1,766
57	2800	28000	1,78331	2200	16478902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	123654971,604	29879,322	1,828
58	2850	28500	1,78331	2200	16753902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	121527401,198	29879,322	1,891
59	2900	29000	1,78331	2200	17028902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	119535049,929	29879,322	1,953
60	2950	29500	1,78331	2200	17303902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	117667343,817	29879,322	2,016
61	3000	30000	1,78331	2200	17578902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	115914685,812	29879,322	2,079
62	3050	30500	1,78331	2200	17853902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	114268352,092	29879,322	2,141
63	3100	31000	1,78331	2200	18128902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	112720400,756	29879,322	2,203
64	3150	31500	1,78331	2200	18403902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	111263591,263	29879,322	2,266
65	3200	32000	1,78331	2200	18678902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	109891313,225	29879,322	2,328

66	3250	32500	1,78331	2200	18953902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	108597523,338	29879,322	2,390
67	3300	33000	1,78331	2200	19228902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	107376689,430	29879,322	2,451
68	3350	33500	1,78331	2200	19503902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	106223740,723	29879,322	2,513
69	3400	34000	1,78331	2200	19778902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	105134023,562	29879,322	2,574
70	3450	34500	1,78331	2200	20053902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	104103261,921	29879,322	2,635
71	3500	35000	1,78331	2200	20328902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	103127522,133	29879,322	2,696
72	3550	35500	1,78331	2200	20603902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	102203181,330	29879,322	2,757
73	3600	36000	1,78331	2200	20878902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	101326899,172	29879,322	2,817
74	3650	36500	1,78331	2200	21153902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	100495592,467	29879,322	2,878
75	3700	37000	1,78331	2200	21428902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	99706412,374	29879,322	2,938
76	3750	37500	1,78331	2200	21703902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	98956723,877	29879,322	2,997
77	3800	38000	1,78331	2200	21978902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	98244087,297	29879,322	3,057
78	3850	38500	1,78331	2200	22253902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	97566241,604	29879,322	3,116
79	3900	39000	1,78331	2200	22528902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	96921089,335	29879,322	3,175
80	3950	39500	1,78331	2200	22803902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	96306682,960	29879,322	3,234
81	4000	40000	1,78331	2200	23078902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	95721212,521	29879,322	3,293
82	4050	40500	1,78331	2200	23353902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	95162994,430	29879,322	3,351
83	4100	41000	1,78331	2200	23628902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	94630461,291	29879,322	3,409
84	4150	41500	1,78331	2200	23903902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	94122152,652	29879,322	3,467
85	4200	42000	1,78331	2200	24178902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	93636706,590	29879,322	3,525
86	4250	42500	1,78331	2200	24453902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	93172852,040	29879,322	3,582
87	4300	43000	1,78331	2200	24728902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	92729401,802	29879,322	3,639
88	4350	43500	1,78331	2200	25003902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	92305246,154	29879,322	3,696
89	4400	44000	1,78331	2200	25278902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	91899347,021	29879,322	3,753

90	4450	44500	1,78331	2200	25553902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	91510732,632	29879,322	3,809
91	4500	45000	1,78331	2200	25828902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	91138492,631	29879,322	3,866
92	4550	45500	1,78331	2200	26103902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	90781773,600	29879,322	3,922
93	4600	46000	1,78331	2200	26378902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	90439774,941	29879,322	3,977
94	4650	46500	1,78331	2200	26653902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	90111745,109	29879,322	4,033
95	4700	47000	1,78331	2200	26928902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	89796978,133	29879,322	4,089
96	4750	47500	1,78331	2200	27203902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	89494810,429	29879,322	4,144
97	4800	48000	1,78331	2200	27478902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	89204617,861	29879,322	4,199
98	4850	48500	1,78331	2200	27753902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	88925813,027	29879,322	4,254
99	4900	49000	1,78331	2200	28028902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	88657842,767	29879,322	4,309
100	4950	49500	1,78331	2200	28303902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	88400185,853	29879,322	4,363
101	5000	50000	1,78331	2200	28578902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	88152350,859	29879,322	4,418
102	5050	50500	1,78331	2200	28853902,55	9140274,807	79731766,354	337127368,106	87913874,194	29879,322	4,472
103	5059,4589	50594,5886	1,78331	2200	28905926,28	9140274,807	79731766,354	337127368,106	87869776,167	29879,322	4,482



Keterangan pengisian kolom table 3.4

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

Beban (P) Kg, pemberian beban dengan kelipatan 500 Kg

- Kolom 3

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

- Kolom 4

Beban merata (q) N/mm

$$\begin{aligned}q &= \text{Luas penampang} \times \text{berat jenis} \\ &= (0,08 \times 0,63) + (0,15 \times 0,17) \times 2362 \\ &= 178,331 \text{ Kg/m} \\ &= 1,783 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

- 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 18)

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

*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

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

$$f_r = 0.75 \sqrt{f'_c} = 4.450 \text{ Mpa}$$

$$I_g = \frac{b_e h_f^3}{12} + b_e h_f \left[ \bar{Y} - \frac{h_f}{2} \right]^2 + \frac{b_w (h - h_f)^3}{12} + b_w [h - h_f] \left[ y_t - \frac{h - h_f}{2} \right]^2$$

$$Y_t = h - \bar{y} = 250 - 85.863 = 164.137 \text{ mm}$$

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

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

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

$\bar{y}$  = Kedalaman pusat grafitasi balok T

$h$  = Tinggi balok (mm)

- Kolom 8

Momen inersia penampang retak tranformasi ( $I_{cr}$ )  $mm^4$

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

- Kolom 9

Momen inersia penampang utuh ( $I_g$ )  $\text{mm}^4$

$$I_g = bh^3 / 12$$

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 4) Nilainya diambil

dari  $I_g$ , karena penampang masih dalam keadaan utuh. Momen inersia

efektif ( $I_g$ )  $\text{mm}^4$  (Nomor urut 5 s/d 18 )

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

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

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

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

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

- 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 ( $\Delta$ ) mm (Nomor urut 1)

$$\Delta = \frac{5ql^4}{384E_c I_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok ( $\Delta$ )mm (Nomor urut 2 s/d 20)

$$\Delta = \frac{p (ln)^3}{48EcIe} + \frac{5ql^4}{384EcIe}$$

Dimana ;  $\Delta$  = lendutan (mm)

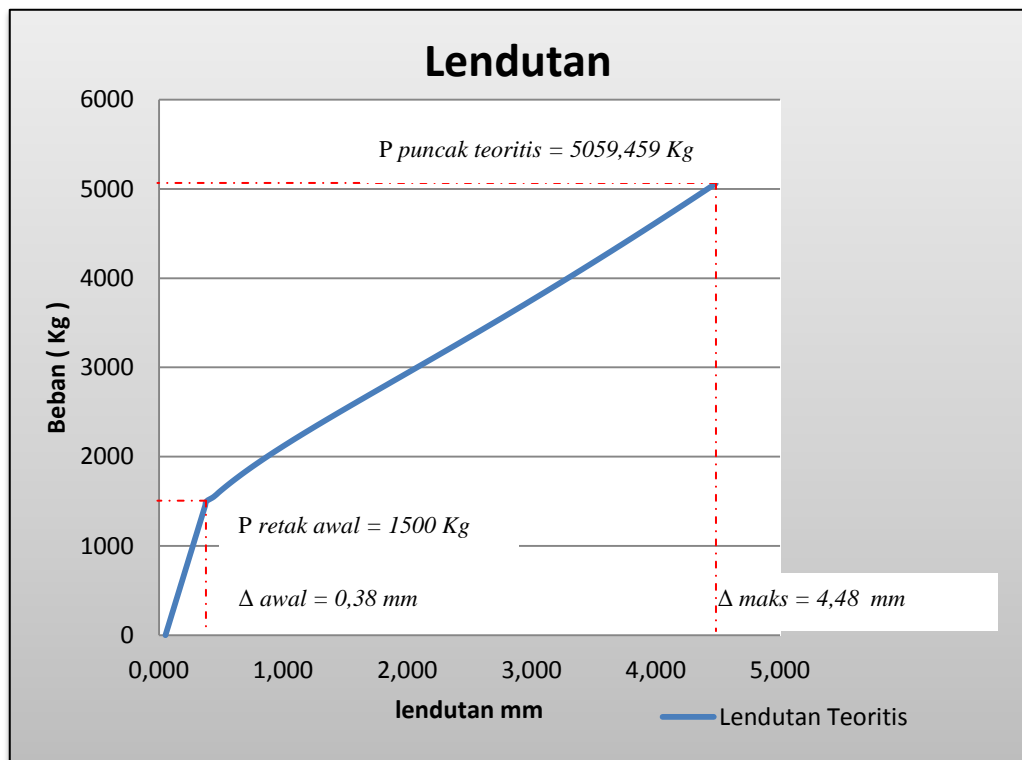
$P$  = beban terpusat (kg)

$ln$  = 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)



**Gambar 3.9 Hubungan Beban – Lendutan Teoritis**

Kurva beban – lendutan balok beton yang terlihat pada gambar 3.9 diatas adalah hasil analisis teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka – angka pada tabel 3.4 yaitu angka – angka pada kolom 12 untuk arah

horizontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertical (beban). Dari grafik didapatkan P awal retak terjadi pada beban 1500 Kg sedangkan lendutan awal 0,38 mm dan P puncak teoritis sebesar 5059,459 Kg dan lendutan maksimum yang terjadi adalah 4,48 mm.

### 3.6 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 3.5 Hasil Analisa Teoritis Kuat Lentur**

Beban ( Kg )	Beban ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan (Δ) (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 3.5.**

- 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 ( $\Delta$ ) mm, misalkan pada beban 10000 N :

Dimana :

$$\text{Panjang (L)} = 2200 \text{ mm}$$

$$\text{Beban merata (q)} = 1.783 \text{ N/mm}$$

$$\text{Modulus elastisitas (Ec)} = 4700\sqrt{f'_c}$$

$$= 4700\sqrt{40.415}$$

$$= 29879.322 \text{ MPa}$$

$$\text{Momen inersia efektif (Ie)} = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr}$$

$$= \left(\frac{9793151.579}{9328902.550}\right)^3 337127368,8 + \left[1 - \left(\frac{9793151.579}{9328902,6}\right)^3\right] 179731766,35$$

$$= 377498983.441 \text{ mm}^4$$

Jadi besar lendutan pada beban 10000 N adalah :



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

$$\Delta = \frac{10000(2200)^3}{48 \times 29879.322 \times 377498983.44} + \frac{5 \times 1.783 \times 2200^4}{384 \times 29879.322 \times 377498983.4}$$

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

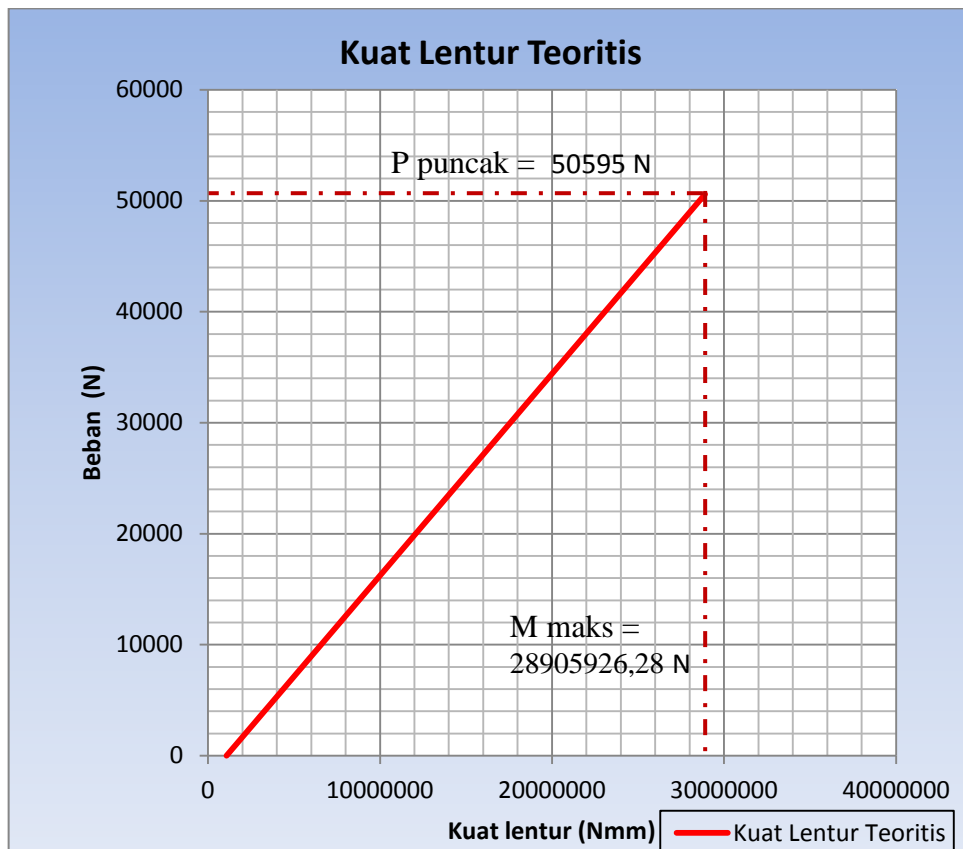
- Kolom 6

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

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

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

$$= 6578902.550 \text{ Nmm}$$



Gambar 3.10 Hubungan Beban - Kuat Lentur Teoritis

Pada grafik hubungan beban - kuat lentur balok beton yang terlihat pada Gambar 3.10 diatas adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.5 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 50594,6 N dengan besar kuat lentur 28905926,28  $Nmm$ .

### 3.7 Perhitungan Kuat Geser Teoritis

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

$$q = 1.783 \text{ N/mm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 10000\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1.783 \times 2200\right) \\ &= 8702.051 \text{ N} \end{aligned}$$

**Tabel 3.6 Kuat Geser Teoritis**

Beban ( Kg )	Beban ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( $\Delta$ ) (mm)	Kuat Geser (N)
1	2	3	4	5	6
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

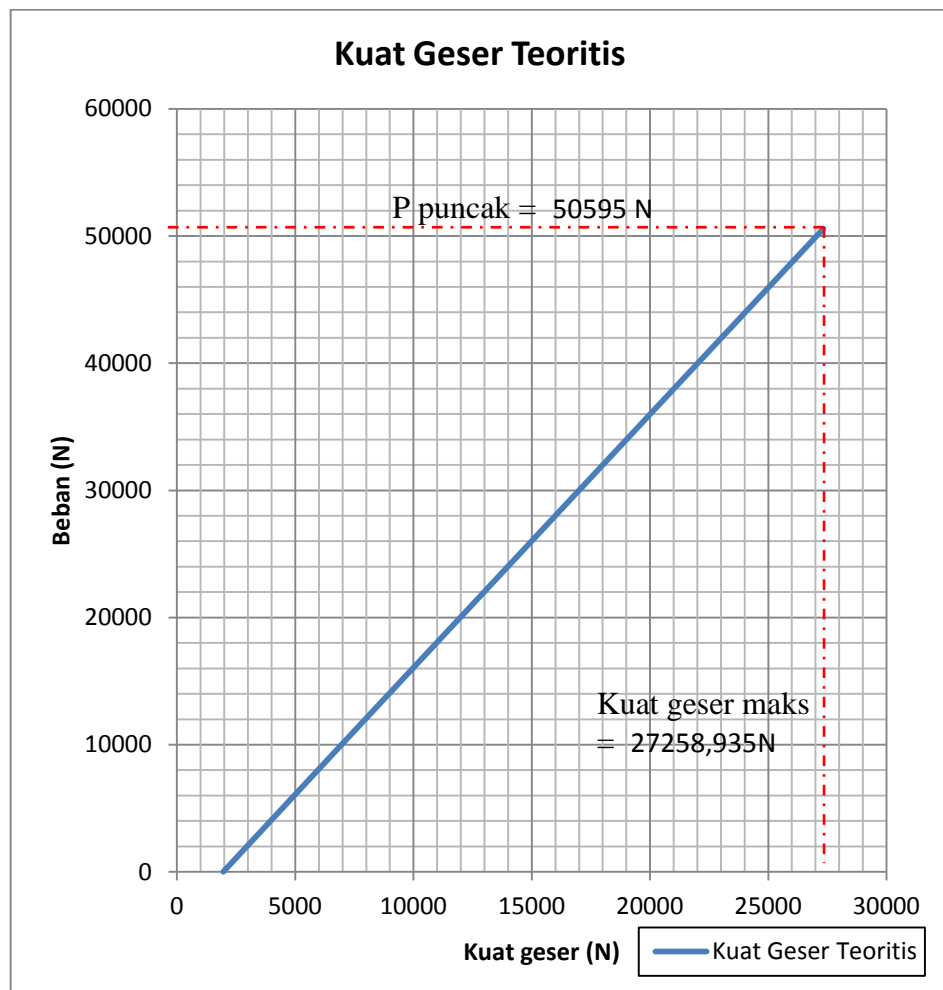
300	3000	1,78331	2200	0,120	3461,641
350	3500	1,78331	2200	0,131	3711,641
400	4000	1,78331	2200	0,142	3961,641
450	4500	1,78331	2200	0,153	4211,641
500	5000	1,78331	2200	0,164	4461,641
550	5500	1,78331	2200	0,175	4711,641
600	6000	1,78331	2200	0,186	4961,641
650	6500	1,78331	2200	0,197	5211,641
700	7000	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	2200	0,318	7961,641
1250	12500	1,78331	2200	0,329	8211,641
1300	13000	1,78331	2200	0,340	8461,641
1350	13500	1,78331	2200	0,351	8711,641
1400	14000	1,78331	2200	0,362	8961,641
1450	14500	1,78331	2200	0,373	9211,641
1500	15000	1,78331	2200	0,384	9461,641
1550	15500	1,78331	2200	0,442	9711,641
1600	16000	1,78331	2200	0,483	9961,641
1650	16500	1,78331	2200	0,526	10211,641
1700	17000	1,78331	2200	0,571	10461,641
1750	17500	1,78331	2200	0,617	10711,641
1800	18000	1,78331	2200	0,665	10961,641
1850	18500	1,78331	2200	0,715	11211,641
1900	19000	1,78331	2200	0,766	11461,641
1950	19500	1,78331	2200	0,818	11711,641
2000	20000	1,78331	2200	0,872	11961,641
2050	20500	1,78331	2200	0,926	12211,641
2100	21000	1,78331	2200	0,982	12461,641
2150	21500	1,78331	2200	1,039	12711,641
2200	22000	1,78331	2200	1,096	12961,641
2250	22500	1,78331	2200	1,155	13211,641
2300	23000	1,78331	2200	1,214	13461,641
2350	23500	1,78331	2200	1,273	13711,641

2400	24000	1,78331	2200	1,334	13961,641
2450	24500	1,78331	2200	1,395	14211,641
2500	25000	1,78331	2200	1,456	14461,641
2550	25500	1,78331	2200	1,517	14711,641
2600	26000	1,78331	2200	1,579	14961,641
2650	26500	1,78331	2200	1,641	15211,641
2700	27000	1,78331	2200	1,703	15461,641
2750	27500	1,78331	2200	1,766	15711,641
2800	28000	1,78331	2200	1,828	15961,641
2850	28500	1,78331	2200	1,891	16211,641
2900	29000	1,78331	2200	1,953	16461,641
2950	29500	1,78331	2200	2,016	16711,641
3000	30000	1,78331	2200	2,079	16961,641
3050	30500	1,78331	2200	2,141	17211,641
3100	31000	1,78331	2200	2,203	17461,641
3150	31500	1,78331	2200	2,266	17711,641
3200	32000	1,78331	2200	2,328	17961,641
3250	32500	1,78331	2200	2,390	18211,641
3300	33000	1,78331	2200	2,451	18461,641
3350	33500	1,78331	2200	2,513	18711,641
3400	34000	1,78331	2200	2,574	18961,641
3450	34500	1,78331	2200	2,635	19211,641
3500	35000	1,78331	2200	2,696	19461,641
3550	35500	1,78331	2200	2,757	19711,641
3600	36000	1,78331	2200	2,817	19961,641
3650	36500	1,78331	2200	2,878	20211,641
3700	37000	1,78331	2200	2,938	20461,641
3750	37500	1,78331	2200	2,997	20711,641
3800	38000	1,78331	2200	3,057	20961,641
3850	38500	1,78331	2200	3,116	21211,641
3900	39000	1,78331	2200	3,175	21461,641
3950	39500	1,78331	2200	3,234	21711,641
4000	40000	1,78331	2200	3,293	21961,641
4050	40500	1,78331	2200	3,351	22211,641
4100	41000	1,78331	2200	3,409	22461,641
4150	41500	1,78331	2200	3,467	22711,641
4200	42000	1,78331	2200	3,525	22961,641
4250	42500	1,78331	2200	3,582	23211,641
4300	43000	1,78331	2200	3,639	23461,641
4350	43500	1,78331	2200	3,696	23711,641
4400	44000	1,78331	2200	3,753	23961,641
4450	44500	1,78331	2200	3,809	24211,641

4500	45000	1,78331	2200	3,866	24461,641
4550	45500	1,78331	2200	3,922	24711,641
4600	46000	1,78331	2200	3,977	24961,641
4650	46500	1,78331	2200	4,033	25211,641
4700	47000	1,78331	2200	4,089	25461,641
4750	47500	1,78331	2200	4,144	25711,641
4800	48000	1,78331	2200	4,199	25961,641
4850	48500	1,78331	2200	4,254	26211,641
4900	49000	1,78331	2200	4,309	26461,641
4950	49500	1,78331	2200	4,363	26711,641
5000	50000	1,78331	2200	4,418	26961,641
5050	50500	1,78331	2200	4,472	27211,641
5059,459	50595	1,78331	2200	4,482	27258,935

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.6.

- Kolom 1  
Beban ( P ) Kg
- Kolom 2  
Beban (P) N
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( l ) mm
- Kolom 5  
Lendutan (  $\Delta$  ) mm
- Kolom 6  
Kuat Geser ( N )



**Gambar 3.11 Hubungan Beban - Kuat Geser Teoritis**

Grafik hubungan beban – kuat geser balok beton yang terlihat pada gambar 3.11 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.6 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser  $N$ ) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban  $N$ ). Sedangkan terlihat pada beban puncak 50595 N dengan besar kuat geser 27258,935 N.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisis Eksperimen Lendutan

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

- 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 (  $f_c'$  ) : 40, 415 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 7,5$  (  $f_y$  ) : 461 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 4,5$  (  $f_y$  ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok :  $\varnothing 7,5$  mm
- Tulangan sengkang :  $\varnothing 4,5$  mm

##### 4.1.1. Balok T Tanpa Sambungan Beton

###### 4.1.1.1 Balok T Tanpa Sambungan A (*BTS-A*)

Mekanisme keruntuhan balok T tanpa sambungan pada beton dan tulangan BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1543,08 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 1,70 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban

tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 10,07 \text{ mm}$ . 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)**

<b>Benda uji</b>		<b>BTS-A</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>09/01/2015</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	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
55 Pmax	2975,94	32,72	10,07
56	2920,83	33,19	10,54
57	2810,61	33,54	10,89

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.1**.

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

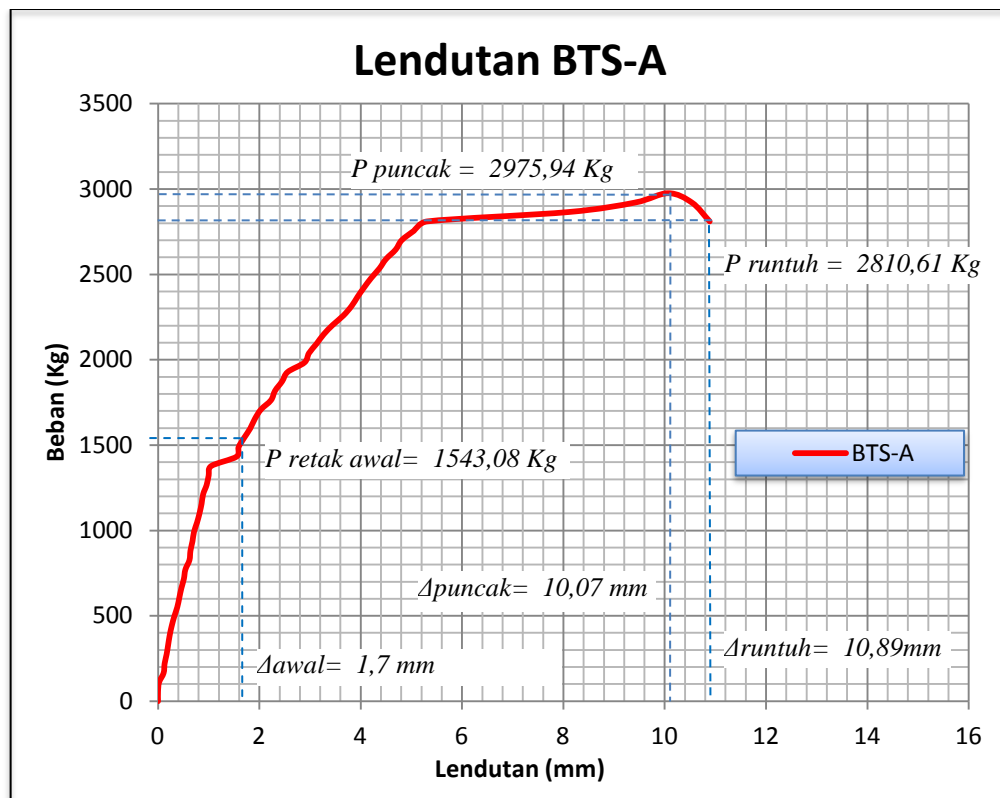
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 57 )



**Gambar 4.1 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan A (BTS-A)**

Pada grafik hubungan beban lendutan pada balok tanpa sambungan beton dengan tulangan A ( BTS – A ) yang terlihat pada Grafik 4.1 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan pada grafik dengan cara menghubungkan nilai-nilai yang tertera pada tabel 4.1 diatas, yaitu kolom lendutan dan kolom 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 10.89 mm.



**Gambar 4.2 Pengujian Benda Uji Balok Tanpa Sambungan A ( BTS – A )**

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



**Gambar 4.3 Retak Yang Terjadi Pada Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS-A )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal.

Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail yang didahului dengan timbulnya lendutan yang besar digunakan sebagai pertanda.

#### 4.1.1.2 Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B)

Mekanisme keruntuhan balok T tanpa sambungan pada beton dan tulangan BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1212,42 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 1,45 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975,94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 5,40 \text{ mm}$ . 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 Sambungan B (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

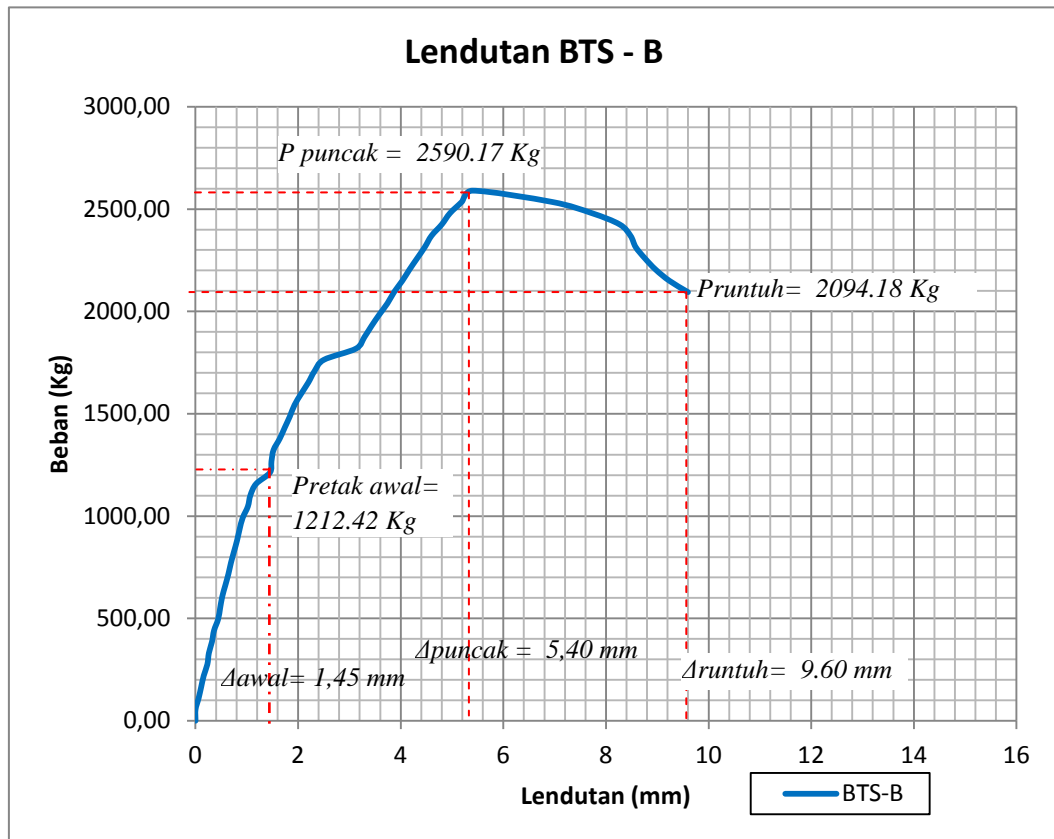
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 57 )



**Gambar 4.4 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B)**

Pada grafik 4.2 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T tanpa sambungan beton dan tulangan B ( BTS – B ) dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.2 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

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

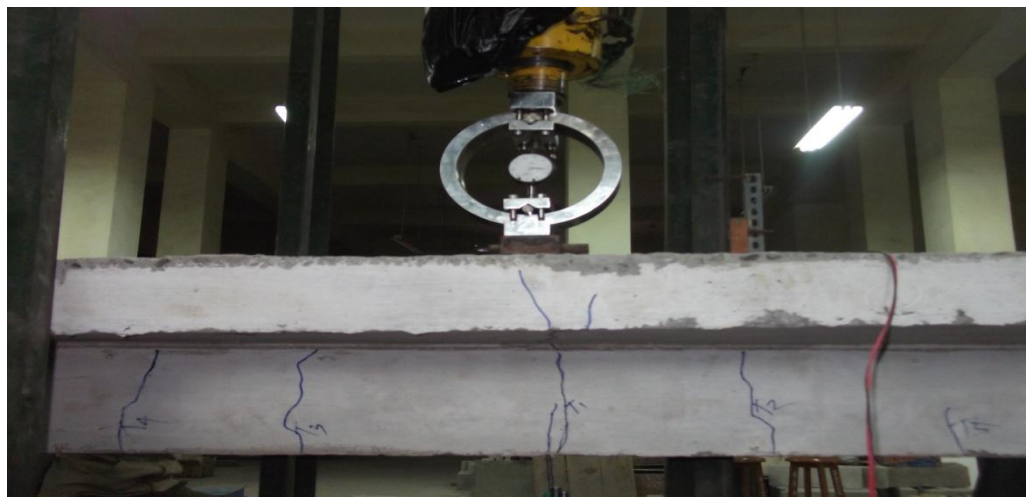


lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 5.40 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2094.18 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 9.60 mm.



**Gambar 4.5 Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan B ( BTS-B )**

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



**Gambar 4.6 Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan B ( BTS-B )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### 4.1.1.3 Balok Tanpa Sambungan C (BTS-C)

Mekanisme keruntuhan balok T tanpa sambungan pada beton dan tulangan BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1708,41 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 1,61 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2755,5 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 6,26 \text{ mm}$ . 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 Sambungan C (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

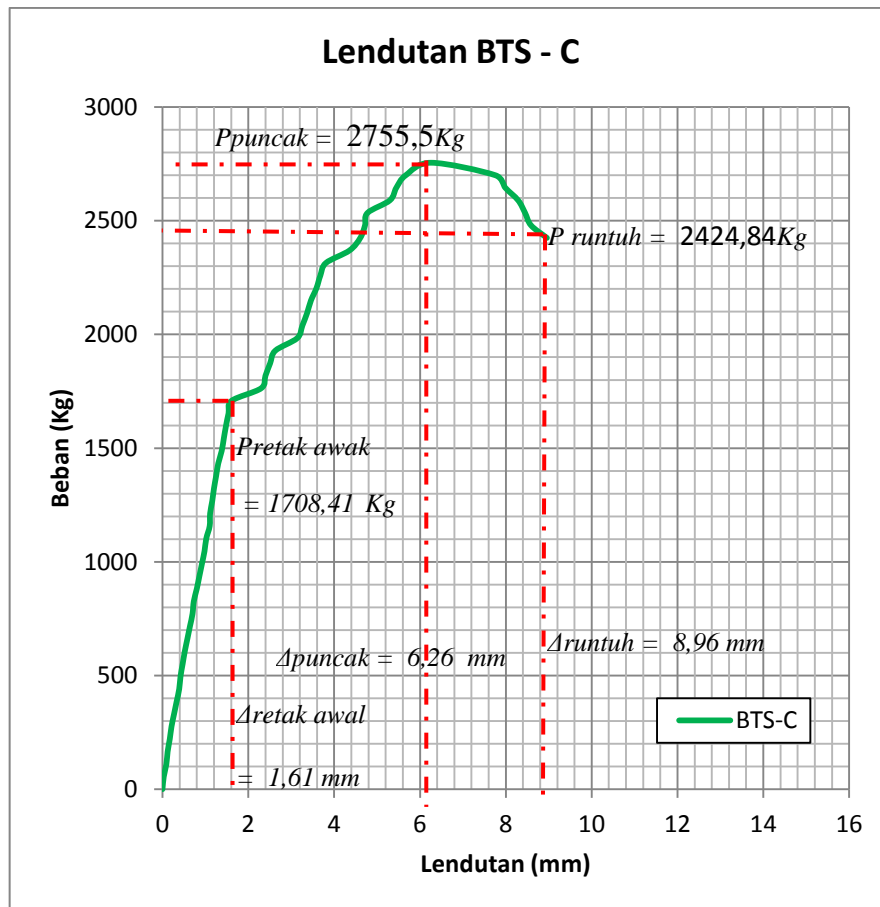
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.7 Hubungan Beban – Lendutan Balok Tanpa Sambungan C (BTS-C)**

Pada grafik 4.3 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T tanpa sambungan beton dan tulangan C ( BTS – C ) dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.2 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

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 4.8 Benda Uji Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan C (BTS-C)**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1,9$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4.9 Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan Beton dan Tulangan C  
(BTS-C)**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### **4.1.1.4 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.

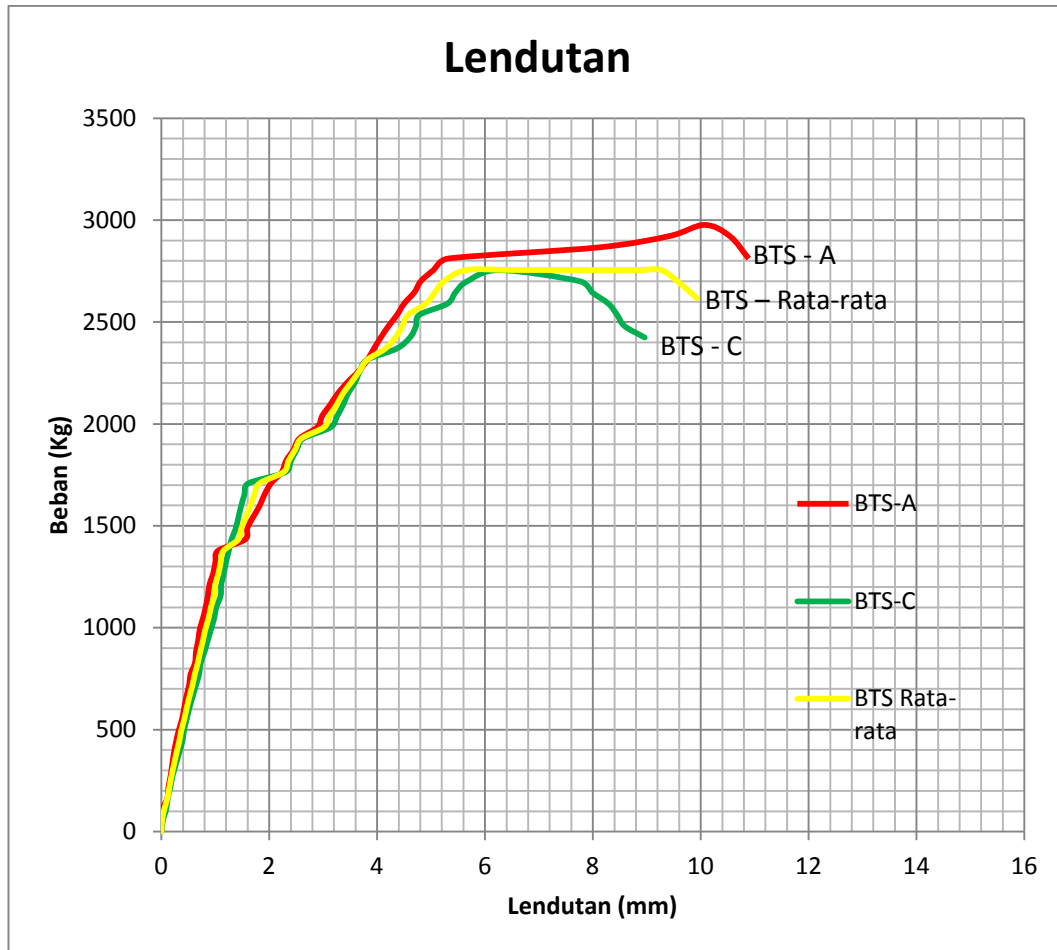
**Tabel 4.4 Hubungan Beban – Lendutan BTS A,C, dan Rata-Rata**

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.



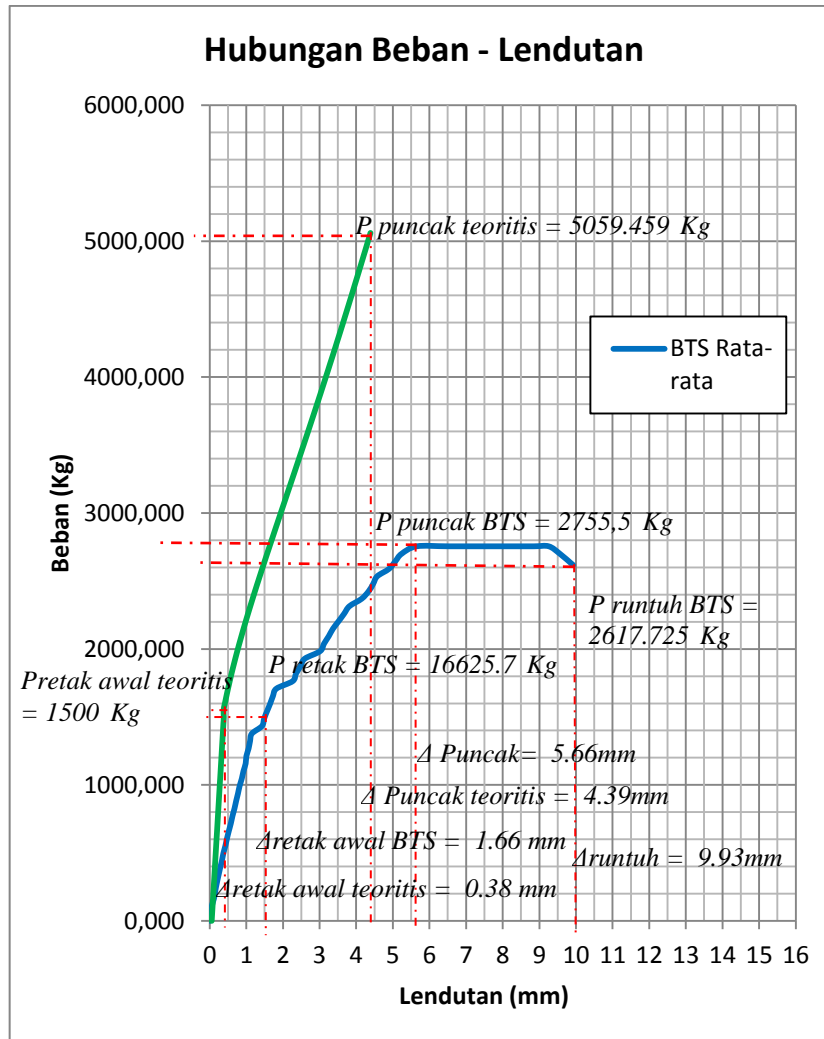
**Gambar 4.10 Hubungan Beban – Lendutan BTS A,B,C, dan Rata-rata BTS**

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 ,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.



**Gambar 4.11. 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 perbedan yaitu balok T tanpa sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban ( P ) = 1625.75 Kg serta lendutan yang terjadi ( Δ ) = 1.66 mm. Beban puncak yang terjadi pada BTS rata-rata terjadi pada beban ( P ) =2755.5 Kg serta lenduta yang terjadi ( Δ ) = 5.66 mm. Sedangkan balok T tanpa sambungan rata-rata mengalami runtuh pada beban ( P ) = 2617.725 Kg dan lendutan yang terjadi ( Δ ) = 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 ( 1/4 ) Bentang

##### 4.1.2.1 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang A(B-1/4 A )

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan 1/6 Bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 881.76 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 0.56 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2865.72 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 4.38 \text{ mm}$ . 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 4.5. di bawah ini.

**Tabel 4.5 Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/4 Bentang A**

Benda uji		B 1/4 - A	
Tanggal pengujian		12/01/2015	
Letak LVDT		1/4 B	
No.	Beban ( Kg )	Bacaan MVD	Defleksi ( mm )
1	2	3	4
1	0	25,70	0,00
2	55,11	25,70	0,00
3	110,22	25,73	0,03
4	165,33	25,74	0,04
5	220,44	25,76	0,06
6	275,55	25,80	0,10
7	330,66	25,81	0,11

8	385,77	25,82	0,12
9	440,88	25,86	0,16
10	495,99	25,91	0,21
11	551,1	25,94	0,24
12	606,21	25,99	0,29
13	661,32	26,05	0,35
14	716,43	26,09	0,39
15	771,54	26,16	0,46
16	826,65	26,27	0,57
17 Retak awal	881,76	26,26	0,56
18	936,87	26,35	0,65
19	991,98	26,35	0,65
20	1047,09	26,38	0,68
21	1102,2	26,43	0,73
22	1157,31	26,49	0,79
23	1212,42	26,55	0,85
24	1267,53	26,60	0,90
25	1322,64	26,61	0,91
26	1377,75	26,82	1,12
27	1432,86	26,90	1,20
28	1487,97	27,03	1,33
29	1543,08	27,07	1,37
30	1598,19	27,07	1,37
31	1653,3	27,16	1,46
32	1708,41	27,26	1,56
33	1763,52	27,28	1,58
34	1818,63	27,35	1,65
35	1873,74	27,56	1,86
36	1928,85	27,70	2,00
37	1983,96	27,79	2,09
38	2039,07	27,86	2,16
39	2094,18	28,06	2,36
40	2149,29	28,21	2,51
41	2204,4	28,41	2,71
42	2259,51	28,54	2,84
43	2314,62	28,64	2,94
44	2369,73	28,75	3,05
45	2424,84	28,78	3,08

46	2479,95	28,86	3,16
47	2535,06	28,97	3,27
48	2590,17	29,16	3,46
49	2645,28	29,38	3,68
50	2700,39	29,52	3,82
51	2755,5	29,71	4,01
52	2810,61	29,85	4,15
53 Pmax	2865,72	30,08	4,38
54	2810,61	30,47	4,77
55	2755,5	30,52	4,82
56	2700,39	30,73	5,03

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.5.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

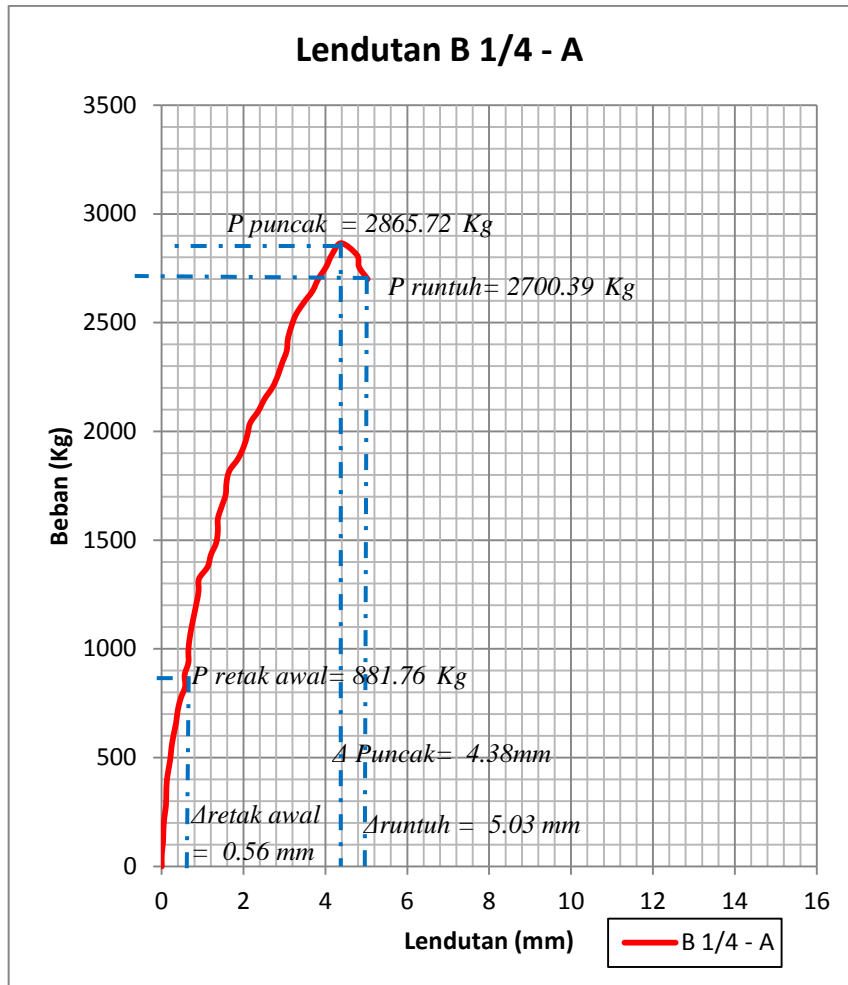
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.12 hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan (1/4) A**

Pada grafik 4.6 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.5 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.3 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 881.76 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 0.56 mm. Nilai pada saat beban puncak atau  $P_{\text{puncak}} = 2865.72$  Kg dan lendutan yang terjadi pada saat  $P_{\text{puncak}} = 4.38$  mm. Sedangkan Balok T



mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2700.39 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 5.03 mm.



**Gambar 4.13 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4.14 Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 ( A )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### 4.1.2.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang B (B- $\frac{1}{4}$ B )

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan  $\frac{1}{6}$  Bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1487.97 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 2.13 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2755.5 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 6.18 \text{ mm}$ . 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 4.6. di bawah ini.

**Tabel 4.6 Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton Dan Tulangan Jarak  $\frac{1}{4}$  Bentang B**

Benda uji		B 1/4 - B	
Tanggal pengujian		14/01/2015	
Letak LVDT		1/2 B	
No.	Beban	Bacaan	Defleksi
	( Kg )	MVD	( mm )
1	2	3	4
1	0	17,88	0,00
2	55,11	17,88	0,00
3	110,22	17,94	0,06
4	165,33	17,99	0,11

5	220,44	18,08	0,20
6	275,55	18,17	0,29
7	330,66	18,26	0,38
8	385,77	18,41	0,53
9	440,88	18,46	0,58
10	495,99	18,50	0,62
11	551,1	18,54	0,66
12	606,21	18,56	0,68
13	661,32	18,63	0,75
14	716,43	18,76	0,88
15	771,54	18,79	0,91
16	826,65	18,85	0,97
17	881,76	18,93	1,05
18	936,87	19,02	1,14
19	991,98	19,07	1,19
20	1047,09	19,13	1,25
21	1102,2	19,20	1,32
22	1157,31	19,27	1,39
23	1212,42	19,37	1,49
24	1267,53	19,43	1,55
25	1322,64	19,57	1,69
26	1377,75	19,59	1,71
27	1432,86	19,68	1,80
28	1487,97	20,01	2,13
29	1543,08	20,22	2,34
30	1598,19	20,37	2,49
31	1653,3	20,54	2,66
32	1708,41	20,70	2,82
33	1763,52	20,85	2,97
34	1818,63	20,95	3,07
35	1873,74	21,02	3,14
36	1928,85	21,25	3,37
37	1983,96	21,38	3,50
38	2039,07	21,49	3,61
39	2094,18	21,64	3,76
40	2149,29	21,73	3,85
41	2204,4	21,91	4,03
42	2259,51	22,07	4,19
43	2314,62	22,21	4,33

44	2369,73	22,41	4,53
45	2424,84	22,52	4,64
46	2479,95	22,68	4,80
47	2535,06	22,88	5,00
48	2590,17	23,22	5,34
49	2645,28	23,58	5,70
50	2700,39	23,85	5,97
51	2755,5	24,06	6,18
52	2700,39	25,20	7,32
53	2645,28	25,54	7,66
54	2590,17	25,68	7,80
55	2535,06	25,84	7,96
56	2479,95	26,05	8,17

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.6.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

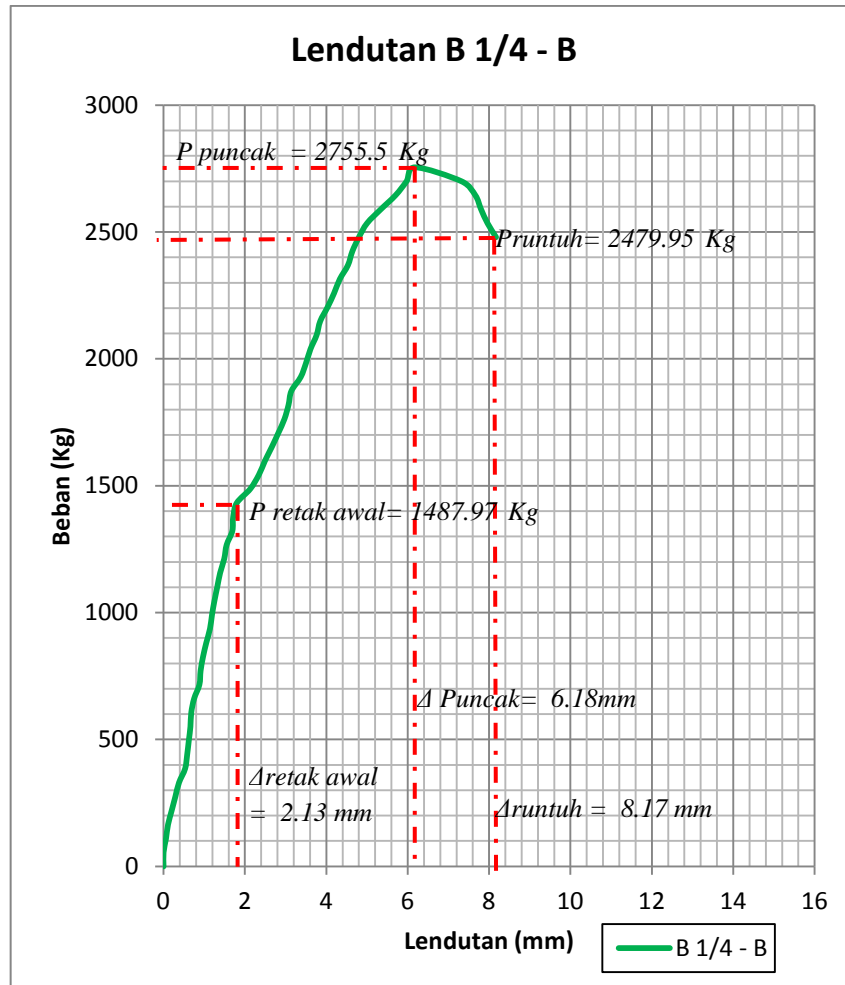
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.15 Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B**

Pada Gambar 4.15 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.6 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.6 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1487.97 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 2.13 mm. Nilai pada saat beban puncak atau  $P_{puncak}$  = 2755.5 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat  $P_{puncak}$  = 6.18 mm. Sedangkan Balok T

mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2479.95 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 8.17 mm.



**Gambar 4.16 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1,3$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4. 17 Pola Retak Balok T Denagan Jarak Sambungan 1/4 ( B )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### 4.1.2.3 Balok T Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ Bentang C (B-1/4 C )

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan  $\frac{1}{6}$  Bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1653.3 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 1.03 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975.94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 3.66 \text{ mm}$ . 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. di bawah ini.

**Tabel 4.7 Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak  $\frac{1}{4}$  Bentang C**

Benda uji		B 1/4 - C	
Tanggal pengujian		15/01/2015	
Letak LVDT		1/4 B	
No.	Beban ( Kg )	Bacaan MVD	Defleksi ( mm )
1	2	3	4
1	0	23,00	0,00
2	55,11	23,00	0,00
3	110,22	23,02	0,02
4	165,33	23,09	0,09

5	220,44	23,09	0,09
6	275,55	23,12	0,12
7	330,66	23,15	0,15
8	385,77	23,19	0,19
9	440,88	23,21	0,21
10	495,99	23,26	0,26
11	551,1	23,29	0,29
12	606,21	23,36	0,36
13	661,32	23,37	0,37
14	716,43	23,39	0,39
15	771,54	23,44	0,44
16	826,65	23,46	0,46
17	881,76	23,49	0,49
18	936,87	23,53	0,53
19	991,98	23,57	0,57
20	1047,09	23,61	0,61
21	1102,2	23,64	0,64
22	1157,31	23,65	0,65
23	1212,42	23,68	0,68
24	1267,53	23,74	0,74
25	1322,64	23,81	0,81
26	1377,75	23,81	0,81
27	1432,86	23,85	0,85
28	1487,97	23,89	0,89
29	1543,08	23,92	0,92
30	1598,19	23,98	0,98
31 Retak awal	1653,3	24,03	1,03
32	1708,41	24,24	1,24
33	1763,52	24,31	1,31
34	1818,63	24,35	1,35
35	1873,74	24,39	1,39
36	1928,85	24,45	1,45
37	1983,96	24,50	1,50
38	2039,07	24,56	1,56
39	2094,18	24,59	1,59
40	2149,29	24,65	1,65
41	2204,4	24,72	1,72
42	2259,51	25,01	2,01



43	2314,62	25,11	2,11
44	2369,73	25,26	2,26
45	2424,84	25,46	2,46
46	2479,95	25,55	2,55
47	2535,06	25,65	2,65
48	2590,17	25,72	2,72
49	2645,28	25,84	2,84
50	2700,39	25,92	2,92
51	2755,5	26,03	3,03
52	2810,61	26,12	3,12
53	2865,72	26,28	3,28
54	2920,83	26,52	3,52
55 Pmax	2975,94	26,66	3,66
56	2865,72	26,93	3,93

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.7.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

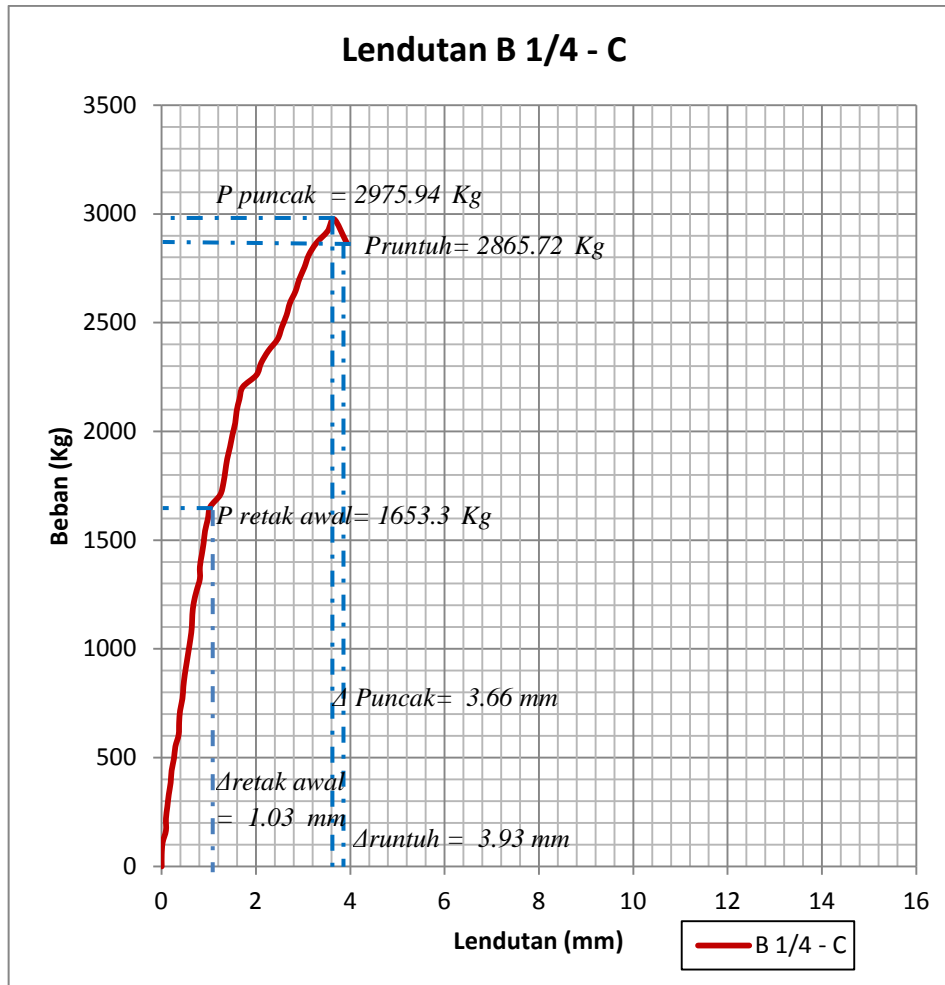
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.18** hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan (1/4) C

Pada Gambar 4.18 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.7 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

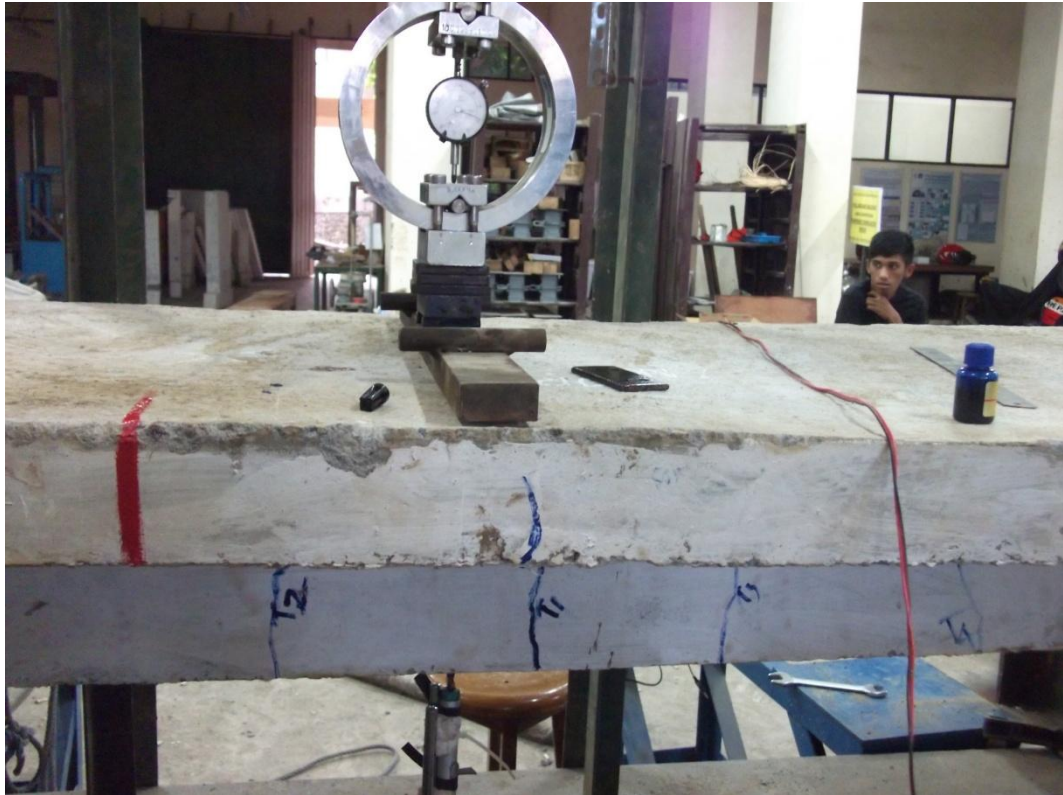
Seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1653.3 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.03 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2975.94 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 3.66 mm. Sedangkan Balok T

mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2865.72 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 3.93 mm.



**Gambar 4.19 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1,5$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4.20 Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan  $1/4$  ( C )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### 4.1.2.4 Gabungan Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan

##### 1/4 Bentang

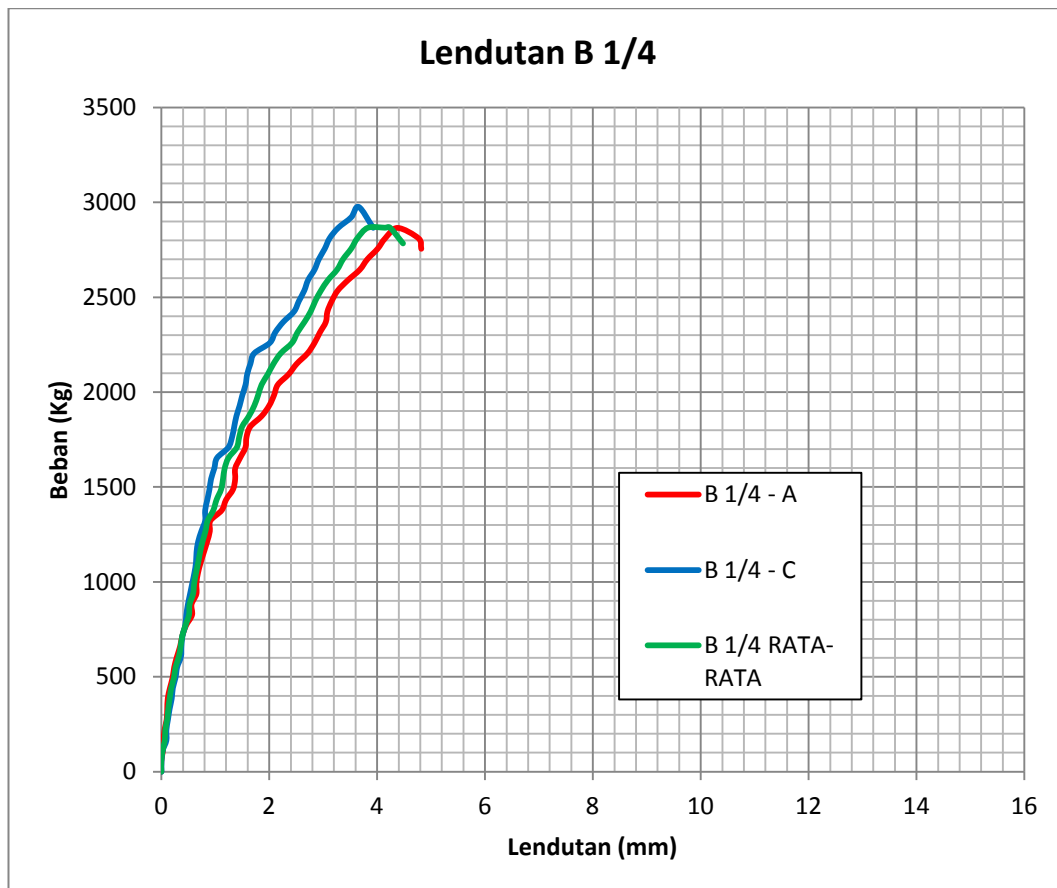
Tabel 4.8. di bawah ini merupakan gabungan dari hubungan beban dan lendutan Balok Tanpa Sambungan (B-1/4) A, B, dan C. Dan kemudian dari hasil ketiga benda uji ini, diambil nilai beban dan lendutan rata – ratanya.

**Tabel 4.8 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/4 Bentang A ,C dan Rata-Rata**

No.	Beban (Kg)		Defleksi (mm)		Rata-rata	
	Balok 1/4 A	Balok 1/4 C	Balok 1/4 A	Balok 1/4 C	Beban ( Kg )	Lendutan ( mm )
1	2	4	5	7	8	9
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
2	55,11	55,11	0,00	0,00	55,11	0,00
3	110,22	110,22	0,03	0,02	110,22	0,03
4	165,33	165,33	0,04	0,09	165,33	0,06
5	220,44	220,44	0,06	0,09	220,44	0,08
6	275,55	275,55	0,10	0,12	275,55	0,11
7	330,66	330,66	0,11	0,15	330,66	0,13
8	385,77	385,77	0,12	0,19	385,77	0,16
9	440,88	440,88	0,16	0,21	440,88	0,19
10	495,99	495,99	0,21	0,26	495,99	0,24
11	551,10	551,10	0,24	0,29	551,1	0,27
12	606,21	606,21	0,29	0,36	606,21	0,32
13	661,32	661,32	0,35	0,37	661,32	0,36
14	716,43	716,43	0,39	0,39	716,43	0,39
15	771,54	771,54	0,46	0,44	771,54	0,45
16	826,65	826,65	0,57	0,46	826,65	0,52
17	881,76	881,76	0,56	0,49	881,76	0,53
18	936,87	936,87	0,65	0,53	936,87	0,59
19	991,98	991,98	0,65	0,57	991,98	0,61
20	1047,09	1047,09	0,68	0,61	1047,09	0,65
21	1102,20	1102,20	0,73	0,64	1102,2	0,69
22	1157,31	1157,31	0,79	0,65	1157,31	0,72
23	1212,42	1212,42	0,85	0,68	1212,42	0,77
24	1267,53	1267,53	0,90	0,74	1267,53	0,82
25	1322,64	1322,64	0,91	0,81	1322,64	0,86

26	1377,75	1377,75	1,12	0,81	1377,75	0,97
27	1432,86	1432,86	1,20	0,85	1432,86	1,03
28	1487,97	1487,97	1,33	0,89	1487,97	1,11
29	1543,08	1543,08	1,37	0,92	1543,08	1,15
30	1598,19	1598,19	1,37	0,98	1598,19	1,18
31	1653,30	1653,30	1,46	1,03	1653,3	1,25
32	1708,41	1708,41	1,56	1,24	1708,41	1,40
33	1763,52	1763,52	1,58	1,31	1763,52	1,45
34	1818,63	1818,63	1,65	1,35	1818,63	1,50
35	1873,74	1873,74	1,86	1,39	1873,74	1,63
36	1928,85	1928,85	2,00	1,45	1928,85	1,73
37	1983,96	1983,96	2,09	1,50	1983,96	1,80
38	2039,07	2039,07	2,16	1,56	2039,07	1,86
39	2094,18	2094,18	2,36	1,59	2094,18	1,98
40	2149,29	2149,29	2,51	1,65	2149,29	2,08
41	2204,40	2204,40	2,71	1,72	2204,4	2,22
42	2259,51	2259,51	2,84	2,01	2259,51	2,43
43	2314,62	2314,62	2,94	2,11	2314,62	2,53
44	2369,73	2369,73	3,05	2,26	2369,73	2,66
45	2424,84	2424,84	3,08	2,46	2424,84	2,77
46	2479,95	2479,95	3,16	2,55	2479,95	2,86
47	2535,06	2535,06	3,27	2,65	2535,06	2,96
48	2590,17	2590,17	3,46	2,72	2590,17	3,09
49	2645,28	2645,28	3,68	2,84	2645,28	3,26
50	2700,39	2700,39	3,82	2,92	2700,39	3,37
51	2755,50	2755,50	4,01	3,03	2755,5	3,52
52	2810,61	2810,61	4,15	3,12	2810,61	3,64
53	2865,72	2865,72	4,38	3,28	2865,72	3,83
54	2810,61	2920,83	4,77	3,52	2865,72	4,15
55	2755,50	2975,94	4,82	3,66	2865,72	4,24
56	2700,39	2865,72	5,03	3,93	2783,06	4,48

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.



**Gambar 4.21 Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4) A, B,C dan (B-1/4) Rata-rata**

Berdasarkan bentuk gambar 4.21 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 T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang A mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2865.72 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2700.39 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 5.03 mm.
2. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang B mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2755.5 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2479.95 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 8.17 mm.
3. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang rata-rata mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2865.72 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2783.06 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 3.83 mm.

#### **4.1.3. Hasil Lendutan Pada Tengah Bentang Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan ( $\frac{1}{4}$ ) Bentang**

##### **4.1.3.1 Balok T Dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{4}$ (B- $\frac{1}{4}$ ) A**

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan  $\frac{1}{4}$  Bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 881.76 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 0.28 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2865.72 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 2.38 \text{ mm}$ . 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 4.9. di bawah ini.



**Tabel 4.9 Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak  $\frac{1}{4}$  Bentang A**

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/4 - 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	13,80	0,00
2	55,11	13,81	0,01
3	110,22	13,83	0,03
4	165,33	13,86	0,06
5	220,44	13,84	0,04
6	275,55	13,86	0,06
7	330,66	13,86	0,06
8	385,77	13,90	0,10
9	440,88	13,88	0,08
10	495,99	13,93	0,13
11	551,1	13,91	0,11
12	606,21	13,94	0,14
13	661,32	13,99	0,19
14	716,43	13,99	0,19
15	771,54	14,02	0,22
16	826,65	14,05	0,25
17 Retak awal	881,76	14,08	0,28
18	936,87	14,12	0,32
19	991,98	14,13	0,33
20	1047,09	14,12	0,32
21	1102,2	14,16	0,36
22	1157,31	14,17	0,37
23	1212,42	14,24	0,44
24	1267,53	14,27	0,47
25	1322,64	14,29	0,49
26	1377,75	14,37	0,57
27	1432,86	14,43	0,63

28	1487,97	14,46	0,66
29	1543,08	14,53	0,73
30	1598,19	14,54	0,74
31	1653,3	14,58	0,78
32	1708,41	14,60	0,80
33	1763,52	14,63	0,83
34	1818,63	14,67	0,87
35	1873,74	14,79	0,99
36	1928,85	14,90	1,10
37	1983,96	14,96	1,16
38	2039,07	15,01	1,21
39	2094,18	15,05	1,25
40	2149,29	15,12	1,32
41	2204,4	15,24	1,44
42	2259,51	15,34	1,54
43	2314,62	15,37	1,57
44	2369,73	15,41	1,61
45	2424,84	15,45	1,65
46	2479,95	15,46	1,66
47	2535,06	15,63	1,83
48	2590,17	15,67	1,87
49	2645,28	15,81	2,01
50	2700,39	15,96	2,16
51	2755,5	15,95	2,15
52	2810,61	16,08	2,28
53 Pmax	2865,72	16,18	2,38
54	2810,61	16,43	2,63
55	2755,5	16,72	2,92
56	2700,39	17,09	3,29

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.9.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

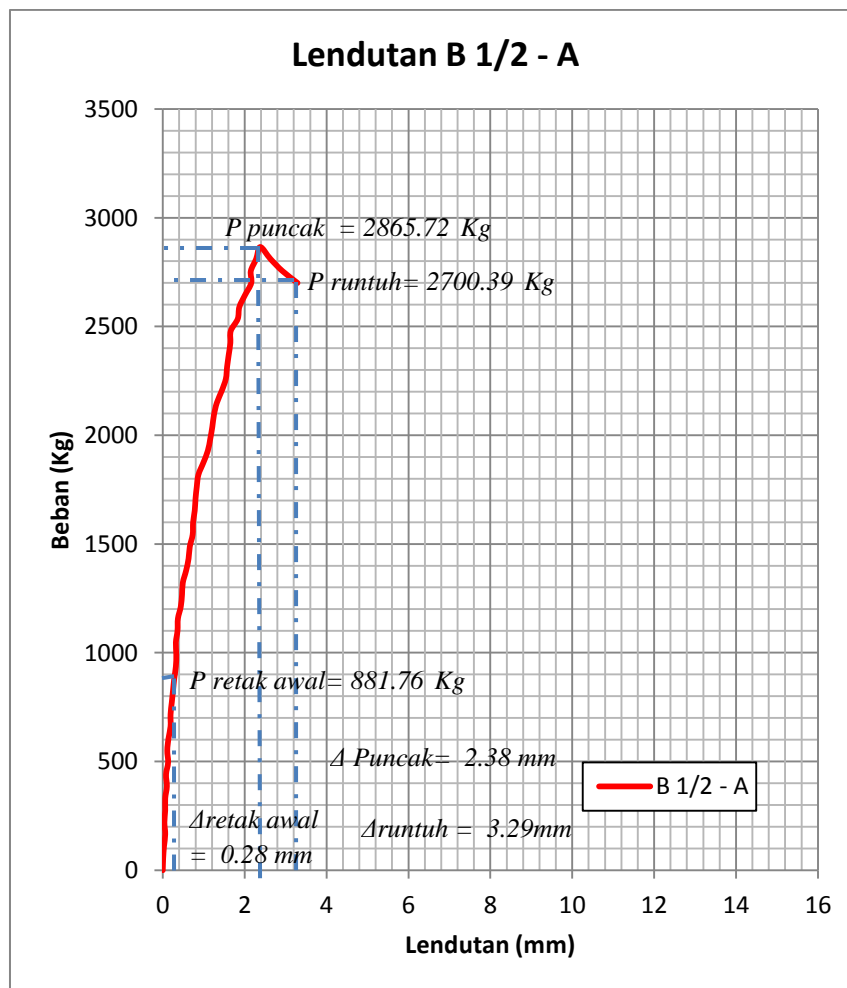
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.22 Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A**

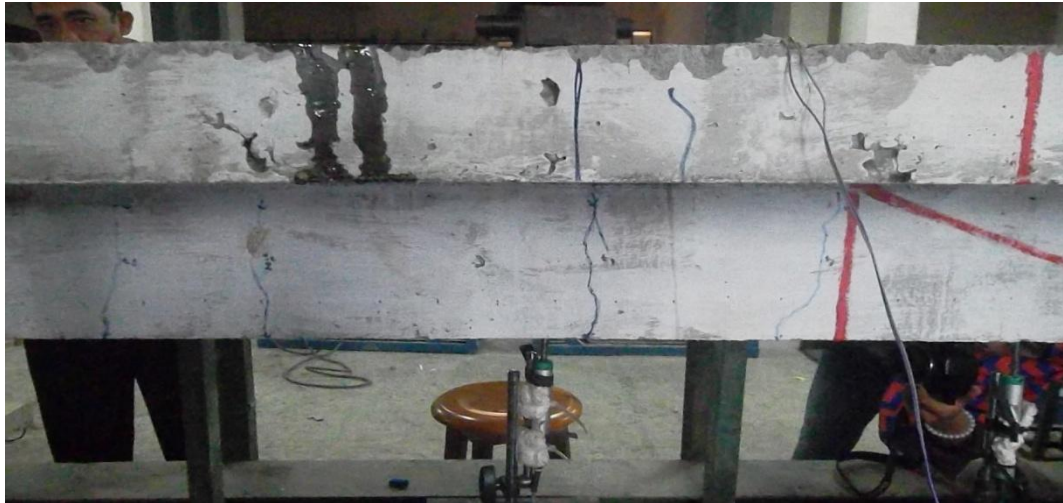
Pada Gambar 4.22 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.9 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.12 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 881.76 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 0.28 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2865.72 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 2.38 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2700.39 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 3.29 mm.



**Gambar 4.23 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) A**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4.24 Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 ( A )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat duktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### **4.1.3.2 Balok Dengan Jarak Sambungan 1/4 (B-1/4 ) B**

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan 1/4 Bentang pada tengah bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1487.97 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 0.71 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2755.5 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 2.01 \text{ mm}$ . 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 4.6. di bawah ini.

**Tabel 4.10 Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan  
Beton Dan Tulangan Jarak  $\frac{1}{4}$  Bentang B**

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/4 - B</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>14/01/2015</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	4,50	0,00
2	55,11	4,50	0,00
3	110,22	4,53	0,03
4	165,33	4,54	0,04
5	220,44	4,61	0,11
6	275,55	4,61	0,11
7	330,66	4,64	0,14
8	385,77	4,69	0,19
9	440,88	4,72	0,22
10	495,99	4,73	0,23
11	551,1	4,74	0,24
12	606,21	4,75	0,25
13	661,32	4,76	0,26
14	716,43	4,81	0,31
15	771,54	4,83	0,33
16	826,65	4,84	0,34
17	881,76	4,88	0,38
18	936,87	4,91	0,41
19	991,98	4,94	0,44
20	1047,09	4,95	0,45
21	1102,2	4,97	0,47
22	1157,31	4,99	0,49
23	1212,42	5,03	0,53
24	1267,53	5,05	0,55
25	1322,64	5,07	0,57
26	1377,75	5,10	0,60
27	1432,86	5,13	0,63
28	1487,97	5,21	0,71
Retak awal			
29	1543,08	5,27	0,77

30	1598,19	5,32	0,82
31	1653,3	5,38	0,88
32	1708,41	5,42	0,92
33	1763,52	5,46	0,96
34	1818,63	5,48	0,98
35	1873,74	5,52	1,02
36	1928,85	5,60	1,10
37	1983,96	5,63	1,13
38	2039,07	5,68	1,18
39	2094,18	5,71	1,21
40	2149,29	5,76	1,26
41	2204,4	5,80	1,30
42	2259,51	5,88	1,38
43	2314,62	5,91	1,41
44	2369,73	5,98	1,48
45	2424,84	6,01	1,51
46	2479,95	6,08	1,58
47	2535,06	6,15	1,65
48	2590,17	6,23	1,73
49	2645,28	6,34	1,84
50	2700,39	6,45	1,95
51 Pmax	2755,5	6,51	2,01
52	2700,39	6,79	2,29
53	2645,28	6,96	2,46
54	2590,17	7,13	2,63
55	2535,06	7,42	2,92
56	2479,95	7,62	3,12

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.10.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

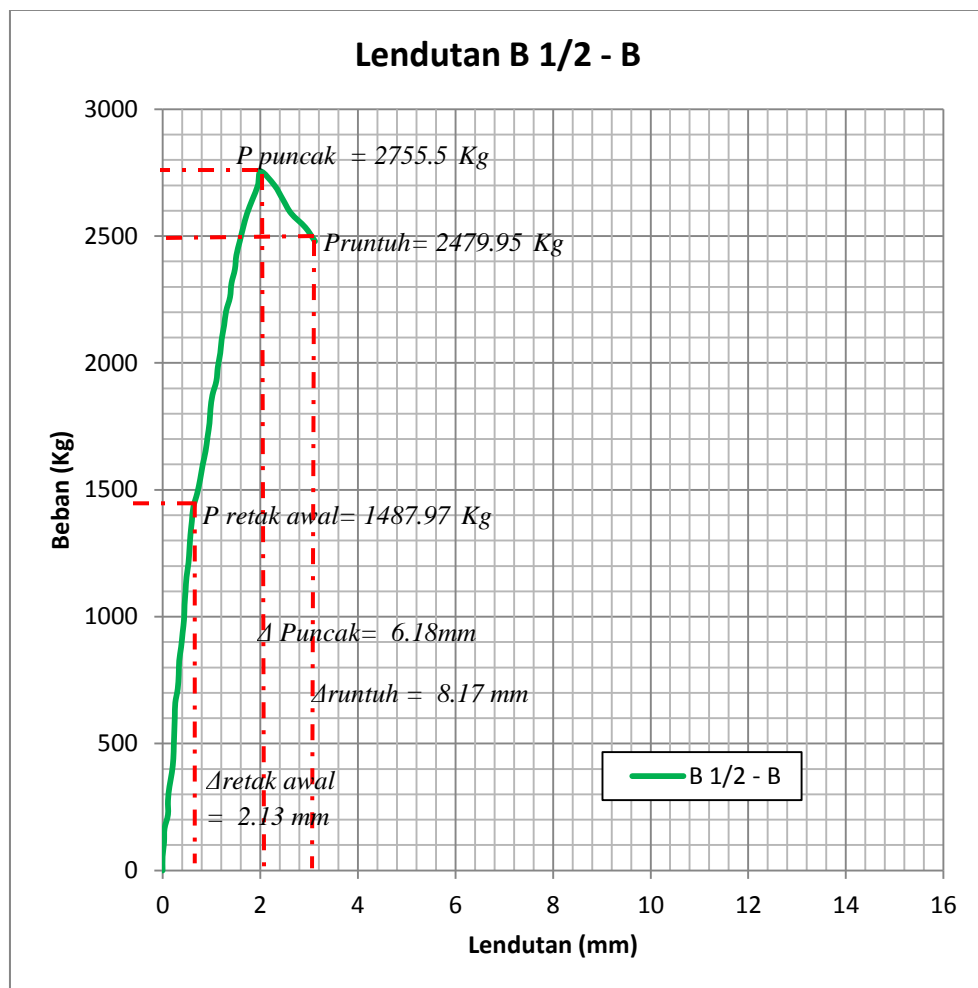
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.25 Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan**

**(1/4) B**



Pada Gambar 4.25 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.10 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.25 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1487.97 Kg dan lendutan yang tarjadi pada awal retak = 0.71 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2755.5 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 2.01 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2479.95 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 8.13.12 mm.



**Gambar 4.26 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1,3$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4. 27 Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan  $1/4$  ( B )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat daktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### **4.1.3.3 Balok Dengan Jarak Sambungan $1/4$ (B- $1/4$ ) C**

Mekanisme keruntuhan balok T dengan sambungan pada beton dan tulangan  $1/4$  Bentang Pada tengah bentang diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok T pada saat beban mencapai  $P = 1653.3 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 0.38 \text{ mm}$ , kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan  $P$  hingga beban puncak  $P = 2975.94 \text{ Kg}$  dengan besar lendutan  $\Delta = 2.50 \text{ mm}$ . 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 4.6. di bawah ini.

**Tabel 4.11 Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T  
Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak  $\frac{1}{4}$  Bentang C**

<b>Benda uji</b>		<b>B 1/4 - C</b>	
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>15/01/2015</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	16,33	0,00
2	55,11	16,34	0,01
3	110,22	16,34	0,01
4	165,33	16,34	0,01
5	220,44	16,34	0,01
6	275,55	16,35	0,02
7	330,66	16,35	0,02
8	385,77	16,35	0,02
9	440,88	16,36	0,03
10	495,99	16,39	0,06
11	551,1	16,40	0,07
12	606,21	16,39	0,06
13	661,32	16,39	0,06
14	716,43	16,38	0,05
15	771,54	16,44	0,11
16	826,65	16,42	0,09
17	881,76	16,44	0,11
18	936,87	16,45	0,12
19	991,98	16,44	0,11
20	1047,09	16,46	0,13
21	1102,2	16,48	0,15
22	1157,31	16,55	0,22
23	1212,42	16,58	0,25
24	1267,53	16,54	0,21
25	1322,64	16,57	0,24
26	1377,75	16,57	0,24
27	1432,86	16,58	0,25
28	1487,97	16,61	0,28
29	1543,08	16,63	0,30
30	1598,19	16,66	0,33

31 Retak Awal	1653,3	16,71	0,38
32	1708,41	16,85	0,52
33	1763,52	16,88	0,55
34	1818,63	16,88	0,55
35	1873,74	16,91	0,58
36	1928,85	16,94	0,61
37	1983,96	16,96	0,63
38	2039,07	17,11	0,78
39	2094,18	17,07	0,74
40	2149,29	17,06	0,73
41	2204,4	17,10	0,77
42	2259,51	17,29	0,96
43	2314,62	17,36	1,03
44	2369,73	17,44	1,11
45	2424,84	17,57	1,24
46	2479,95	17,66	1,33
47	2535,06	17,71	1,38
48	2590,17	17,74	1,41
49	2645,28	17,77	1,44
50	2700,39	17,85	1,52
51	2755,5	17,93	1,60
52	2810,61	17,98	1,65
53	2865,72	18,28	1,95
54	2920,83	18,58	2,25
55 Pmax	2975,94	18,83	2,50
56	2865,72	19,22	2,89

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.11.**

- Kolom 1

Nomor urut

- Kolom 2

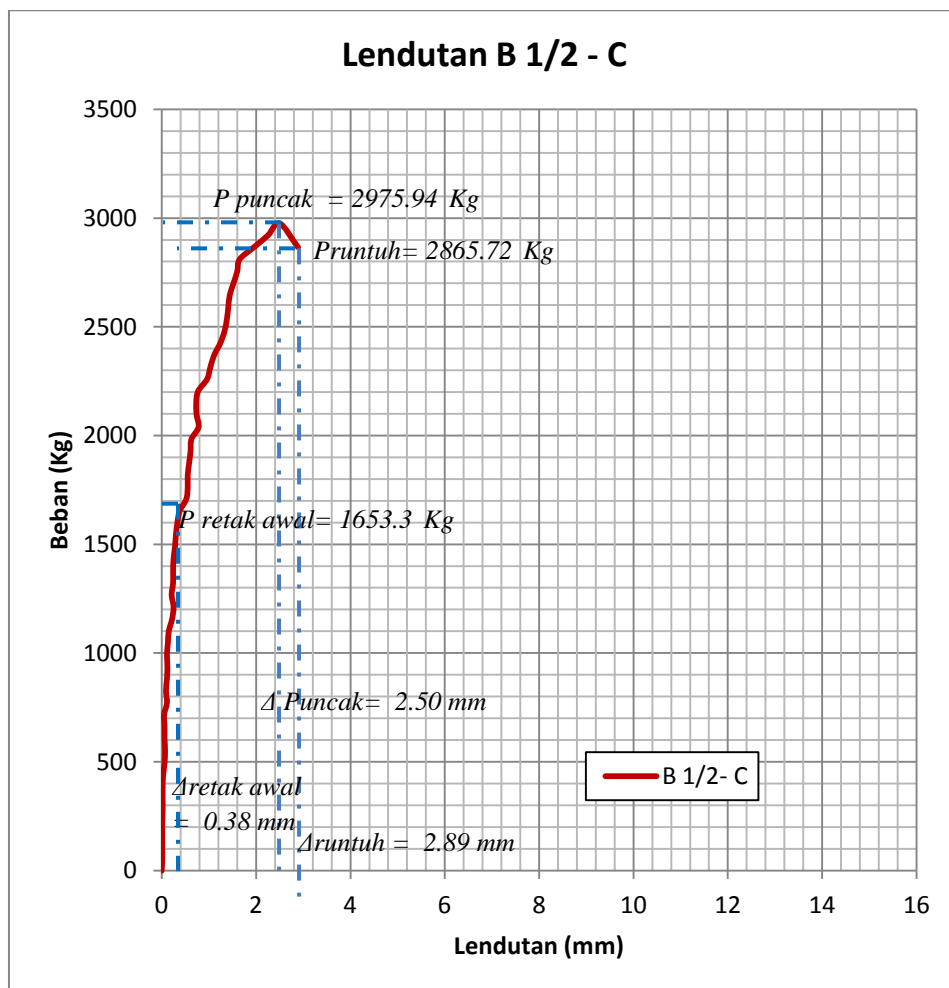
Beban ( P ) Kg

- Kolom 3

Bacaan MVD yang dilakukan di laboratorium Universitas Brawijaya Malang.

- Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm ( Nomor urut 2 s/d 56 )



**Gambar 4.28 Hubungan Beban - Lendutan Balok Dengan Jarak Sambungan**

**(1/4) C**

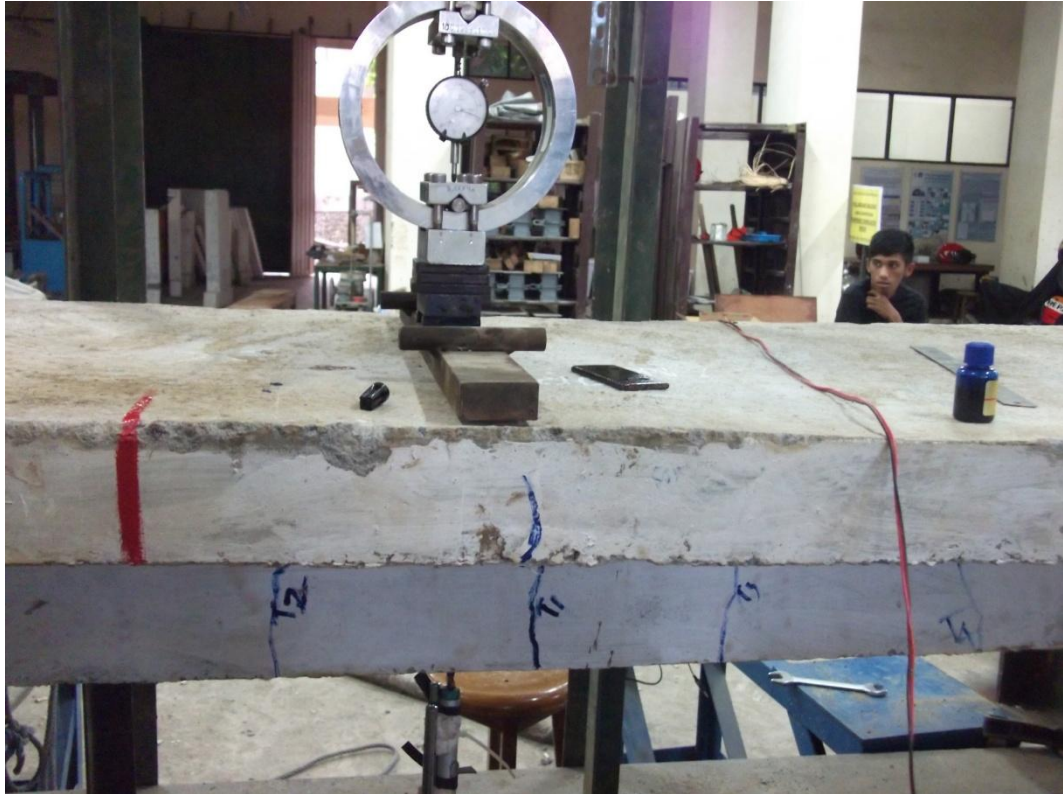
Pada gambar 4.28 diatas adalah hasil analisa eksperimen balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan dengan cara menghubungkan nilai dari tabel 4.11 yaitu nilai lendutan untuk arah horizontal dan beban untuk arah vertikal.

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.28 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1653.3 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 0.38 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2975.94 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 2.50 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2865.72 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 2.89 mm.



**Gambar 4.29 Pengujian Kuat Lentur Balok Dengan Jarak Sambungan (1/4) B**

Kondisi Balok T pada keadaan ini bila dilihat, terjadi retak akhir pada tengah balok T yang lebarnya  $\pm 1,5$  mm, dan retak yang lain yang terjadi sisi balok T baik dari kiri maupun kanan.



**Gambar 4.30 Pola Retak Balok T Dengan Jarak Sambungan  $1/4$  ( C )**

Retak yang terjadi pada benda uji balok T diakibatkan oleh momen lentur yang besar sedangkan gaya geser yang berpengaruh pada balok T kecil. Sehingga tegangan tarik yang ditimbulkan mengakibatkan retak yang terjadi pada tengah bentang berbentuk diagonal. Keruntuhan balok yang terjadi diakibatkan oleh keruntuhan lentur yang bersifat duktail. Pada saat pengujian dengan adanya lendutan yang besar sebagai pertanda.

#### 4.1.3.4 Gabungan Balok T Dengan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan

##### $\frac{1}{4}$ Bentang Pada Lendutan Tengah Bentang

Tabel 4.12 di bawah ini merupakan gabungan dari hubungan beban dan lendutan Balok Tanpa Sambungan (B-1/4) A, B, dan C. Dan kemudian dari hasil ketiga benda uji ini, diambil nilai beban dan lendutan rata – ratanya.

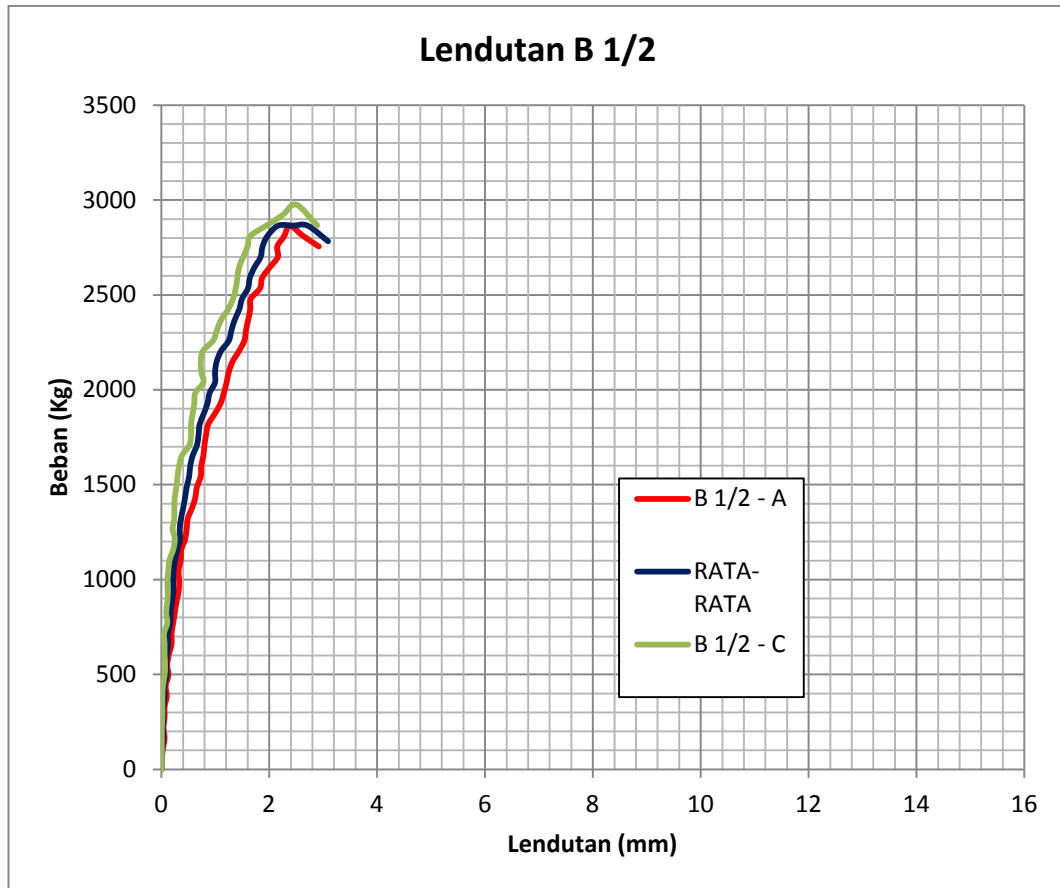
**Tabel 4.12 Hubungan Beban – Lendutan Balok 1/4 A,B,C dan Rata-rata Pada Tengan Bentang**

No.	Beban (Kg)		Defleksi (mm)		Rata-rata	
	Balok 1/2 A	Balok 1/2 C	Balok 1/4 A	Balok 1/4C	Beban ( Kg )	Lendutan ( mm )
1	2	4	5	7	8	9
1	0	0	0,00	0,00	0	0
2	55,11	55,11	0,01	0,01	55,11	0,01
3	110,22	110,22	0,03	0,01	110,22	0,02
4	165,33	165,33	0,06	0,01	165,33	0,04
5	220,44	220,44	0,04	0,01	220,44	0,03
6	275,55	275,55	0,06	0,02	275,55	0,04
7	330,66	330,66	0,06	0,02	330,66	0,04
8	385,77	385,77	0,10	0,02	385,77	0,06
9	440,88	440,88	0,08	0,03	440,88	0,06
10	495,99	495,99	0,13	0,06	495,99	0,10
11	551,1	551,1	0,11	0,07	551,1	0,09
12	606,21	606,21	0,14	0,06	606,21	0,10
13	661,32	661,32	0,19	0,06	661,32	0,13
14	716,43	716,43	0,19	0,05	716,43	0,12
15	771,54	771,54	0,22	0,11	771,54	0,17
16	826,65	826,65	0,25	0,09	826,65	0,17
17	881,76	881,76	0,28	0,11	881,76	0,20
18	936,87	936,87	0,32	0,12	936,87	0,22
19	991,98	991,98	0,33	0,11	991,98	0,22
20	1047,09	1047,09	0,32	0,13	1047,09	0,23
21	1102,2	1102,2	0,36	0,15	1102,2	0,26
22	1157,31	1157,31	0,37	0,22	1157,31	0,30
23	1212,42	1212,42	0,44	0,25	1212,42	0,35
24	1267,53	1267,53	0,47	0,21	1267,53	0,34



25	1322,64	1322,64	0,49	0,24	1322,64	0,37
26	1377,75	1377,75	0,57	0,24	1377,75	0,41
27	1432,86	1432,86	0,63	0,25	1432,86	0,44
28	1487,97	1487,97	0,66	0,28	1487,97	0,47
29	1543,08	1543,08	0,73	0,30	1543,08	0,52
30	1598,19	1598,19	0,74	0,33	1598,19	0,54
31	1653,3	1653,3	0,78	0,38	1653,3	0,58
32	1708,41	1708,41	0,80	0,52	1708,41	0,66
33	1763,52	1763,52	0,83	0,55	1763,52	0,69
34	1818,63	1818,63	0,87	0,55	1818,63	0,71
35	1873,74	1873,74	0,99	0,58	1873,74	0,79
36	1928,85	1928,85	1,10	0,61	1928,85	0,86
37	1983,96	1983,96	1,16	0,63	1983,96	0,90
38	2039,07	2039,07	1,21	0,78	2039,07	1,00
39	2094,18	2094,18	1,25	0,74	2094,18	1,00
40	2149,29	2149,29	1,32	0,73	2149,29	1,03
41	2204,4	2204,4	1,44	0,77	2204,4	1,11
42	2259,51	2259,51	1,54	0,96	2259,51	1,25
43	2314,62	2314,62	1,57	1,03	2314,62	1,30
44	2369,73	2369,73	1,61	1,11	2369,73	1,36
45	2424,84	2424,84	1,65	1,24	2424,84	1,45
46	2479,95	2479,95	1,66	1,33	2479,95	1,50
47	2535,06	2535,06	1,83	1,38	2535,06	1,61
48	2590,17	2590,17	1,87	1,41	2590,17	1,64
49	2645,28	2645,28	2,01	1,44	2645,28	1,73
50	2700,39	2700,39	2,16	1,52	2700,39	1,84
51	2755,5	2755,5	2,15	1,60	2755,5	1,88
52	2810,61	2810,61	2,28	1,65	2810,61	1,97
53	2865,72	2865,72	2,38	1,95	2865,72	2,17
54	2810,61	2920,83	2,63	2,25	2865,72	2,44
55	2755,5	2975,94	2,92	2,50	2865,72	2,71
56	2700,39	2865,72	3,29	2,89	2783,06	3,09

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.



**Gambar 4.31 Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4) A, B,C dan (B-1/4) Rata-rata**

Berdasarkan bentuk pada gambar 4.31 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 :

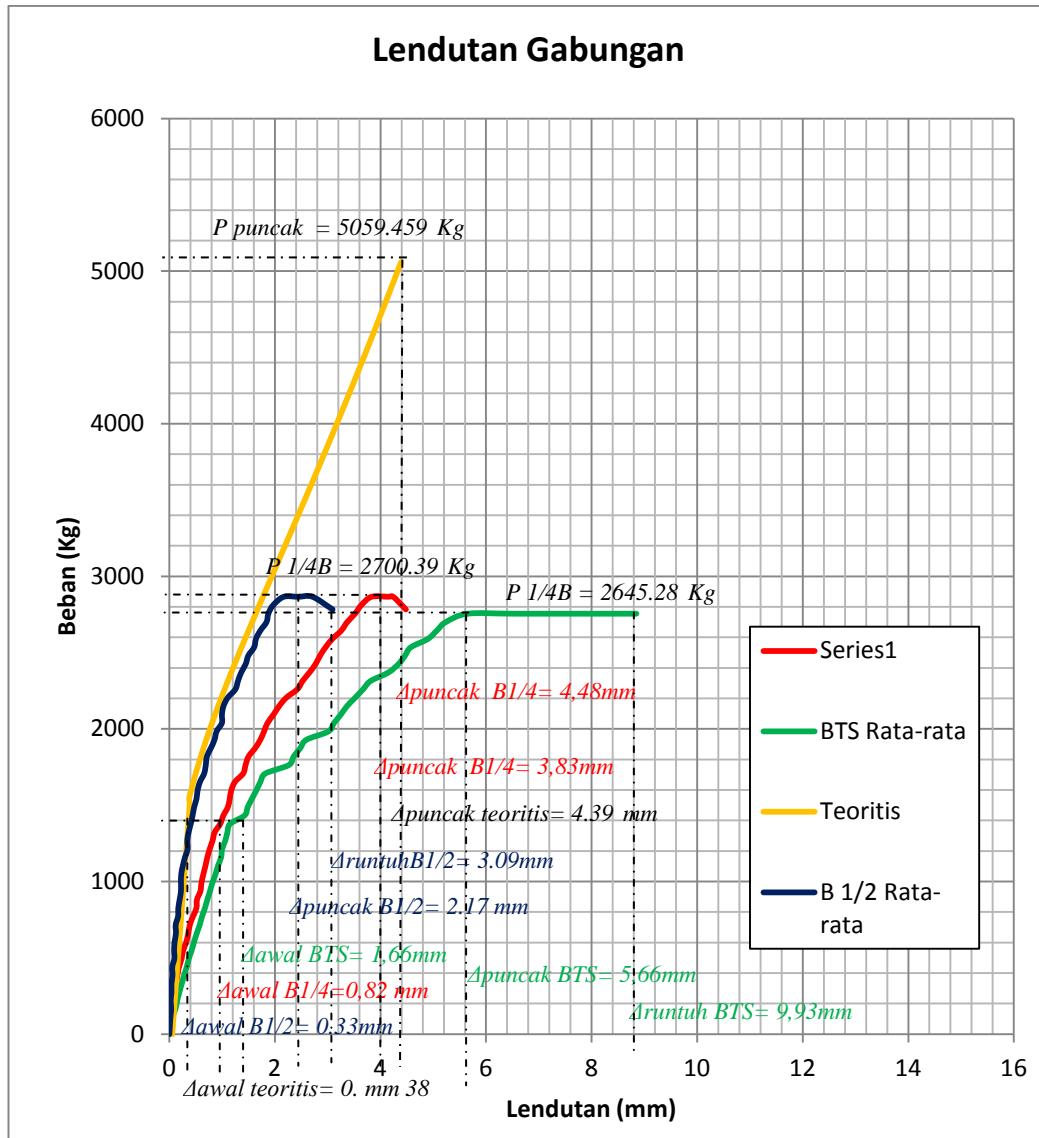
1. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang A pada tengah bentang mempunyai nilai Beban ( $P$ ) maksimum sebesar 2865.72 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2700.39 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 3.29 mm.

2. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang B mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2755.5 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2479.95 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 3.12 mm.
3. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang rata-rata mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2865.72 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2783.06 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 2.17 mm.

#### **4.1.4 Gabungan Balok T Teoritis , BTS, Sambungan 1/4 Bentang Dan**

##### **Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan (1/4) Pada Lendutan Tengah Bentang**

Berdasarkan Hasil analisa teoritis dan hasil eksperimen didapatkan hasil seperti pada gambar 3.2 dibawah ini.



**Gambar 4.32 Hubungan Beban – Lendutan Eksperimen Balok Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4) A, B,C dan (B-1/4) Rata-rata**

Berdasarkan gambar 4.32 di atas, hubungan beban-lendutan teoritis, balok T tanpa sambungan, balok T dengan jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang, sambungan balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang pada lendutan  $\frac{1}{2}$  bentang terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $\Delta$  (Lendutan) sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $\Delta$  (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Grafik hasil analisa teoritis Balok T diketahui beban retak awal ( P ) = 1500 Kg dengan nilai lendutan (  $\Delta$  ) = 0.38 mm. Sedangkan untuk beban ( P ) maksimum sebesar 5059.459 Kg dengan nilai lendutan sebesar 4.39 mm.
2. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang rata-rata mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2792.24 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2682.02 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 4.02 mm.
3. Grafik hasil analisa eksperimen Balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang pada tengah bentang mempunyai nilai Beban ( P ) maksimum sebesar 2794.24 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2682.02 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 2.44 mm.
4. 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.

#### **4.1.5 Kesimpulan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan 1/4 Bentang Dan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan (1/4) Pada Lendutan Tengah Bentang**

Berdasarkan hasil perhitungan teoritis dan hasil eksperimen dapat disimpulkan dan dibandingkan seperti pada tabel 4.13 dibawah ini :

**Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Teoritis Dan Eksperimen Pada Balok T BTS dan Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang**

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

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

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

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
10	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (A)	881,76	0,28	2865,72	2,38	2700,39	3,29	1
11	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (B)	1487,97	0,71	2755,5	2,01	2479,95	3,12	1,3
12	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (C)	1653,3	0,38	2975,94	2,5	2865,72	2,89	1,5
13	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 4.14 Perbandingan Hasil Teoritis Dan Eksperimen Pada Balok T BTS dan Balok T Jarak Sambungan 1/3 Bentang Yang Diteliti Oleh Mahasiswa Lainnya**

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

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
2	Balok T tanpa sambungan (A)	1543,08	1,7	2920,83	10,54	2810,61	10,89	1,4

3	Balok T sanpa sambungan (B)	1212,42	1,45	2590,17	5,4	2094,18	9,6	1,3
4	Balok T sanpa sambungan (C)	1708,41	1,61	2755,5	6,26	2424,84	8,96	1,25
5	Balok T sanpa sambungan Rata-rata	1625,75	1,66	2838,17	8,40	2617,73	9,93	1,33

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

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
10	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (A)	1377,75	2,18	2259,51	6,92	1708,41	9,27	2,3
11	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (B)	1212,42	1,38	2369,73	6,89	1928,85	8,41	1,52
12	Balok T jarak sambungan 1/3 B tengah bentang (C)	1322,64	1,11	2700,39	7,97	2590,17	7,97	1,9
13	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 4.15 Perbandingan Hasil Teoritis Dan Eksperimen Pada Balok T BTS dan Balok T Jarak Sambungan 1/2 Bentang Yang Diteliti Oleh Mahasiswa Lainnya**

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

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
2	Balok T tanpa sambungan (A)	1543,08	1,7	2920,83	10,54	2810,61	10,89	1,4
3	Balok T tanpa sambungan (B)	1212,42	1,45	2590,17	5,4	2094,18	9,6	1,3
4	Balok T tanpa sambungan (C)	1708,41	1,61	2755,5	6,26	2424,84	8,96	1,25
5	Balok T tanpa sambungan Rata-rata	1487,97	1,82	2645,28	6,53	2443,21	9,82	-

No	Uraian	Beban Retak Awal ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Puncak ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Beban Runtuh ( P ) ( Kg )	Lendutan ( mm )	Retak ( mm )
6	Balok T jarak sambungan 1/2 B (A)	1928,85	1,14	2810,61	4,14	2590,17	4,55	1,3
7	Balok T jarak sambungan 1/2 B (B)	1487,97	1,79	3251,49	6,44	3141,27	6,50	0,5
8	Balok T jarak sambungan 1/2 B (C)	1873,74	1,80	3416,82	9,16	3361,71	9,69	1,15
9	Balok T jarak sambungan 1/2 B Rata-rata	1928,85	1,62	3251,49	6,31	3361,71	8,69	-

#### **4.1.6 Perbandingan Hasil Eksperimen BTS, Sambungan 1/4 Bentang Dan Jarak Sambungan Beton Dan Tulangan (1/4) Pada Lendutan Tengah Bentang**

Berdasarkan hasil eksperimen pada saat pengujian, didapat perbedaan nilai kuat geser pada balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang. Dimana perbedaan dapat kami lampirkan dalam bentuk persentase pada tabel dibawah.

**Tabel 4.16 Perbandingan Beban-Lendutan BTS, 1/4B dan 1/4B 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>

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan lendutan maksimum antara balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan jarak sambungan 1/4 bentang (B-1/4) seperti terlihat pada tabel 4.16 di atas, terlihat persentase  $P_{maks} = 2.83 \%$  dan  $\Delta_{maks} = 70.93 \%$  sedangkan  $P_{runtuh} = 5.94 \%$  dan  $\Delta_{runtuh} = 68.87 \%$ .

## 4.2. Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen

### 4.2.1 Balok T Tanpa Sambungan (BTS) Rata-rata

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

- 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 (  $f_c'$  ) : 40, 415 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 7,5$  (  $f_y$  ) : 461 Mpa
- Mutu baja  $\varnothing 4,5$  (  $f_y$  ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok :  $\varnothing 7,5$  mm
- Tulangan sengkang :  $\varnothing 4,5$  mm
- q ( beban merata ) : Luas penampang x berat jenis

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

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

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

Dalam perhitungan kuat lentur eksperimen balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan. Beban yang digunakan sesuai dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan dalam pengujian.

- Momen yang terjadi pada balok ( $M_a$ )

Misalkan pada beban 551,10 N

$$\begin{aligned} M_a &= \left(\frac{1}{8} \times q \times l^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times p \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1,78 \times 2200^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 551,10 \times 2200\right) \\ &= 1380005,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada **tabel 4.17**

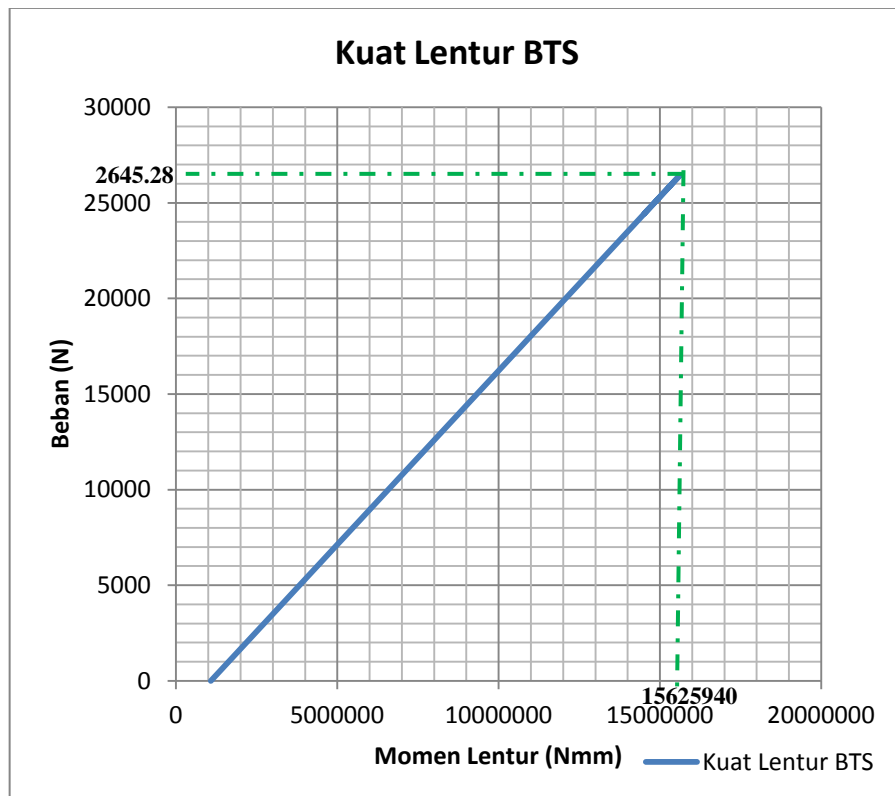
**Tabel 4.17 Kuat Lentur Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan(BTS) Rata-Rata**

Beban eksperimen ( Kg )	Beban eksperimen ( N )	Beban merata (q ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( $\Delta$ ) rata-rata (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6
0	0	1,78	2200	0,00	1076900
55,11	551,1	1,78	2200	0,01	1380005,00
110,22	1102,2	1,78	2200	0,06	1683110,00
165,33	1653,3	1,78	2200	0,11	1986215,00
220,44	2204,4	1,78	2200	0,15	2289320,00
275,55	2755,5	1,78	2200	0,20	2592425,00
330,66	3306,6	1,78	2200	0,24	2895530,00
385,77	3857,7	1,78	2200	0,29	3198635,00
440,88	4408,8	1,78	2200	0,34	3501740,00
495,99	4959,9	1,78	2200	0,39	3804845,00
551,10	5511	1,78	2200	0,44	4107950,00
606,21	6062,1	1,78	2200	0,49	4411055,00
661,32	6613,2	1,78	2200	0,54	4714160,00
716,43	7164,3	1,78	2200	0,60	5017265,00
771,54	7715,4	1,78	2200	0,64	5320370,00
826,65	8266,5	1,78	2200	0,70	5623475,00

881,76	8817,6	1,78	2200	0,75	5926580,00
936,87	9368,7	1,78	2200	0,80	6229685,00
991,98	9919,8	1,78	2200	0,85	6532790,00
1047,09	10470,9	1,78	2200	0,92	6835895,00
1102,20	11022	1,78	2200	0,97	7139000,00
1157,31	11573,1	1,78	2200	1,05	7442105,00
1212,42	12124,2	1,78	2200	1,15	7745210,00
1267,53	12675,3	1,78	2200	1,20	8048315,00
1322,64	13226,4	1,78	2200	1,24	8351420,00
1377,75	13777,5	1,78	2200	1,31	8654525,00
1432,86	14328,6	1,78	2200	1,53	8957630,00
1487,97	14879,7	1,78	2200	1,60	9260735,00
1543,08	15430,8	1,78	2200	1,69	9563840,00
1598,19	15981,9	1,78	2200	1,79	9866945,00
1653,30	16533	1,78	2200	1,88	10170050,00
1708,41	17084,1	1,78	2200	1,99	10473155,00
1763,52	17635,2	1,78	2200	2,34	10776260,00
1818,63	18186,3	1,78	2200	2,61	11079365,00
1873,74	18737,4	1,78	2200	2,75	11382470,00
1928,85	19288,5	1,78	2200	2,87	11685575,00
1983,96	19839,6	1,78	2200	3,20	11988680,00
2039,07	20390,7	1,78	2200	3,33	12291785,00
2094,18	20941,8	1,78	2200	3,46	12594890,00
2149,29	21492,9	1,78	2200	3,59	12897995,00
2204,40	22044	1,78	2200	3,74	13201100,00
2259,51	22595,1	1,78	2200	3,89	13504205,00
2314,62	23146,2	1,78	2200	4,03	13807310,00
2369,73	23697,3	1,78	2200	4,30	14110415,00
2424,84	24248,4	1,78	2200	4,49	14413520,00
2479,95	24799,5	1,78	2200	4,63	14716625,00
2535,06	25350,6	1,78	2200	4,78	15019730,00
2590,17	25901,7	1,78	2200	5,07	15322835,00
2608,54	26085,4	1,78	2200	5,70	15423870,00
2626,91	26269,1	1,78	2200	6,07	15524905,00
2645,28	26452,8	1,78	2200	6,53	15625940,00
2626,91	26269,07	1,78	2200	7,18	15524886,67
2608,54	26085,4	1,78	2200	8,23	15423870,00
2590,17	25901,7	1,78	2200	8,82	15322835,00
2571,80	25718	1,78	2200	9,16	15221800,00
2516,69	25166,9	1,78	2200	9,46	14918695,00
2443,21	24432,1	1,78	2200	9,82	14514555,00

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.17.

- Kolom 1  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (N) rata-rata
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( L ) mm
- Kolom 5  
Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm tanpa sambungan rata-rata
- Kolom 6  
Kuat Lentur ( M ) Nmm



### **Gambar 4.33 Hubungan Beban – Momen Lentur Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan BTS Rata-Rata**

Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada gambar 4.33 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.17 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur  $Nmm$ ) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 26452.8 N, mengalami kuat lentur sebesar 15625940.00 Nmm.

#### **4.2.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang**

Dalam perhitungan kuat lentur eksperimen balok T dengan jarak sambungan 1/4 bentang, beban ( $P$ ) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan. Beban yang digunakan sesuai dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan dalam pengujian.

- Momen yang terjadi pada balok ( $M_a$ )

Misalkan pada beban 551,10 N

$$\begin{aligned} M_a &= \left(\frac{1}{8} \times q \times l^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times p \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1,78 \times 2200^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 551,10 \times 2200\right) \\ &= 1380005,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada **tabel 4.18**



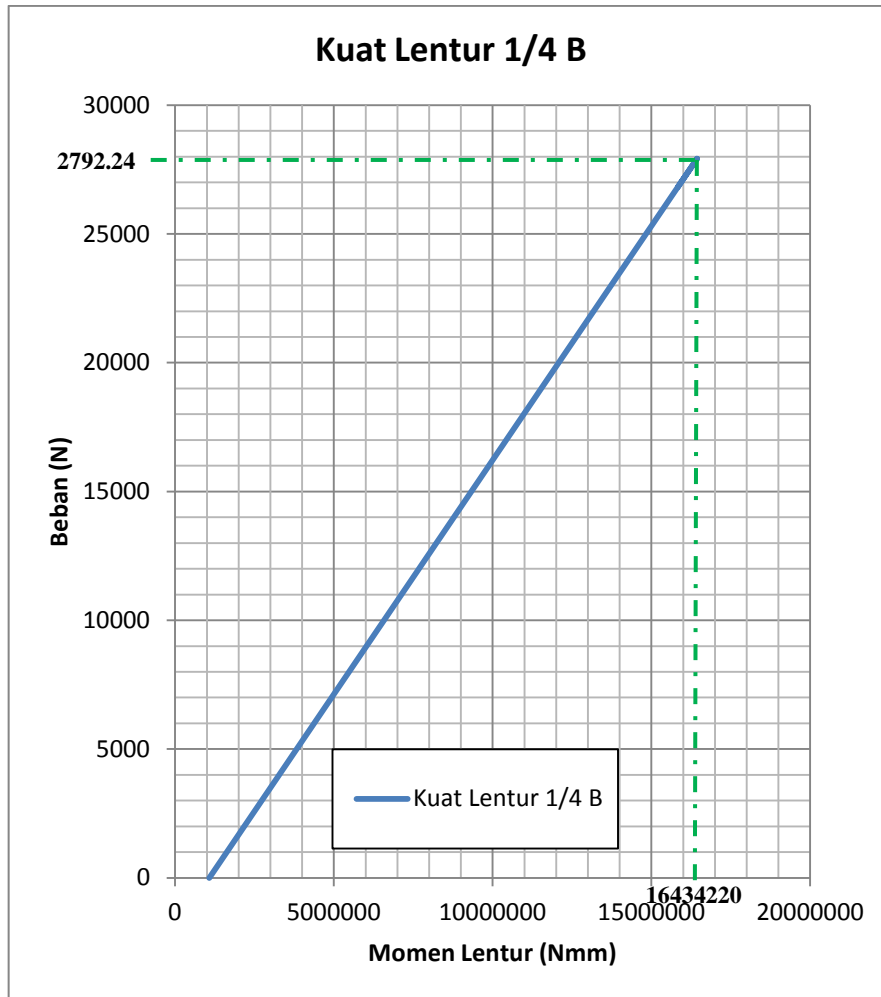
**Tabel 4.18 Kuat Lentur Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang Rata-Rata.**

Beban eksperimen ( Kg )	Beban eksperimen ( N )	Beban merata (q ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( $\Delta$ ) rata-rata (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6
0	0	1,78	2200	0,00	1076900
55,11	551,1	1,78	2200	0,00	1380005,00
110,22	1102,2	1,78	2200	0,04	1683110,00
165,33	1653,3	1,78	2200	0,08	1986215,00
220,44	2204,4	1,78	2200	0,12	2289320,00
275,55	2755,5	1,78	2200	0,17	2592425,00
330,66	3306,6	1,78	2200	0,21	2895530,00
385,77	3857,7	1,78	2200	0,28	3198635,00
440,88	4408,8	1,78	2200	0,32	3501740,00
495,99	4959,9	1,78	2200	0,36	3804845,00
551,10	5511	1,78	2200	0,40	4107950,00
606,21	6062,1	1,78	2200	0,44	4411055,00
661,32	6613,2	1,78	2200	0,49	4714160,00
716,43	7164,3	1,78	2200	0,55	5017265,00
771,54	7715,4	1,78	2200	0,60	5320370,00
826,65	8266,5	1,78	2200	0,67	5623475,00
881,76	8817,6	1,78	2200	0,70	5926580,00
936,87	9368,7	1,78	2200	0,77	6229685,00
991,98	9919,8	1,78	2200	0,80	6532790,00
1047,09	10470,9	1,78	2200	0,85	6835895,00
1102,20	11022	1,78	2200	0,90	7139000,00
1157,31	11573,1	1,78	2200	0,94	7442105,00
1212,42	12124,2	1,78	2200	1,01	7745210,00
1267,53	12675,3	1,78	2200	1,06	8048315,00
1322,64	13226,4	1,78	2200	1,14	8351420,00
1377,75	13777,5	1,78	2200	1,21	8654525,00
1432,86	14328,6	1,78	2200	1,28	8957630,00
1487,97	14879,7	1,78	2200	1,45	9260735,00
1543,08	15430,8	1,78	2200	1,54	9563840,00
1598,19	15981,9	1,78	2200	1,61	9866945,00
1653,30	16533	1,78	2200	1,72	10170050,00
1708,41	17084,1	1,78	2200	1,87	10473155,00
1763,52	17635,2	1,78	2200	1,95	10776260,00
1818,63	18186,3	1,78	2200	2,02	11079365,00

1873,74	18737,4	1,78	2200	2,13	11382470,00
1928,85	19288,5	1,78	2200	2,27	11685575,00
1983,96	19839,6	1,78	2200	2,36	11988680,00
2039,07	20390,7	1,78	2200	2,44	12291785,00
2094,18	20941,8	1,78	2200	2,57	12594890,00
2149,29	21492,9	1,78	2200	2,67	12897995,00
2204,40	22044	1,78	2200	2,82	13201100,00
2259,51	22595,1	1,78	2200	3,01	13504205,00
2314,62	23146,2	1,78	2200	3,13	13807310,00
2369,73	23697,3	1,78	2200	3,28	14110415,00
2424,84	24248,4	1,78	2200	3,39	14413520,00
2479,95	24799,5	1,78	2200	3,50	14716625,00
2535,06	25350,6	1,78	2200	3,64	15019730,00
2590,17	25901,7	1,78	2200	3,84	15322835,00
2645,28	26452,8	1,78	2200	4,07	15625940,00
2700,39	27003,9	1,78	2200	4,24	15929045,00
2755,50	27555	1,78	2200	4,41	16232150,00
2773,87	27738,7	1,78	2200	4,86	16333185,00
2792,24	27922,4	1,78	2200	5,11	16434220,00
2773,87	27738,7	1,78	2200	5,36	16333185,00
2755,50	27555	1,78	2200	5,48	16232150,00
2682,02	26820,2	1,78	2200	5,71	15828010,00

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.18.**

- Kolom 1  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (N) rata-rata
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( L ) mm
- Kolom 5  
Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm tanpa sambungan rata-rata
- Kolom 6  
Kuat Lentur ( M ) Nmm



**Gambar 4.34 Hubungan Beban – Momen Lentur Eksperimen Balok T Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4)**

Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada gambar 4.34 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.18 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur  $Nmm$ ) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban eksperimen  $N$ ). Dan terlihat pada beban maksimum 2792.24 N, mengalami kuat lentur sebesar 15625940.00 Nmm.

### 4.2.3 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang Pada Tengah Bentang

Dalam perhitungan kuat lentur eksperimen balok T dengan jarak sambungan 1/4 bentang, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan. Beban yang digunakan sesuai dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan dalam pengujian.

- Momen yang terjadi pada balok ( $M_a$ )

Misalkan pada beban 551,10 N

$$\begin{aligned} M_a &= \left(\frac{1}{8} \times q \times l^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times p \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 1,78 \times 2200^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 551,10 \times 2200\right) \\ &= 1380005,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada **tabel 4.17**

**Tabel 4.19 Kuat Lentur Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 Bentang Rata-Rata Pada Tengah Bentang.**

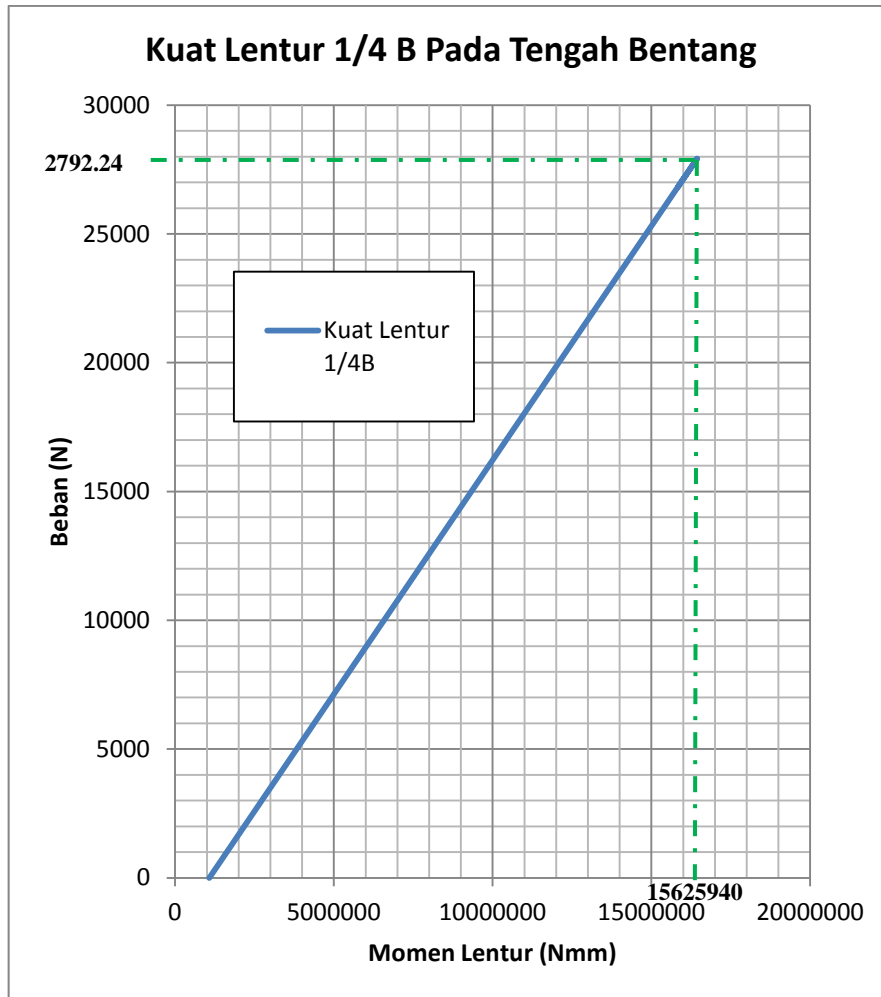
Beban eksperimen ( Kg )	Beban eksperimen ( N )	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( $\Delta$ ) rata-rata (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6
0	0	1,78	2200	0,00	1076900
55,11	551,1	1,78	2200	0,01	1380005,00
110,22	1102,2	1,78	2200	0,02	1683110,00
165,33	1653,3	1,78	2200	0,04	1986215,00
220,44	2204,4	1,78	2200	0,05	2289320,00
275,55	2755,5	1,78	2200	0,06	2592425,00
330,66	3306,6	1,78	2200	0,07	2895530,00
385,77	3857,7	1,78	2200	0,10	3198635,00
440,88	4408,8	1,78	2200	0,11	3501740,00
495,99	4959,9	1,78	2200	0,14	3804845,00
551,10	5511	1,78	2200	0,14	4107950,00

606,21	6062,1	1,78	2200	0,15	4411055,00
661,32	6613,2	1,78	2200	0,17	4714160,00
716,43	7164,3	1,78	2200	0,18	5017265,00
771,54	7715,4	1,78	2200	0,22	5320370,00
826,65	8266,5	1,78	2200	0,23	5623475,00
881,76	8817,6	1,78	2200	0,26	5926580,00
936,87	9368,7	1,78	2200	0,28	6229685,00
991,98	9919,8	1,78	2200	0,29	6532790,00
1047,09	10470,9	1,78	2200	0,30	6835895,00
1102,20	11022	1,78	2200	0,33	7139000,00
1157,31	11573,1	1,78	2200	0,36	7442105,00
1212,42	12124,2	1,78	2200	0,41	7745210,00
1267,53	12675,3	1,78	2200	0,41	8048315,00
1322,64	13226,4	1,78	2200	0,43	8351420,00
1377,75	13777,5	1,78	2200	0,47	8654525,00
1432,86	14328,6	1,78	2200	0,50	8957630,00
1487,97	14879,7	1,78	2200	0,55	9260735,00
1543,08	15430,8	1,78	2200	0,60	9563840,00
1598,19	15981,9	1,78	2200	0,63	9866945,00
1653,30	16533	1,78	2200	0,68	10170050,00
1708,41	17084,1	1,78	2200	0,75	10473155,00
1763,52	17635,2	1,78	2200	0,78	10776260,00
1818,63	18186,3	1,78	2200	0,80	11079365,00
1873,74	18737,4	1,78	2200	0,86	11382470,00
1928,85	19288,5	1,78	2200	0,94	11685575,00
1983,96	19839,6	1,78	2200	0,97	11988680,00
2039,07	20390,7	1,78	2200	1,06	12291785,00
2094,18	20941,8	1,78	2200	1,07	12594890,00
2149,29	21492,9	1,78	2200	1,10	12897995,00
2204,40	22044	1,78	2200	1,17	13201100,00
2259,51	22595,1	1,78	2200	1,29	13504205,00
2314,62	23146,2	1,78	2200	1,34	13807310,00
2369,73	23697,3	1,78	2200	1,40	14110415,00
2424,84	24248,4	1,78	2200	1,47	14413520,00
2479,95	24799,5	1,78	2200	1,52	14716625,00
2535,06	25350,6	1,78	2200	1,62	15019730,00
2590,17	25901,7	1,78	2200	1,67	15322835,00
2645,28	26452,8	1,78	2200	1,76	15625940,00
2700,39	27003,9	1,78	2200	1,88	15929045,00
2755,50	27555	1,78	2200	1,92	16232150,00
2773,87	27738,7	1,78	2200	2,07	16333185,00
2792,24	27922,4	1,78	2200	2,26	16434220,00
2773,87	27738,7	1,78	2200	2,50	16333185,00

2755,50	27555	1,78	2200	2,78	16232150,00
2682,02	26820,2	1,78	2200	3,10	15828010,00

Keterangan pengisian kolom pada **Tabel 4.19.**

- Kolom 1  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (N) rata-rata
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( L ) mm
- Kolom 5  
Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm tanpa sambungan rata-rata
- Kolom 6  
Kuat Lentur ( M ) Nmm

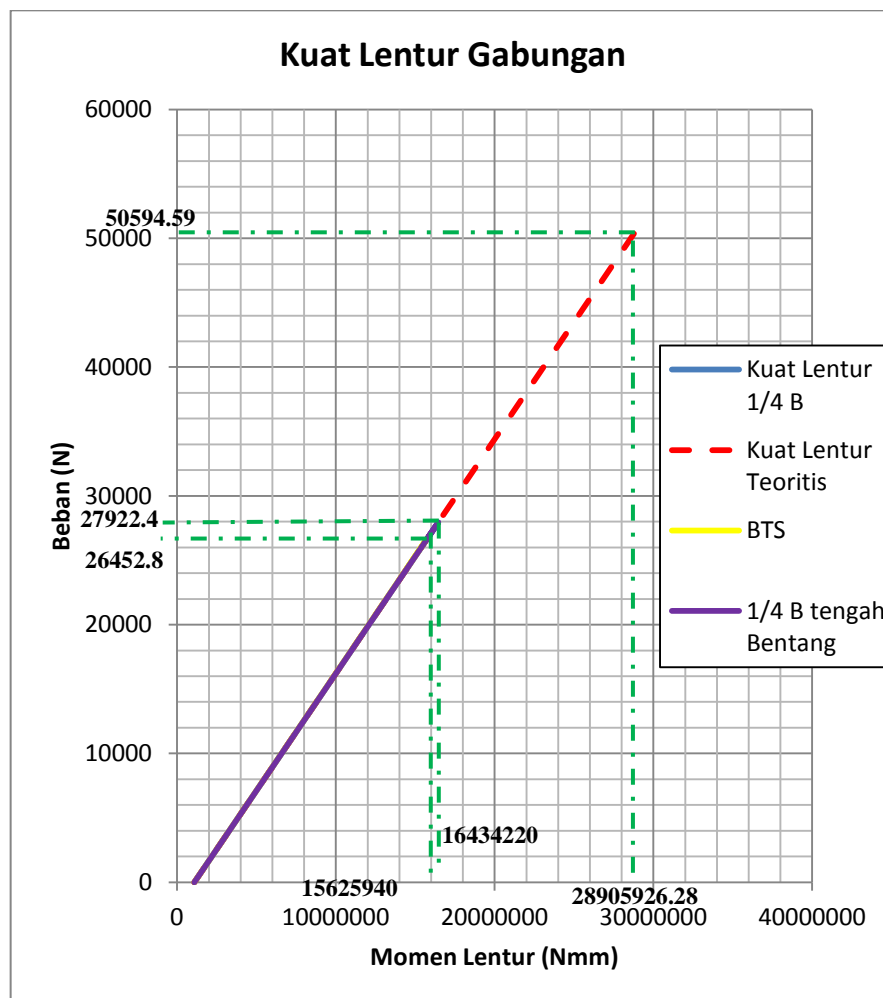


**Gambar 4.35 Hubungan Beban – Lentutan Eksperimen Balok T Dengan Jarak Sambungan Tulangan 1/4 (B-1/4) Rata-rata Pada Tengah Bentang.**

Grafik hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada Gambar 4.35 diatas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.19 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur *Nmm*) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban eksperimen *N*). Dan terlihat pada beban maksimum 2792.24 N, mengalami kuat lentur sebesar 15625940.00 Nmm.

#### 4.2.4 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 1/4 bentang, dan teoritis yang terlihat pada Gambar 4.36 dibawah adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.18 dan 4.19.



Gambar 4.36 Hubungan Beban- Kuat Lentur Teoritis,BTS, Dan B-1/4 Rata-Rata Dan Tengah Bentang.



Berdasarkan bentuk pada gambar 4.36 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $M$  (Kuat lentur) pada kurva BTS rata-rata, B-1/4 rata-rata, B 1/4 tengah bentang dan teoritis sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $M$ (Kuat lentur) dapat diuraikan seperti pada tabel 4.20 sebagai berikut :

**Tabel 4.20 Perbedaan Beban – Momen Lentur Balok Tanpa Sambungan ( BTS ) dan Balok T 1/4 Bentang**

No	Uraian	Beban Maksimum ( P ) ( N )	Momen Lentur ( Nmm )
1	Balok T teoritis	50594,59	28905926,28
2	Balok T BTS	26452,8	15625940,00
3	Balok T 1/4 B	27922,4	16434220,00
4	Balok T 1/4 B Tengah bentang	27922,4	16434220,00

#### 4.2.5 Perbandingan Kuat Lentur BTS dan B-1/4 Bentang

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium, didapat perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum pada balok tanpa sambungan (BTS) dengan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang (B-1/4). Perbedaannya kami tampilkan dalam bentuk persentase seperti pada tabel 4.21 di bawah ini :

**Tabel 4.21. Perbandingan Beban –Momen Lentur Teoritis, BTS dan B-1/4 Bentang**

Parameter	Teoritis	BTS	1/4 B	Presentase BTS-1/4B ( % )	Presentase Teoritis- 1/4B ( % )	Presentase Teoritis - BTS ( % )
Beban Puncak ( N )	50594,58859	26452,8	27922,4	5,26	44,81	47,72
Momen lentur ( N mm )	28905926,28	15625940	16434220,00	4,92	43,15	45,94

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum antara balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan jarak sambungan 1/4 Bentang (B-1/4) seperti terlihat pada tabel 4.21 diatas, terlihat persentase  $P_{maks}$  5.26 % dan  $M_{maks}$  4.92 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa jarak sambungan ¼ bentang aman pada pembangunan sebuah konstruksi beton bertulang, khususnya pada balok beton.

### 4.3. Perhitungan Kuat Geser Eksperimen

#### 4.3.1 Balok T Tanpa Sambungan (BTS) rata-rata

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

- 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 (  $f_c'$  ) : 40, 415 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 (  $f_y$  ) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5(  $f_y$  ) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- q ( beban merata ) : Luas penampang x berat jenis  

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

$$= 178,331 \text{ Kg/m} = 1,783 \text{ N/mm}$$

Dalam perhitungan kuat geser eksperimen balok tanpa sambungan (BTS) rata-rata, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan. Beban yang digunakan sesuai dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan dalam pengujian.

- Momen yang terjadi pada balok ( $V_u$ )

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 551,10\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200\right) \\ &= 2233,55 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada **tabel 4.22**

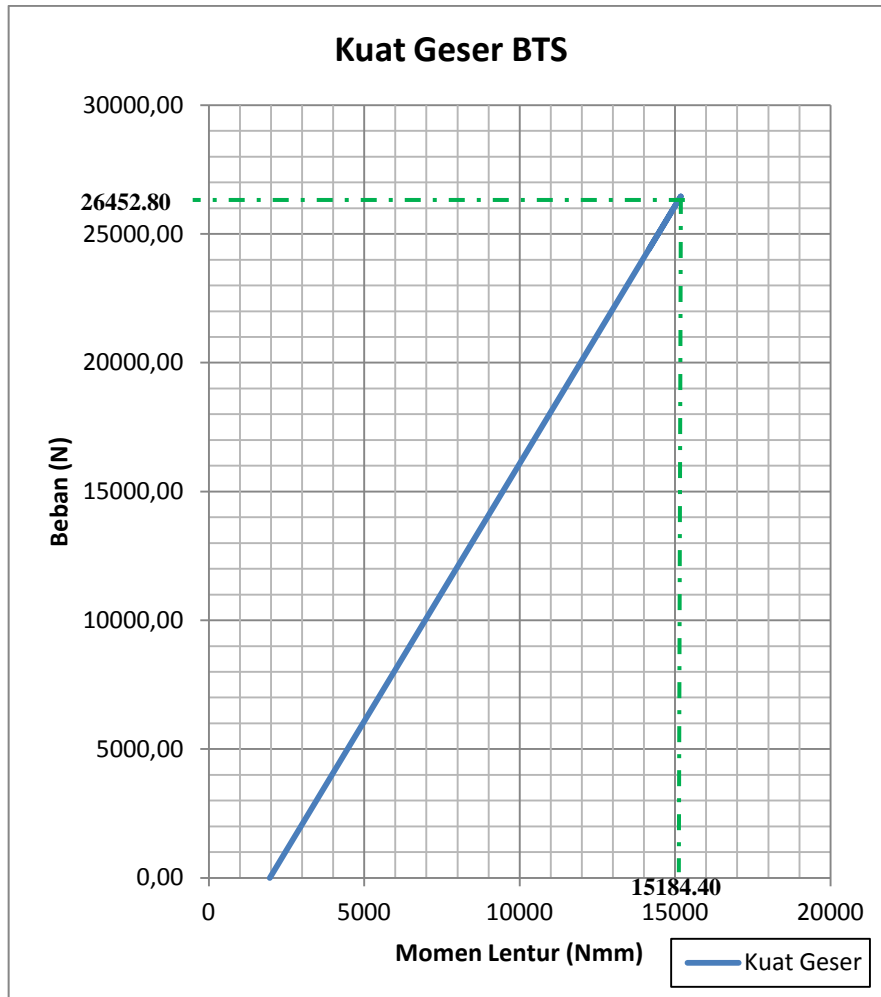
**Tabel 4.22 Kuat Geser Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan (BTS) Rata-Rata**

Beban eksperimen ( Kg )	Beban eksperimen (N)	Beban merata (q) ( N/mm )	Panjang (L) (mm)	Lendutan ( $\Delta$ ) rata-rata (mm)	Kuat Geser (N)
3	4	5	6	7	8
0,00	0,00	1,78	2200,00	0,00	1958,00
55,11	551,10	1,78	2200,00	0,01	2233,55
110,22	1102,20	1,78	2200,00	0,06	2509,10
165,33	1653,30	1,78	2200,00	0,11	2784,65
220,44	2204,40	1,78	2200,00	0,15	3060,20
275,55	2755,50	1,78	2200,00	0,20	3335,75
330,66	3306,60	1,78	2200,00	0,24	3611,30
385,77	3857,70	1,78	2200,00	0,29	3886,85
440,88	4408,80	1,78	2200,00	0,34	4162,40
495,99	4959,90	1,78	2200,00	0,39	4437,95
551,10	5511,00	1,78	2200,00	0,44	4713,50
606,21	6062,10	1,78	2200,00	0,49	4989,05
661,32	6613,20	1,78	2200,00	0,54	5264,60
716,43	7164,30	1,78	2200,00	0,60	5540,15

771,54	7715,40	1,78	2200,00	0,64	5815,70
826,65	8266,50	1,78	2200,00	0,70	6091,25
881,76	8817,60	1,78	2200,00	0,75	6366,80
936,87	9368,70	1,78	2200,00	0,80	6642,35
991,98	9919,80	1,78	2200,00	0,85	6917,90
1047,09	10470,90	1,78	2200,00	0,92	7193,45
1102,20	11022,00	1,78	2200,00	0,97	7469,00
1157,31	11573,10	1,78	2200,00	1,05	7744,55
1212,42	12124,20	1,78	2200,00	1,15	8020,10
1267,53	12675,30	1,78	2200,00	1,20	8295,65
1322,64	13226,40	1,78	2200,00	1,24	8571,20
1377,75	13777,50	1,78	2200,00	1,31	8846,75
1432,86	14328,60	1,78	2200,00	1,53	9122,30
1487,97	14879,70	1,78	2200,00	1,60	9397,85
1543,08	15430,80	1,78	2200,00	1,69	9673,40
1598,19	15981,90	1,78	2200,00	1,79	9948,95
1653,30	16533,00	1,78	2200,00	1,88	10224,50
1708,41	17084,10	1,78	2200,00	1,99	10500,05
1763,52	17635,20	1,78	2200,00	2,34	10775,60
1818,63	18186,30	1,78	2200,00	2,61	11051,15
1873,74	18737,40	1,78	2200,00	2,75	11326,70
1928,85	19288,50	1,78	2200,00	2,87	11602,25
1983,96	19839,60	1,78	2200,00	3,20	11877,80
2039,07	20390,70	1,78	2200,00	3,33	12153,35
2094,18	20941,80	1,78	2200,00	3,46	12428,90
2149,29	21492,90	1,78	2200,00	3,59	12704,45
2204,40	22044,00	1,78	2200,00	3,74	12980,00
2259,51	22595,10	1,78	2200,00	3,89	13255,55
2314,62	23146,20	1,78	2200,00	4,03	13531,10
2369,73	23697,30	1,78	2200,00	4,30	13806,65
2424,84	24248,40	1,78	2200,00	4,49	14082,20
2479,95	24799,50	1,78	2200,00	4,63	14357,75
2535,06	25350,60	1,78	2200,00	4,78	14633,30
2590,17	25901,70	1,78	2200,00	5,07	14908,85
2608,54	26085,40	1,78	2200,00	5,70	15000,70
2626,91	26269,10	1,78	2200,00	6,07	15092,55
2645,28	26452,80	1,78	2200,00	6,53	15184,40
2626,91	26269,07	1,78	2200,00	7,18	15092,53
2608,54	26085,40	1,78	2200,00	8,23	15000,70
2590,17	25901,70	1,78	2200,00	8,82	14908,85
2571,80	25718,00	1,78	2200,00	9,16	14817,00
2516,69	25166,90	1,78	2200,00	9,46	14541,45
2443,21	24432,10	1,78	2200,00	9,82	14174,05

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.22.

- Kolom 1  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (N) rata-rata
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( L ) mm
- Kolom 5  
Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm tanpa sambungan rata-rata
- Kolom 6  
Kuat Geser (  $V_u$  ) Nmm



**Gambar 4.37 Hubungan Beban – Kuat Geser Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan ( BTS )**

Grafik hubungan beban – kuat geser balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada gambar 4.37 diatas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.22 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur *Nmm*) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban eksperimen *N*). Dan terlihat pada beban maksimum 26452.80 N, mengalami kuat lentur sebesar 15184.40 Nmm.

### 4.3.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang

Dalam perhitungan kuat geser eksperimen balok T dengan jarak sambungan 1/4 bentang, beban (P) yang dipakai adalah beban eksperimen yang terjadi pada saat pengujian balok dilakukan. Beban yang digunakan sesuai dengan nilai kalibrasi alat yang digunakan dalam pengujian.

- Momen yang terjadi pada balok ( $V_u$ )

$$\begin{aligned} V_u &= \left(\frac{1}{2} \times p\right) + \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 551.10\right) + \left(\frac{1}{2} \times 1.783 \times 2200\right) \\ &= 2233.55 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada **tabel 4.23**

**Tabel 4.23 Kuat Geser Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/4 B Rata-Rata**

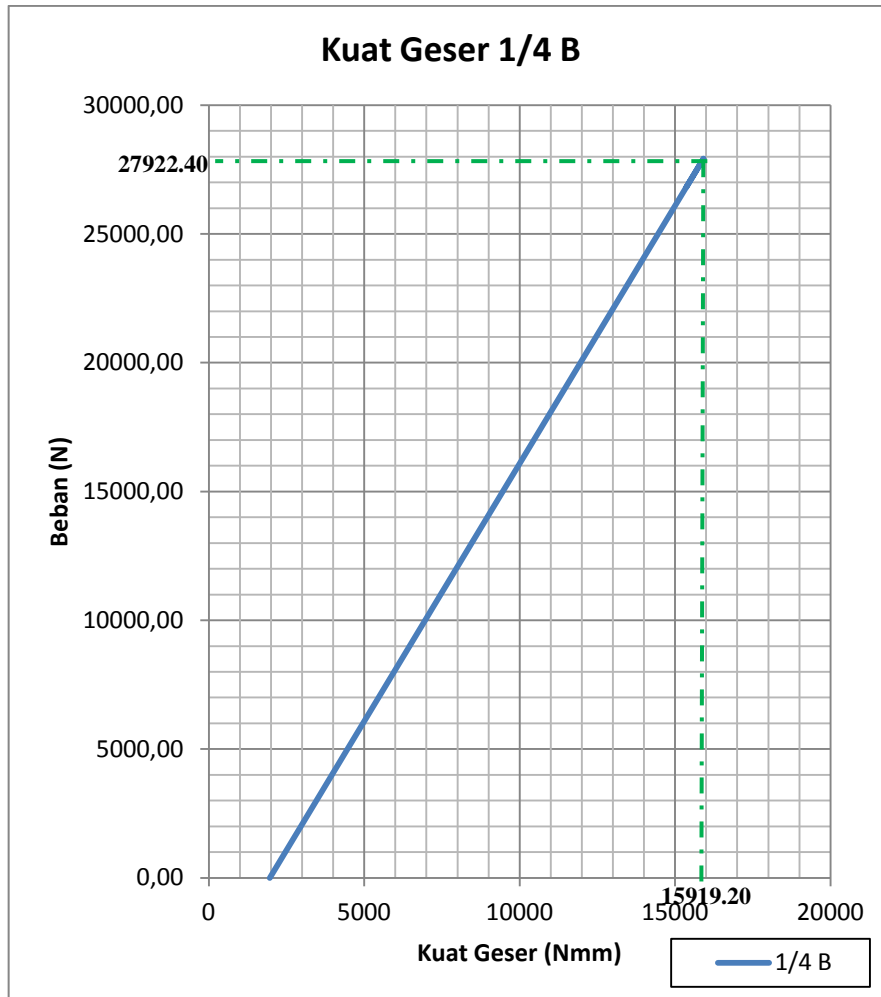
Beban eksperimen ( Kg )	Beban eksperimen ( N )	Beban merata ( q ) ( N/mm )	Panjang ( L ) ( mm )	Lendutan ( $\Delta$ ) rata-rata ( mm )	Kuat Geser ( N )
3	4	5	6	7	8
0,00	0,00	1,78	2200,00	0,00	1958,00
55,11	551,10	1,78	2200,00	0,00	2233,55
110,22	1102,20	1,78	2200,00	0,04	2509,10
165,33	1653,30	1,78	2200,00	0,08	2784,65
220,44	2204,40	1,78	2200,00	0,12	3060,20
275,55	2755,50	1,78	2200,00	0,17	3335,75
330,66	3306,60	1,78	2200,00	0,21	3611,30
385,77	3857,70	1,78	2200,00	0,28	3886,85
440,88	4408,80	1,78	2200,00	0,32	4162,40
495,99	4959,90	1,78	2200,00	0,36	4437,95
551,10	5511,00	1,78	2200,00	0,40	4713,50
606,21	6062,10	1,78	2200,00	0,44	4989,05
661,32	6613,20	1,78	2200,00	0,49	5264,60
716,43	7164,30	1,78	2200,00	0,55	5540,15
771,54	7715,40	1,78	2200,00	0,60	5815,70

826,65	8266,50	1,78	2200,00	0,67	6091,25
881,76	8817,60	1,78	2200,00	0,70	6366,80
936,87	9368,70	1,78	2200,00	0,77	6642,35
991,98	9919,80	1,78	2200,00	0,80	6917,90
1047,09	10470,90	1,78	2200,00	0,85	7193,45
1102,20	11022,00	1,78	2200,00	0,90	7469,00
1157,31	11573,10	1,78	2200,00	0,94	7744,55
1212,42	12124,20	1,78	2200,00	1,01	8020,10
1267,53	12675,30	1,78	2200,00	1,06	8295,65
1322,64	13226,40	1,78	2200,00	1,14	8571,20
1377,75	13777,50	1,78	2200,00	1,21	8846,75
1432,86	14328,60	1,78	2200,00	1,28	9122,30
1487,97	14879,70	1,78	2200,00	1,45	9397,85
1543,08	15430,80	1,78	2200,00	1,54	9673,40
1598,19	15981,90	1,78	2200,00	1,61	9948,95
1653,30	16533,00	1,78	2200,00	1,72	10224,50
1708,41	17084,10	1,78	2200,00	1,87	10500,05
1763,52	17635,20	1,78	2200,00	1,95	10775,60
1818,63	18186,30	1,78	2200,00	2,02	11051,15
1873,74	18737,40	1,78	2200,00	2,13	11326,70
1928,85	19288,50	1,78	2200,00	2,27	11602,25
1983,96	19839,60	1,78	2200,00	2,36	11877,80
2039,07	20390,70	1,78	2200,00	2,44	12153,35
2094,18	20941,80	1,78	2200,00	2,57	12428,90
2149,29	21492,90	1,78	2200,00	2,67	12704,45
2204,40	22044,00	1,78	2200,00	2,82	12980,00
2259,51	22595,10	1,78	2200,00	3,01	13255,55
2314,62	23146,20	1,78	2200,00	3,13	13531,10
2369,73	23697,30	1,78	2200,00	3,28	13806,65
2424,84	24248,40	1,78	2200,00	3,39	14082,20
2479,95	24799,50	1,78	2200,00	3,50	14357,75
2535,06	25350,60	1,78	2200,00	3,64	14633,30
2590,17	25901,70	1,78	2200,00	3,84	14908,85
2645,28	26452,80	1,78	2200,00	4,07	15184,40
2700,39	27003,90	1,78	2200,00	4,24	15459,95
2755,50	27555,00	1,78	2200,00	4,41	15735,50
2773,87	27738,70	1,78	2200,00	4,86	15827,35
2792,24	27922,40	1,78	2200,00	5,11	15919,20
2773,87	27738,70	1,78	2200,00	5,36	15827,35
2755,50	27555,00	1,78	2200,00	5,48	15735,50
2682,02	26820,20	1,78	2200,00	5,71	15368,10



Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.23.

- Kolom 1  
Beban eksperimen (Kg) rata-rata
- Kolom 2  
Beban eksperimen (N) rata-rata
- Kolom 3  
Beban merata ( q ) N/mm
- Kolom 4  
Panjang balok ( L ) mm
- Kolom 5  
Lendutan yang terjadi pada balok (  $\Delta$  ) mm tanpa sambungan rata-rata
- Kolom 6  
Kuat Geser (  $V_u$  ) Nmm

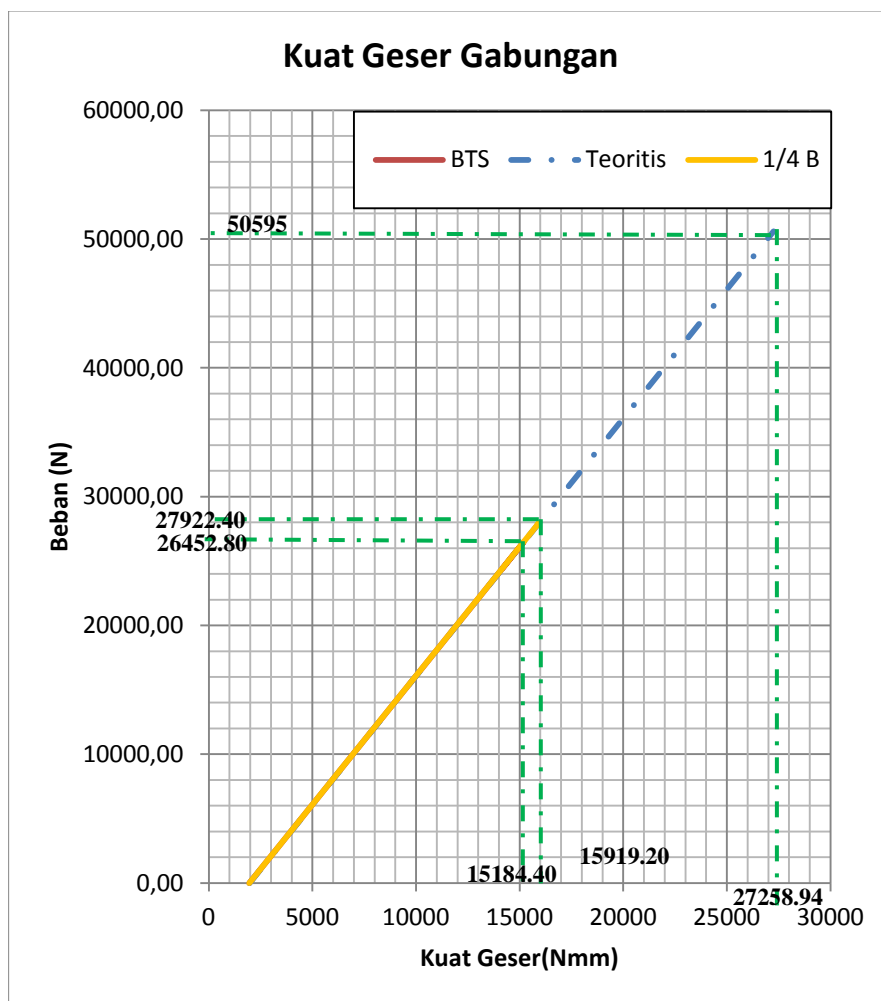


**Gambar 4.38 Hubungan Beban – Kuat Geser Eksperimen Balok T Jarak ambungan 1/4 Bentang**

Grafik hubungan beban – kuat geser balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada gambar 4.38 diatas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.23 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur *Nmm*) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban eksperimen *N*). Dan terlihat pada beban maksimum 27922.40 N, mengalami kuat lentur sebesar 15919.20 Nmm.

### 4.3.3 Gabungan Kuat Lentur Teoritis Dan Eksperimen

Grafik hubungan beban – kuat geser balok tanpa sambungan beton dan tulangan rata-rata, balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang, dan teoritis yang terlihat pada Gambar 4.39 dibawah adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.20 dan 4.21.



**Gambar 4.39 Hubungan Beban - Kuat Geser Teoritis,BTS, Dan B-1/4 Rata-Rata**

Berdasarkan bentuk pada gambar 4.38 di atas, terlihat ada perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $V_u$  (Kuat Geser) pada kurva BTS rata-rata, B-1/4 rata-rata, dan teoritis sehingga rincian perbedaan nilai  $P$  (beban) dan  $V_u$  (Kuat Geser) dapat diuraikan seperti pada tabel 4.24 sebagai berikut :

**Tabel 4.24. Perbedaan Beban – Kuat Geser BTS dan B-1/4 Bentang**

No	Uraian	Beban Maksimum ( P ) ( N )	Kuat Geser ( Nmm )
1	Balok T teoritis	50594,58859	27258,9353
2	Balok T BTS	26452,8	15184,40
3	Balok T 1/4 B	27922,4	15919,20

#### 4.3.4 Perbandingan Kuat Geser BTS dan B-1/4 Bentang

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium, didapat perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum pada balok tanpa sambungan (BTS) dengan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang (B-1/4). Perbedaannya kami tampilkan dalam bentuk persentase seperti pada tabel 4.25 di bawah ini :

**Tabel 4.25. Perbandingan Beban –Kuat Geser Teoritis, BTS dan B-1/4 Bentang**

Parameter	Teoritis	BTS	1/4 B	Presentase BTS-1/4B ( % )	Presentase Teoritis- 1/4B ( % )	Presentase Teoritis - BTS ( % )
Beban Puncak ( N )	50594,58859	26452,8	27922,4	5,26	44,81	47,72
Momen geser ( N mm )	27258,9353	15184,40	15919,20	4,62	41,60	44,30

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan kuat lentur maksimum antara balok tanpa sambungan (BTS) dan balok dengan jarak sambungan  $1/4$  Bentang (B- $1/4$ ) seperti terlihat pada tabel 4.25 diatas, terlihat persentase  $P_{maks}$  5.26 % dan  $M_{maks}$  4.62 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa jarak sambungan  $1/4$  bentang aman pada pembangunan sebuah konstruksi beton bertulang, khususnya pada balok beton.

#### **4.4. Mekanisme Perilaku Retak**

##### **4.4.1 Balok T Tanpa Sambungan (BTS)**

1. Mekanisme perilaku retak balok BTS-A, diawali dengan retak membelah arah ke atas pada tengah balok saat beban mencapai  $P = 1543.08$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar  $2920.83$  Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar  $2.1$  mm yang terdapat tengah balok, seperti terlihat pada gambar 4.40 di bawah ini.



**Gambar 4.40 Pola Retak Balok Tanpa Sambungan (BTS)-A**

2. Mekanisme perilaku retak balok BTS-B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok saat beban mencapai  $P = 1212.42$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar  $2590.17$  Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar  $1.25$  mm yang terdapat pada tengah bentang, seperti terlihat pada gambar 4.41 di bawah ini.



**Gambar 4.41 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-B**

3. Mekanisme perilaku retak balok BTS-C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok pada tengah balok saat beban mencapai  $P = 1708.41$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar  $2755.5$  Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar  $1.25$  mm, seperti terlihat pada gambar 4.42 di bawah ini.



**Gambar 4.42 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-C**

#### **4.4.2 Balok T Dengan Jarak Sambungan 1/4 Bentang (B-1/4)**

1 Mekanisme perilaku retak balok B-1/4 A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok saat beban mencapai  $P = 881.76$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar  $2865.72$  Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar  $1$  mm yang terdapat pada tengah bentang, seperti terlihat pada gambar 4.43 di bawah ini.



**Gambar 4.43 Pola Retak Balok Dengan Jarak Sambungan  $\frac{1}{4}$  Bentang  
(B-1/4 A)**

- 2 Mekanisme perilaku retak balok B-1/4 B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok tengah balok saat beban mencapai  $P = 1487.97$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 2755.5 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.3 mm yang terdapat pada tengah bentang, seperti terlihat pada gambar 4.44 di bawah ini.





**Gambar 4.44 Pola retak balok dengan jarak sambungan  $1/4$  bentang (B-1/4B)**

3 Mekanisme perilaku retak balok B-1/4 C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok tengah balok saat beban mencapai  $P = 1653.3$  Kg. Kemudian lendutan dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar  $2975.94$  Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar  $1.5$  mm yang terdapat pada tengah bentang, seperti terlihat pada gambar 4.45 di bawah ini.



**Gambar 4.45 Pola retak balok dengan jarak sambungan 1/4 bentang (B-1/4C)**

#### **4.5 Hasil Pengamatan Strain Guages**

##### **4.5.1 Balok Tanpa Sambungan A ( BTS-A )**

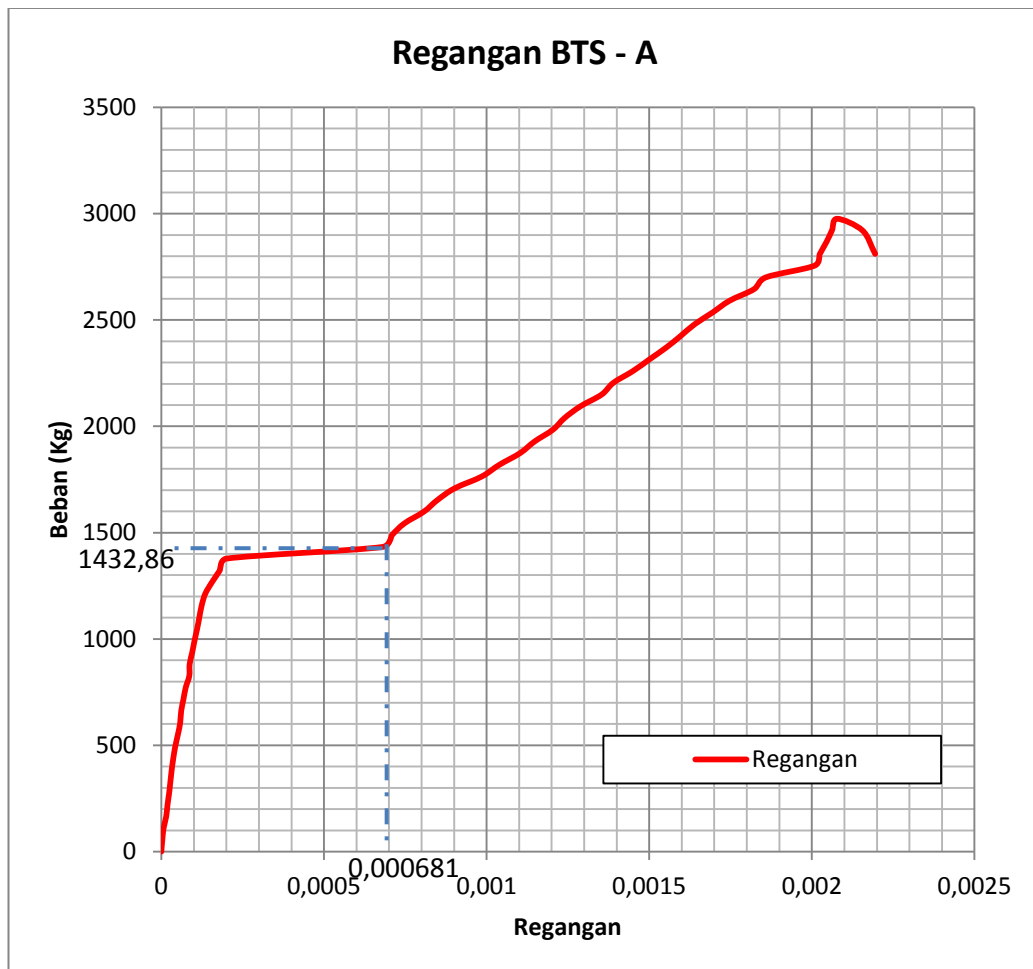
Pada tabel 4.26 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.26. Regangan Pada Balok T Tanpa Sambungan A ( BTS-A )**

<b>Benda uji</b>		<b>BTS-A</b>			
<b>Tanggal pengujian</b>		<b>09/01/2015</b>			
<b>No.</b>	<b>Beban (Kg)</b>	<b>Strain Meter</b>	<b>Kalibrasi</b>	<b>Hasil Pembacaan</b>	<b>Regangan</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	0	1020	0,000001	0	0,000000
2	55,11	1023	0,000001	3	0,000003
3	110,22	1027	0,000001	7	0,000007
4	165,33	1035	0,000001	15	0,000015
5	220,44	1039	0,000001	19	0,000019
6	275,55	1044	0,000001	24	0,000024
7	330,66	1048	0,000001	28	0,000028

8	385,77	1052	0,000001	32	0,000032
9	440,88	1057	0,000001	37	0,000037
10	495,99	1063	0,000001	43	0,000043
11	551,1	1071	0,000001	51	0,000051
12	606,21	1078	0,000001	58	0,000058
13	661,32	1081	0,000001	61	0,000061
14	716,43	1088	0,000001	68	0,000068
15	771,54	1095	0,000001	75	0,000075
16	826,65	1106	0,000001	86	0,000086
17	881,76	1107	0,000001	87	0,000087
18	936,87	1115	0,000001	95	0,000095
19	991,98	1122	0,000001	102	0,000102
20	1047,09	1130	0,000001	110	0,000110
21	1102,2	1137	0,000001	117	0,000117
22	1157,31	1144	0,000001	124	0,000124
23	1212,42	1155	0,000001	135	0,000135
24	1267,53	1176	0,000001	156	0,000156
25	1322,64	1200	0,000001	180	0,000180
26	1377,75	1220	0,000001	200	0,000200
27	1432,86	1701	0,000001	681	0,000681
28	1487,97	1729	0,000001	709	0,000709
29	1543,08	1767	0,000001	747	0,000747
30	1598,19	1827	0,000001	807	0,000807
31	1653,3	1869	0,000001	849	0,000849
32	1708,41	1922	0,000001	902	0,000902
33	1763,52	2005	0,000001	985	0,000985
34	1818,63	2059	0,000001	1039	0,001039
35	1873,74	2123	0,000001	1103	0,001103
36	1928,85	2168	0,000001	1148	0,001148
37	1983,96	2224	0,000001	1204	0,001204
38	2039,07	2260	0,000001	1240	0,001240
39	2094,18	2309	0,000001	1289	0,001289
40	2149,29	2374	0,000001	1354	0,001354
41	2204,4	2410	0,000001	1390	0,001390
42	2259,51	2470	0,000001	1450	0,001450
43	2314,62	2521	0,000001	1501	0,001501
44	2369,73	2572	0,000001	1552	0,001552
45	2424,84	2617	0,000001	1597	0,001597
46	2479,95	2660	0,000001	1640	0,001640
47	2535,06	2715	0,000001	1695	0,001695
48	2590,17	2767	0,000001	1747	0,001747

49	2645,28	2843	0,000001	1823	0,001823
50	2700,39	2879	0,000001	1859	0,001859
51	2755,5	3029	0,000001	2009	0,002009
52	2810,61	3045	0,000001	2025	0,002025
53	2865,72	3065	0,000001	2045	0,002045
54	2920,83	3082	0,000001	2062	0,002062
55	2975,94	3098	0,000001	2078	0,002078
56	2920,83	3176	0,000001	2156	0,002156
57	2810,61	3215	0,000001	2195	0,002195



**Gambar 4.46. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan A**

Seperti pada gambar 4.46 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,000681 dengan beban yang terjadi adalah 1432,81 Kg.

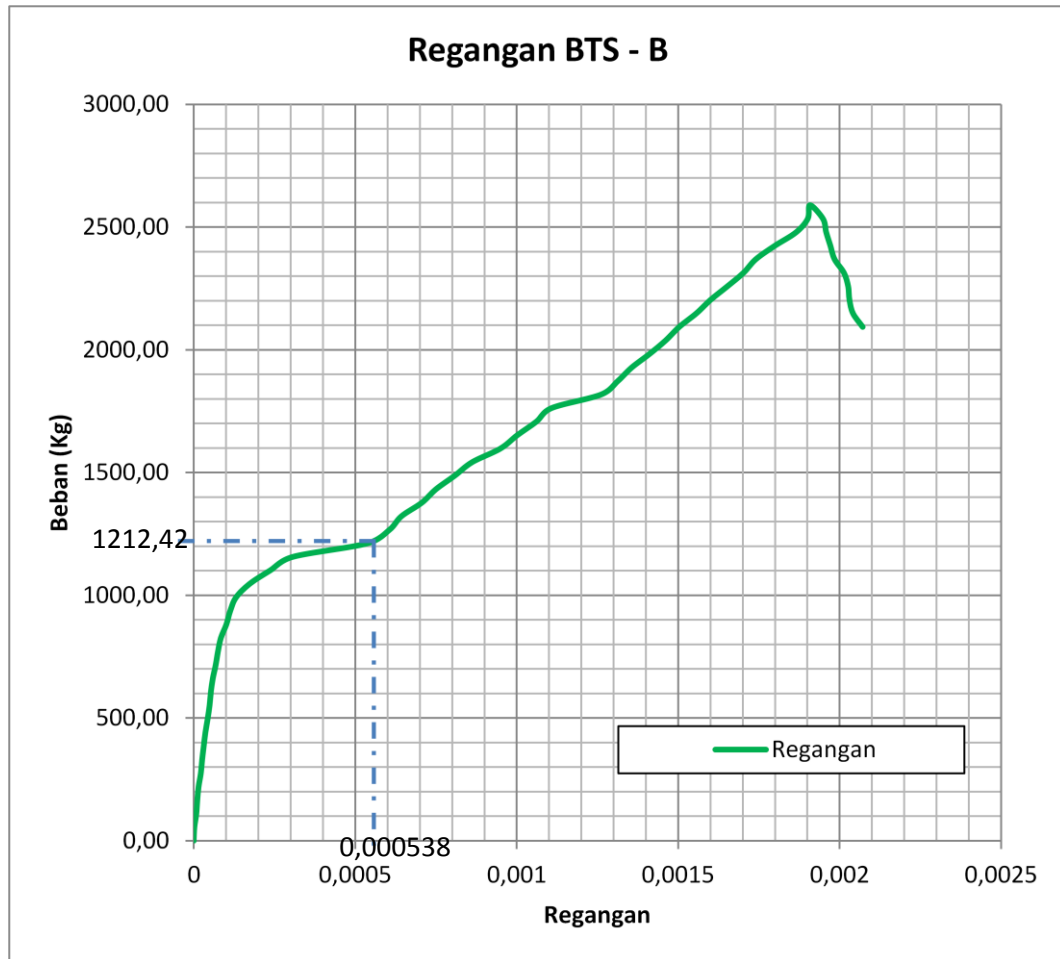
#### 4.5.2 Balok Tanpa Sambungan B ( BTS-B )

Pada tabel 4.27 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.27. Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan B ( BTS-B )**

Benda uji		BTS-B			
Tanggal pengujian		14/01/2014			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Kalibrasi		Defleksi (mm)
1	2	3	4		4
1	0,00	1641	0,000001	0,00	0,000000
2	55,11	1643	0,000001	2,00	0,000002
3	110,22	1649	0,000001	8,00	0,000008
4	165,33	1652	0,000001	11,00	0,000011
5	220,44	1656	0,000001	15,00	0,000015
6	275,55	1663	0,000001	22,00	0,000022
7	330,66	1667	0,000001	26,00	0,000026
8	385,77	1672	0,000001	31,00	0,000031
9	440,88	1677	0,000001	36,00	0,000036
10	495,99	1684	0,000001	43,00	0,000043
11	551,10	1690	0,000001	49,00	0,000049
12	606,21	1694	0,000001	53,00	0,000053
13	661,32	1700	0,000001	59,00	0,000059
14	716,43	1709	0,000001	68,00	0,000068
15	771,54	1716	0,000001	75,00	0,000075
16	826,65	1725	0,000001	84,00	0,000084
17	881,76	1742	0,000001	101,00	0,000101
18	936,87	1754	0,000001	113,00	0,000113
19	991,98	1772	0,000001	131,00	0,000131
20	1047,09	1814	0,000001	173,00	0,000173
21	1102,20	1878	0,000001	237,00	0,000237
22	1157,31	1948	0,000001	307,00	0,000307
23	1212,42	2179	0,000001	538,00	0,000538
24	1267,53	2247	0,000001	606,00	0,000606
25	1322,64	2284	0,000001	643,00	0,000643

26	1377,75	2347	0,000001	706,00	0,000706
27	1432,86	2391	0,000001	750,00	0,000750
28	1487,97	2449	0,000001	808,00	0,000808
29	1543,08	2503	0,000001	862,00	0,000862
30	1598,19	2590	0,000001	949,00	0,000949
31	1653,30	2643	0,000001	1002,00	0,001002
32	1708,41	2702	0,000001	1061,00	0,001061
33	1763,52	2749	0,000001	1108,00	0,001108
34	1818,63	2902	0,000001	1261,00	0,001261
35	1873,74	2954	0,000001	1313,00	0,001313
36	1928,85	2997	0,000001	1356,00	0,001356
37	1983,96	3052	0,000001	1411,00	0,001411
38	2039,07	3102	0,000001	1461,00	0,001461
39	2094,18	3144	0,000001	1503,00	0,001503
40	2149,29	3197	0,000001	1556,00	0,001556
41	2204,40	3241	0,000001	1600,00	0,001600
42	2259,51	3293	0,000001	1652,00	0,001652
43	2314,62	3343	0,000001	1702,00	0,001702
44	2369,73	3381	0,000001	1740,00	0,001740
45	2424,84	3440	0,000001	1799,00	0,001799
46	2479,95	3506	0,000001	1865,00	0,001865
47	2535,06	3542	0,000001	1901,00	0,001901
48	2590,17	3549	0,000001	1908,00	0,001908
49	2535,06	3589	0,000001	1948,00	0,001948
50	2479,95	3599	0,000001	1958,00	0,001958
51	2424,84	3612	0,000001	1971,00	0,001971
52	2369,73	3625	0,000001	1984,00	0,001984
53	2314,62	3654	0,000001	2013,00	0,002013
54	2259,51	3667	0,000001	2026,00	0,002026
55	2204,40	3671	0,000001	2030,00	0,002030
56	2149,29	3682	0,000001	2041,00	0,002041
57	2094,18	3712	0,000001	2071,00	0,002071



**Gambar 4.47. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan B**

Seperti pada gambar 4.46 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,000538 dengan beban yang terjadi adalah 1212,42 Kg.

### 4.5.3 Balok Tanpa Sambungan C ( BTS-C )

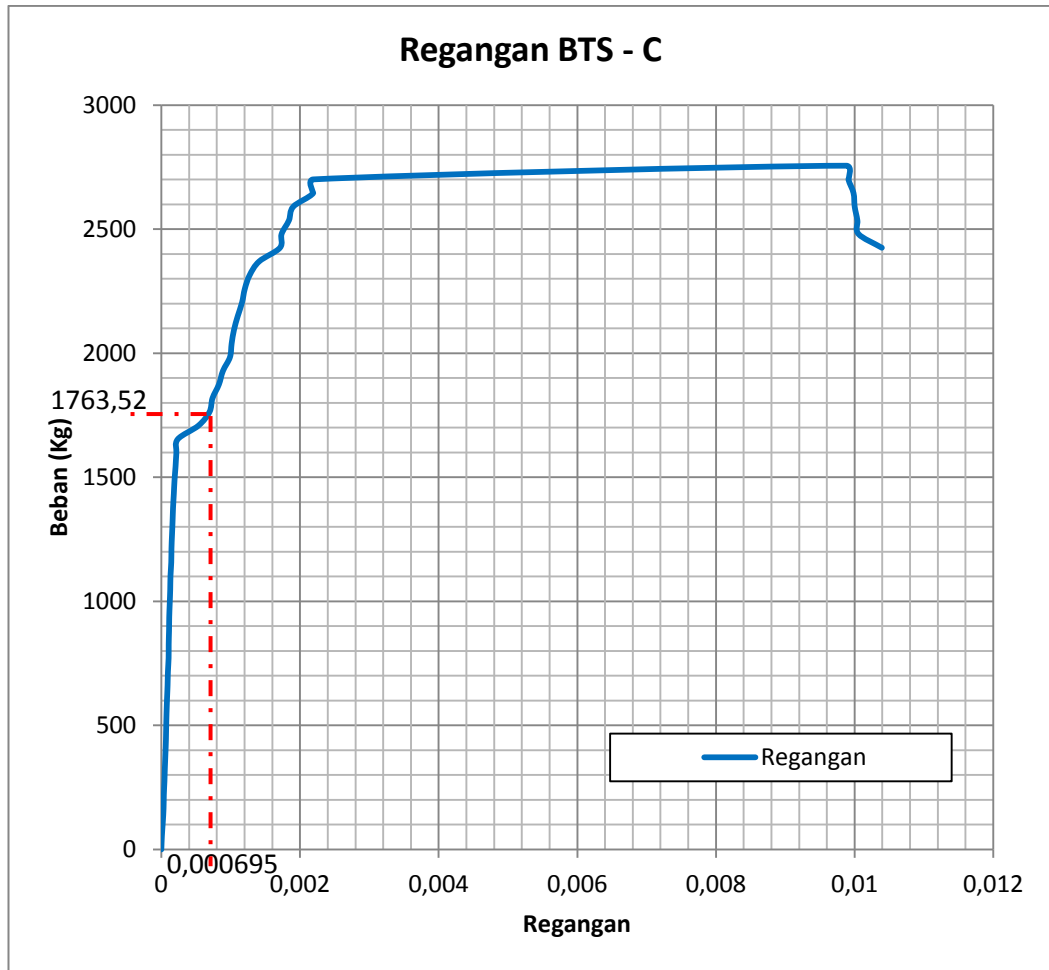
Pada tabel 4.28 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.28. Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan C ( BTS-C )**

Benda uji		BTS-C			
Tanggal pengujian		15/01/2015			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Kalibrasi		Defleksi (mm)
1	2	3	4		4
1	0	8889	0,000001	0	0,000000
2	55,11	8897	0,000001	8	0,000008
3	110,22	8910	0,000001	21	0,000021
4	165,33	8921	0,000001	32	0,000032
5	220,44	8925	0,000001	36	0,000036
6	275,55	8934	0,000001	45	0,000045
7	330,66	8940	0,000001	51	0,000051
8	385,77	8948	0,000001	59	0,000059
9	440,88	8955	0,000001	66	0,000066
10	495,99	8959	0,000001	70	0,000070
11	551,1	8964	0,000001	75	0,000075
12	606,21	8971	0,000001	82	0,000082
13	661,32	8979	0,000001	90	0,000090
14	716,43	8984	0,000001	95	0,000095
15	771,54	8994	0,000001	105	0,000105
16	826,65	8995	0,000001	106	0,000106
17	881,76	9000	0,000001	111	0,000111
18	936,87	9003	0,000001	114	0,000114
19	991,98	9010	0,000001	121	0,000121
20	1047,09	9017	0,000001	128	0,000128
21	1102,2	9021	0,000001	132	0,000132
22	1157,31	9032	0,000001	143	0,000143
23	1212,42	9035	0,000001	146	0,000146
24	1267,53	9043	0,000001	154	0,000154
25	1322,64	9051	0,000001	162	0,000162
26	1377,75	9058	0,000001	169	0,000169
27	1432,86	9069	0,000001	180	0,000180

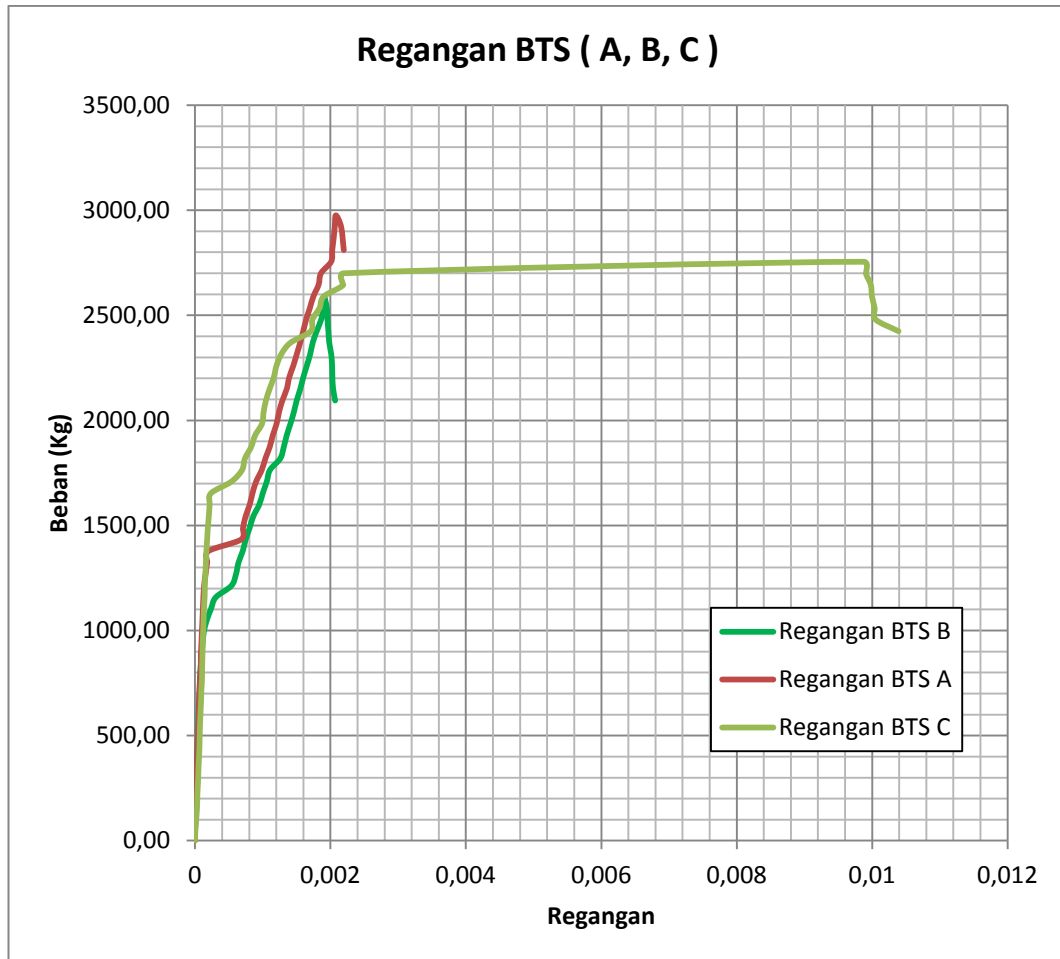


28	1487,97	9079	0,000001	190	0,000190
29	1543,08	9094	0,000001	205	0,000205
30	1598,19	9106	0,000001	217	0,000217
31	1653,3	9126	0,000001	237	0,000237
32	1708,41	9426	0,000001	537	0,000537
33	1763,52	9584	0,000001	695	0,000695
34	1818,63	9627	0,000001	738	0,000738
35	1873,74	9719	0,000001	830	0,000830
36	1928,85	9778	0,000001	889	0,000889
37	1983,96	9879	0,000001	990	0,000990
38	2039,07	9903	0,000001	1014	0,001014
39	2094,18	9937	0,000001	1048	0,001048
40	2149,29	9991	0,000001	1102	0,001102
41	2204,4	10053	0,000001	1164	0,001164
42	2259,51	10093	0,000001	1204	0,001204
43	2314,62	10163	0,000001	1274	0,001274
44	2369,73	10300	0,000001	1411	0,001411
45	2424,84	10600	0,000001	1711	0,001711
46	2479,95	10623	0,000001	1734	0,001734
47	2535,06	10729	0,000001	1840	0,001840
48	2590,17	10791	0,000001	1902	0,001902
49	2645,28	11080	0,000001	2191	0,002191
50	2700,39	11080	0,000001	2191	0,002191
51	2755,5	18768	0,000001	9879	0,009879
52	2700,38	18798	0,000001	9909	0,009909
53	2645,28	18872	0,000001	9983	0,009983
54	2590,17	18889	0,000001	10000	0,010000
55	2535,06	18928	0,000001	10039	0,010039
56	2479,95	18945	0,000001	10056	0,010056
57	2424,84	19281	0,000001	10392	0,010392



**Gambar 4.48. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan C**

Seperti pada gambar 4.48 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,000695 dengan beban yang terjadi adalah 1763,52 Kg.



**Gambar 4.49. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok Tanpa Sambungan A, B, C**

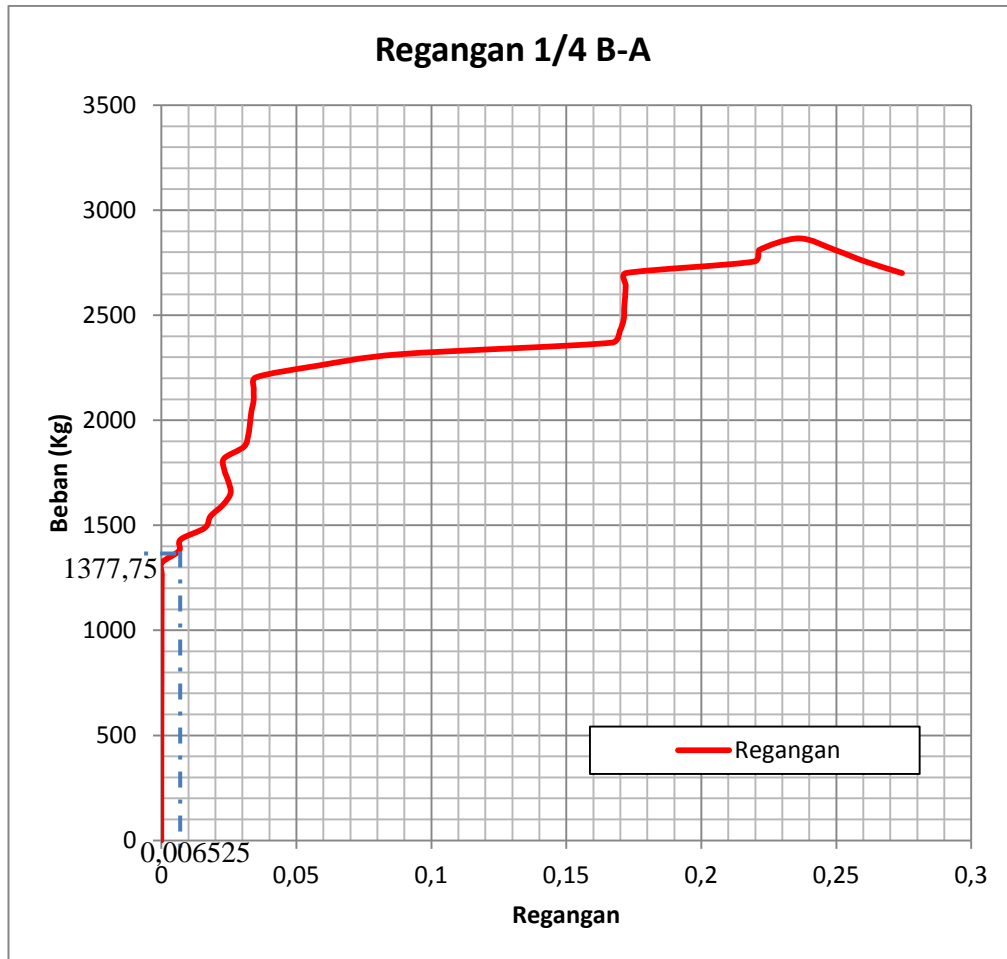
#### **4.5.4 Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang A**

Pada tabel 4.29 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.29. Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan A**

<b>Benda uji Tanggal pengujian Letak LVDT</b>			<b>B 1/4 – A 12/01/2015 1/4 B</b>		
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan Strain Meter</b>	<b>Kalibrasi Alat</b>	<b>Hasil Pengamatan</b>	<b>Regangan</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>			<b>4</b>
1	0	17478	0,000001	0,00	0,000000
2	55,11	17479	0,000001	1,00	0,000001
3	110,22	17485	0,000001	7,00	0,000007
4	165,33	17486	0,000001	8,00	0,000008
5	220,44	17493	0,000001	15,00	0,000015
6	275,55	17493	0,000001	15,00	0,000015
7	330,66	17500	0,000001	22,00	0,000022
8	385,77	17501	0,000001	23,00	0,000023
9	440,88	17510	0,000001	32,00	0,000032
10	495,99	17511	0,000001	33,00	0,000033
11	551,1	17522	0,000001	44,00	0,000044
12	606,21	17523	0,000001	45,00	0,000045
13	661,32	17533	0,000001	55,00	0,000055
14	716,43	17536	0,000001	58,00	0,000058
15	771,54	17554	0,000001	76,00	0,000076
16	826,65	17557	0,000001	79,00	0,000079
17	881,76	17571	0,000001	93,00	0,000093
18	936,87	17577	0,000001	99,00	0,000099
19	991,98	17588	0,000001	110,00	0,000110
20	1047,09	17592	0,000001	114,00	0,000114
21	1102,2	17609	0,000001	131,00	0,000131
22	1157,31	17613	0,000001	135,00	0,000135
23	1212,42	17635	0,000001	157,00	0,000157
24	1267,53	17683	0,000001	205,00	0,000205
25	1322,64	17722	0,000001	244,00	0,000244
26	1377,75	24003	0,000001	6525,00	0,006525
27	1432,86	24673	0,000001	7195,00	0,007195
28	1487,97	33596	0,000001	16118,00	0,016118
29	1543,08	35698	0,000001	18220,00	0,018220
30	1598,19	40385	0,000001	22907,00	0,022907
31	1653,3	43141	0,000001	25663,00	0,025663

32	1708,41	42331	0,000001	24853,00	0,024853
33	1763,52	40831	0,000001	23353,00	0,023353
34	1818,63	40777	0,000001	23299,00	0,023299
35	1873,74	48067	0,000001	30589,00	0,030589
36	1928,85	49686	0,000001	32208,00	0,032208
37	1983,96	50320	0,000001	32842,00	0,032842
38	2039,07	50816	0,000001	33338,00	0,033338
39	2094,18	51676	0,000001	34198,00	0,034198
40	2149,29	51747	0,000001	34269,00	0,034269
41	2204,4	52572	0,000001	35094,00	0,035094
42	2259,51	75255	0,000001	57777,00	0,057777
43	2314,62	105967	0,000001	88489,00	0,088489
44	2369,73	184472	0,000001	166994,00	0,166994
45	2424,84	187282	0,000001	169804,00	0,169804
46	2479,95	188729	0,000001	171251,00	0,171251
47	2535,06	188920	0,000001	171442,00	0,171442
48	2590,17	189271	0,000001	171793,00	0,171793
49	2645,28	189472	0,000001	171994,00	0,171994
50	2700,39	189523	0,000001	172045,00	0,172045
51	2755,5	237101	0,000001	219623,00	0,219623
52	2810,61	238918	0,000001	221440,00	0,221440
53	2865,72	253618	0,000001	236140,00	0,236140
54	2810,61	266982	0,000001	249504,00	0,249504
55	2755,5	278199	0,000001	260721,00	0,260721
56	2700,39	291810	0,000001	274332,00	0,274332



**Gambar 4.50. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Bentang Sambungan A**

Seperti pada gambar 4.50 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,006525 dengan beban yang terjadi adalah 1377,75 Kg.

#### **4.5.5 Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang B**

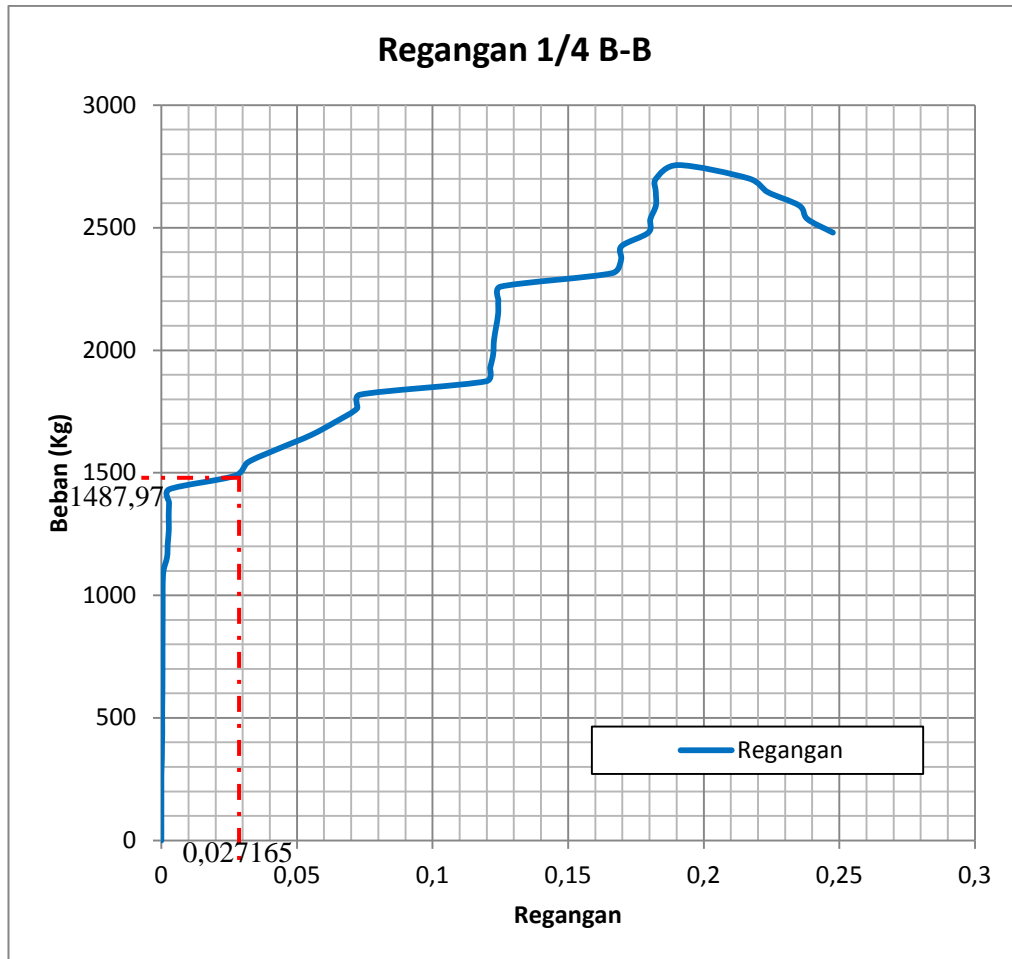
Pada tabel 4.30 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.30. Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan B**

Benda uji Tanggal pengujian Letak LVDT			B 1/4 - B 14/01/2015 1/2 B		
No.	Beban ( Kg )	Bacaan Strain Meter	Nilai Kalibrasi	Hasil Pembacaan	Regangan
1	2	3	4	5	6
1	0	19570	0,000001	0,00	0,000000
2	55,11	19570	0,000001	0,00	0,000000
3	110,22	19571	0,000001	1,00	0,000001
4	165,33	19575	0,000001	5,00	0,000005
5	220,44	19580	0,000001	10,00	0,000010
6	275,55	19588	0,000001	18,00	0,000018
7	330,66	19756	0,000001	186,00	0,000186
8	385,77	19801	0,000001	231,00	0,000231
9	440,88	19905	0,000001	335,00	0,000335
10	495,99	19875	0,000001	305,00	0,000305
11	551,1	19896	0,000001	326,00	0,000326
12	606,21	19955	0,000001	385,00	0,000385
13	661,32	19982	0,000001	412,00	0,000412
14	716,43	19989	0,000001	419,00	0,000419
15	771,54	19996	0,000001	426,00	0,000426
16	826,65	20018	0,000001	448,00	0,000448
17	881,76	20035	0,000001	465,00	0,000465
18	936,87	20056	0,000001	486,00	0,000486
19	991,98	20064	0,000001	494,00	0,000494
20	1047,09	20073	0,000001	503,00	0,000503
21	1102,2	20381	0,000001	811,00	0,000811
22	1157,31	21682	0,000001	2112,00	0,002112
23	1212,42	21927	0,000001	2357,00	0,002357
24	1267,53	22323	0,000001	2753,00	0,002753
25	1322,64	22263	0,000001	2693,00	0,002693
26	1377,75	22410	0,000001	2840,00	0,002840
27	1432,86	22476	0,000001	2906,00	0,002906
28	1487,97	46735	0,000001	27165,00	0,027165
29	1543,08	51509	0,000001	31939,00	0,031939

30	1598,19	62693	0,000001	43123,00	0,043123
31	1653,3	74619	0,000001	55049,00	0,055049
32	1708,41	83852	0,000001	64282,00	0,064282
33	1763,52	91782	0,000001	72212,00	0,072212
34	1818,63	92718	0,000001	73148,00	0,073148
35	1873,74	139426	0,000001	119856,00	0,119856
36	1928,85	140811	0,000001	121241,00	0,121241
37	1983,96	141928	0,000001	122358,00	0,122358
38	2039,07	142191	0,000001	122621,00	0,122621
39	2094,18	142982	0,000001	123412,00	0,123412
40	2149,29	143761	0,000001	124191,00	0,124191
41	2204,4	143829	0,000001	124259,00	0,124259
42	2259,51	144621	0,000001	125051,00	0,125051
43	2314,62	185832	0,000001	166262,00	0,166262
44	2369,73	189072	0,000001	169502,00	0,169502
45	2424,84	189273	0,000001	169703,00	0,169703
46	2479,95	199123	0,000001	179553,00	0,179553
47	2535,06	199882	0,000001	180312,00	0,180312
48	2590,17	201921	0,000001	182351,00	0,182351
49	2645,28	201898	0,000001	182328,00	0,182328
50	2700,39	201998	0,000001	182428,00	0,182428
51	2755,5	210191	0,000001	190621,00	0,190621
52	2700,39	236289	0,000001	216719,00	0,216719
53	2645,28	243131	0,000001	223561,00	0,223561
54	2590,17	254782	0,000001	235212,00	0,235212
55	2535,06	257819	0,000001	238249,00	0,238249
56	2479,95	267189	0,000001	247619,00	0,247619





**Gambar 4.51. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Bentang Sambungan B**

Seperti pada gambar 4.51 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,027165 dengan beban yang terjadi adalah 1487,97 Kg.

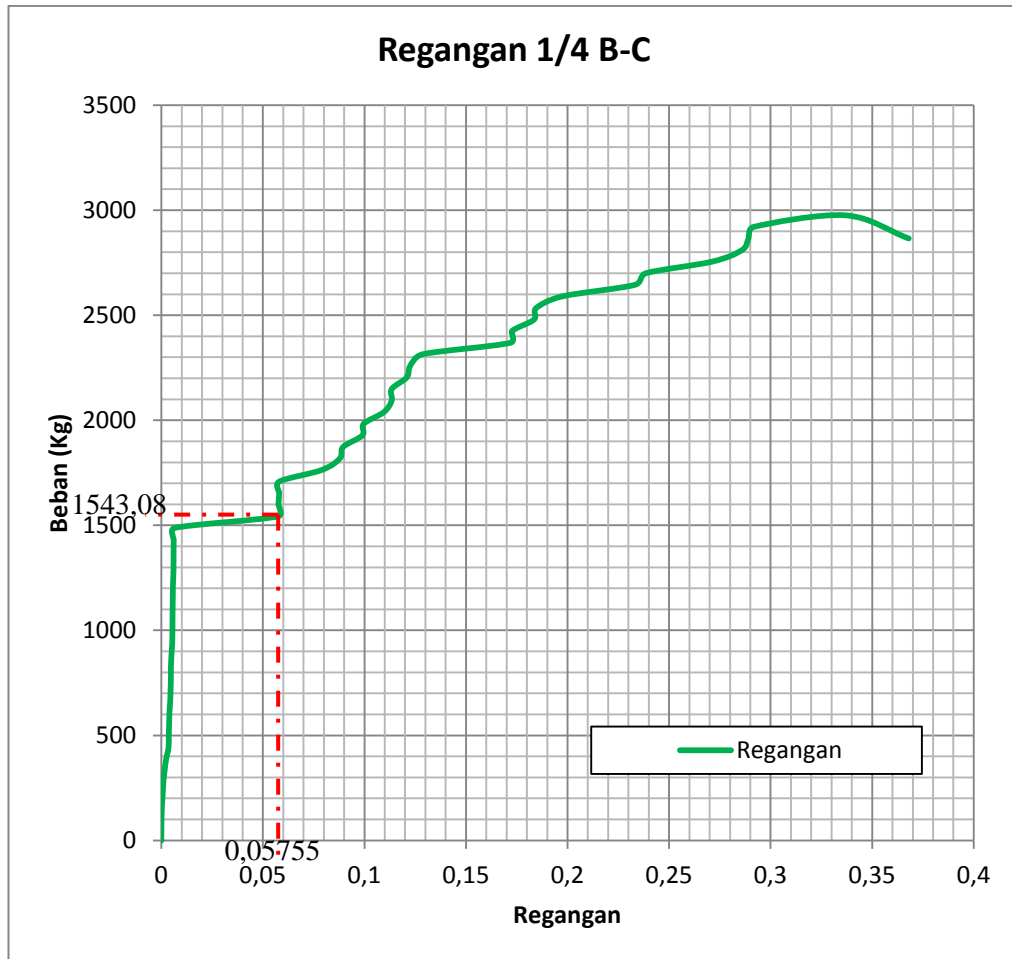
#### 4.5.6 Balok T Dengan Sambungan 1/4 Bentang C

Pada tabel 4.31 dibawah ini adalah hasil pengamatan strain guages untuk memperoleh nilai regangan pada balok saat dibebani.

**Tabel 4.31. Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Sambungan C**

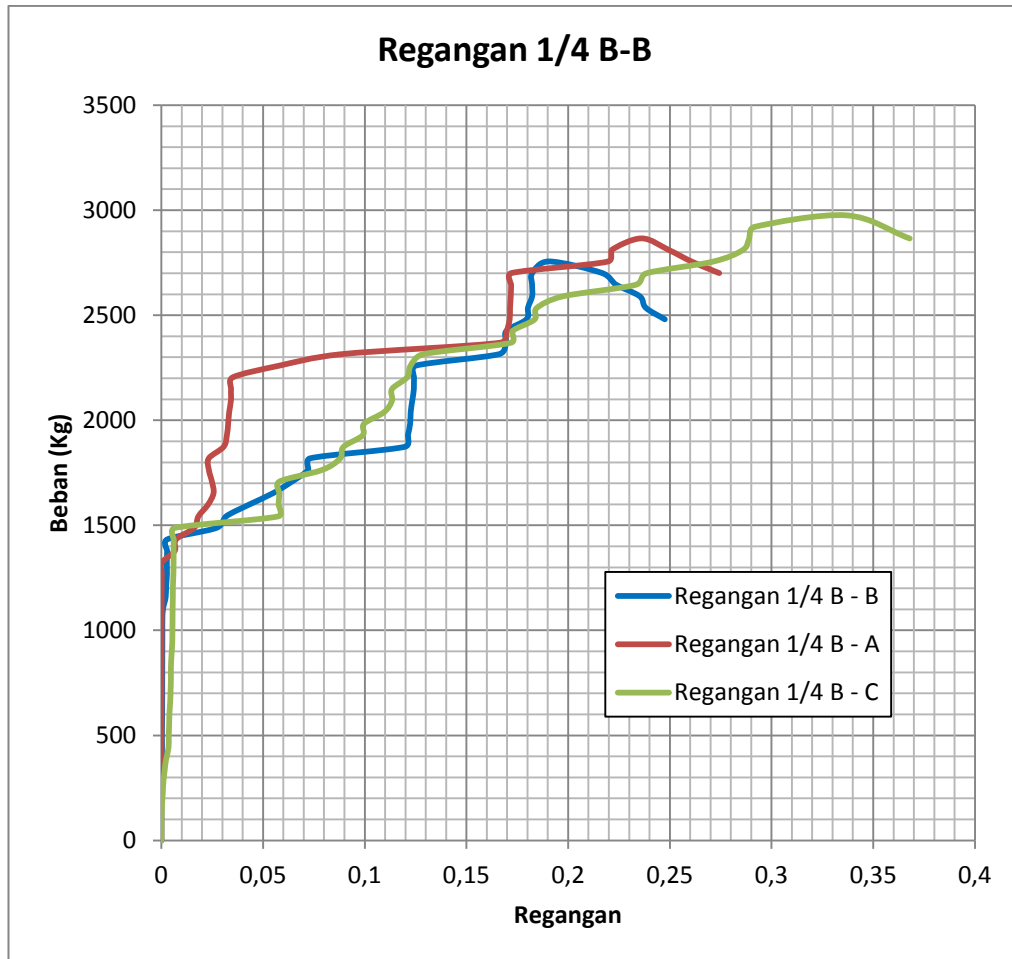
<b>Benda uji Tanggal pengujian Letak Strain Guages</b>			<b>B 1/4 - C 15/01/2015 1/4 B</b>		
<b>No.</b>	<b>Beban ( Kg )</b>	<b>Bacaan Strain Meter</b>	<b>Kalibrasi Alat</b>	<b>Hasil Pembacaan</b>	<b>Regangan</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
1	0	10277	0,000001	0,00	0,00000
2	55,11	10309	0,000001	32,00	0,00003
3	110,22	10383	0,000001	106,00	0,00011
4	165,33	10584	0,000001	307,00	0,00031
5	220,44	10954	0,000001	677,00	0,00068
6	275,55	11257	0,000001	980,00	0,00098
7	330,66	11859	0,000001	1582,00	0,00158
8	385,77	12612	0,000001	2335,00	0,00234
9	440,88	13805	0,000001	3528,00	0,00353
10	495,99	13928	0,000001	3651,00	0,00365
11	551,1	14101	0,000001	3824,00	0,00382
12	606,21	14263	0,000001	3986,00	0,00399
13	661,32	14635	0,000001	4358,00	0,00436
14	716,43	14827	0,000001	4550,00	0,00455
15	771,54	14982	0,000001	4705,00	0,00471
16	826,65	14998	0,000001	4721,00	0,00472
17	881,76	15261	0,000001	4984,00	0,00498
18	936,87	15627	0,000001	5350,00	0,00535
19	991,98	15726	0,000001	5449,00	0,00545
20	1047,09	15782	0,000001	5505,00	0,00551
21	1102,2	15829	0,000001	5552,00	0,00555
22	1157,31	15927	0,000001	5650,00	0,00565
23	1212,42	15982	0,000001	5705,00	0,00571
24	1267,53	16210	0,000001	5933,00	0,00593
25	1322,64	16289	0,000001	6012,00	0,00601
26	1377,75	16320	0,000001	6043,00	0,00604
27	1432,86	16378	0,000001	6101,00	0,00610
28	1487,97	16820	0,000001	6543,00	0,00654
29	1543,08	67822	0,000001	57545,00	0,05755
30	1598,19	67928	0,000001	57651,00	0,05765
31	1653,3	68289	0,000001	58012,00	0,05801

32	1708,41	68313	0,000001	58036,00	0,05804
33	1763,52	89188	0,000001	78911,00	0,07891
34	1818,63	98172	0,000001	87895,00	0,08790
35	1873,74	99827	0,000001	89550,00	0,08955
36	1928,85	109282	0,000001	99005,00	0,09901
37	1983,96	109982	0,000001	99705,00	0,09971
38	2039,07	119822	0,000001	109545,00	0,10955
39	2094,18	123711	0,000001	113434,00	0,11343
40	2149,29	123728	0,000001	113451,00	0,11345
41	2204,4	131109	0,000001	120832,00	0,12083
42	2259,51	132819	0,000001	122542,00	0,12254
43	2314,62	138921	0,000001	128644,00	0,12864
44	2369,73	182296	0,000001	172019,00	0,17202
45	2424,84	182911	0,000001	172634,00	0,17263
46	2479,95	193781	0,000001	183504,00	0,18350
47	2535,06	194892	0,000001	184615,00	0,18462
48	2590,17	207636	0,000001	197359,00	0,19736
49	2645,28	243540	0,000001	233263,00	0,23326
50	2700,39	248903	0,000001	238626,00	0,23863
51	2755,5	281504	0,000001	271227,00	0,27123
52	2810,61	296192	0,000001	285915,00	0,28592
53	2865,72	299381	0,000001	289104,00	0,28910
54	2920,83	301928	0,000001	291651,00	0,29165
55	2975,94	347181	0,000001	336904,00	0,33690
56	2865,72	378291	0,000001	368014,00	0,36801



**Gambar 4.52. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Bentang Sambungan C**

Seperti pada gambar 4.52 diketahui bahwa regangan pada saat elastis pada balok sebesar 0,05755 dengan beban yang terjadi adalah 1543,08 Kg.



**Gambar 4.53. Hubungan Beban dan Regangan Pada Balok T Dengan 1/4 Bentang Sambungan A,B,C**

Dari Hasil Pengamatan pada strain Guages dapat dilihat perbandingan balok tanpa sambungan ( BTS ) dan Balok T dengan sambungan 1/4 bentang dapat dilihat pada tabel 4.32 dibawah ini.

**Tabel 4.32. Nilai Regangan Pada BTS dan Balok T Sambungan 1/4 Bentang**

No	Uraian	Beban ( P ) ( Kg )	Regangan
1	Balok T sanpa sambungan (A)	1432,86	0,000681
2	Balok T sanpa sambungan (B)	1212,42	0,000538
3	Balok T sanpa sambungan (C)	1763,52	0,000695
4	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (A)	1487,97	0,016118
5	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (B)	1487,97	0,027165
6	Balok T jarak sambungan 1/4 B tengah bentang (C)	1543,08	0,057545

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh sambungan balok T jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang dan balok tanpa sambungan ( BTS ) terhadap kekuatan balok yang telah dilaksanakan memberikan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hasil nilai beban - kuat lentur ( M ) balok T Teoritis dengan beban maksimum ( P ) adalah 50594,59 N dengan momen 28905926.28 Nmm, Balok T tanpa sambungan dengan nilai beban ( P ) eksperimen adalah 26452.8 N dengan nilai momen 15625940 Nmm. Sedangkan nilai beban-kuat lentur pada balok T dengan jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang dengan nilai beban eksperimen ( P ) 27922.4 N dan nilai momen yang terjadi adalah 16434220 Nmm. Jadi perbandingan nilai kuat lentur antara balok T tanpa sambungan dan balok T dengan jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang dapat dipresentasikan dengan nilai kuat lentur adalah 5.26% sedangkan beban puncak adalah 4.92%. Sedangkan presentase antara teoritis dengan BTS momen lentur adalah 45.94 % dan beban puncak 47.72 %.
2. Berdasarkan hasil nilai beban-kuat geser balok T teoritis beban ( P ) adalah 50594.59 N dengan kuat geser 27258.94 Nmm. Balok T tanpa sambungan ( BTS ) diketahui beban eksperimen ( P ) = 264452.8 N dengan nilai kuat geser (  $V_u$  ) = 1518440 Nmm dan balok T dengan jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang diketahui beban puncak ( P ) mengalami kenaikan yaitu 27922.4 N dan nilai

kuat geser ( $V_u$ ) = 15919.20 Nmm. Presentase perbandingan antara balok T tanpa sambungan dan balok T dengan jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang adalah 4.62% untuk beban puncak dan 5.26% untuk nilai kuat geser. Sedangkan presentase perbandingan antara teoritis dengan BTS adalah beban puncak 47.72 % dan Momen Geser 44.30 %.

3. Berdasarkan nilai beban – lendutan dimana untuk balok T tanpa sambungan ( BTS ) dapat menerima beban maksimum ( $P$ ) = 2838.17 Kg dengan besar defleksi  $\Delta$  = 8.4 mm dan balok T dengan sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang diketahui beban puncak ( $P$ ) = 2920.83 Kg dengan defleksi  $\Delta$  = 4.02 mm. Sedangkan defleksi  $\Delta$  = 2.44 mm yang di alami pada tengah bentang balok T jarak sambungan  $\frac{1}{4}$  bentang. Jadi dapat di presentasikan bahwa perbedean antara BTS dan balok T sambungan jarak  $\frac{1}{4}$  bentang pada tengah bentang adalah untuk beban puncak 2.83 % dan untuk lendutan puncak 70.95 %. Presentase perbandingan teoritis dengan BTS adalah beban puncak 43.90 % dan lendutan puncak 47.74%.
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  $\frac{1}{4}$  bentang retak awal betada di tengah bentang atau di daerah posisi pemberian beban dan retak tidak berpengaruh pada sambungan  $\frac{1}{4}$  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 dengan menggunakan lebih banyak lagi variasi letak sambungan misalkan  $1/6$  bentang,  $1/5$  bentang.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi diameter tulangan yang lebih banyak lagi, serta bisa dengan menggunakan tulangan baja ulir dan polos.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dimensi balok dengan metode skala model untuk memperkirakan hasil penelitian dengan dimensi lain yang diskala model.
4. Pelaksanaan penelitian sebaiknya dilakukan di laboratorium supaya hasil pengujian sesuai yang diharapkan. Karena mendapatkan pengawasan yang maksimal.
5. Waktu pelaksanaan penelitian diusahakan sebelum membuat benda uji sebaiknya melihat alat yang dibutuhkan dan kapasitas alat.
6. Perlu diperhatikan pada tumpuan pada saat melakukan pengujian di laboratorium. Apakah tumpuan sesuai yang telah direncanakan supaya tidak terjadi perbedaan yang sangat jauh dari apa yang diperhitungkan.



### 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

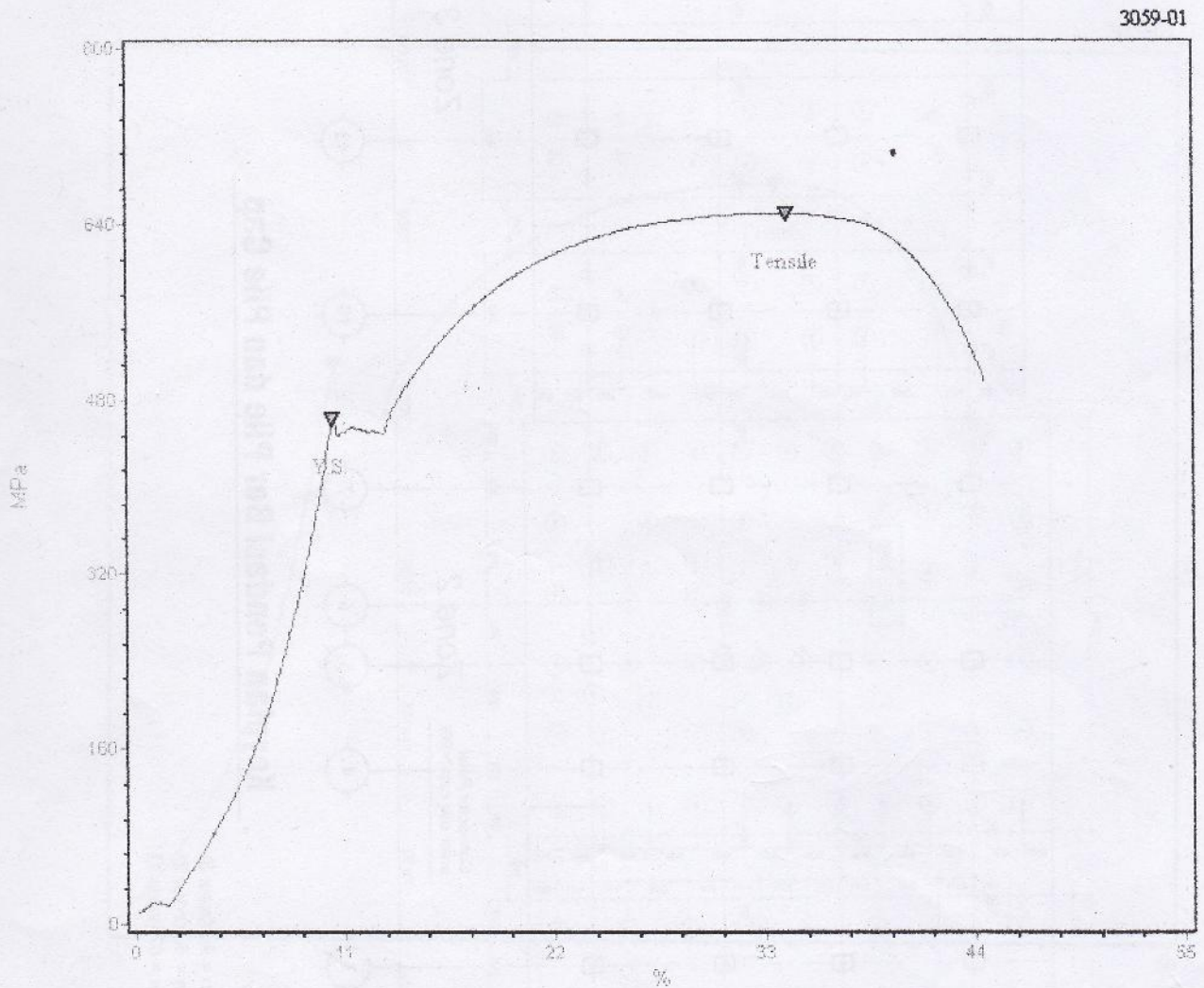
Test No : 3059

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

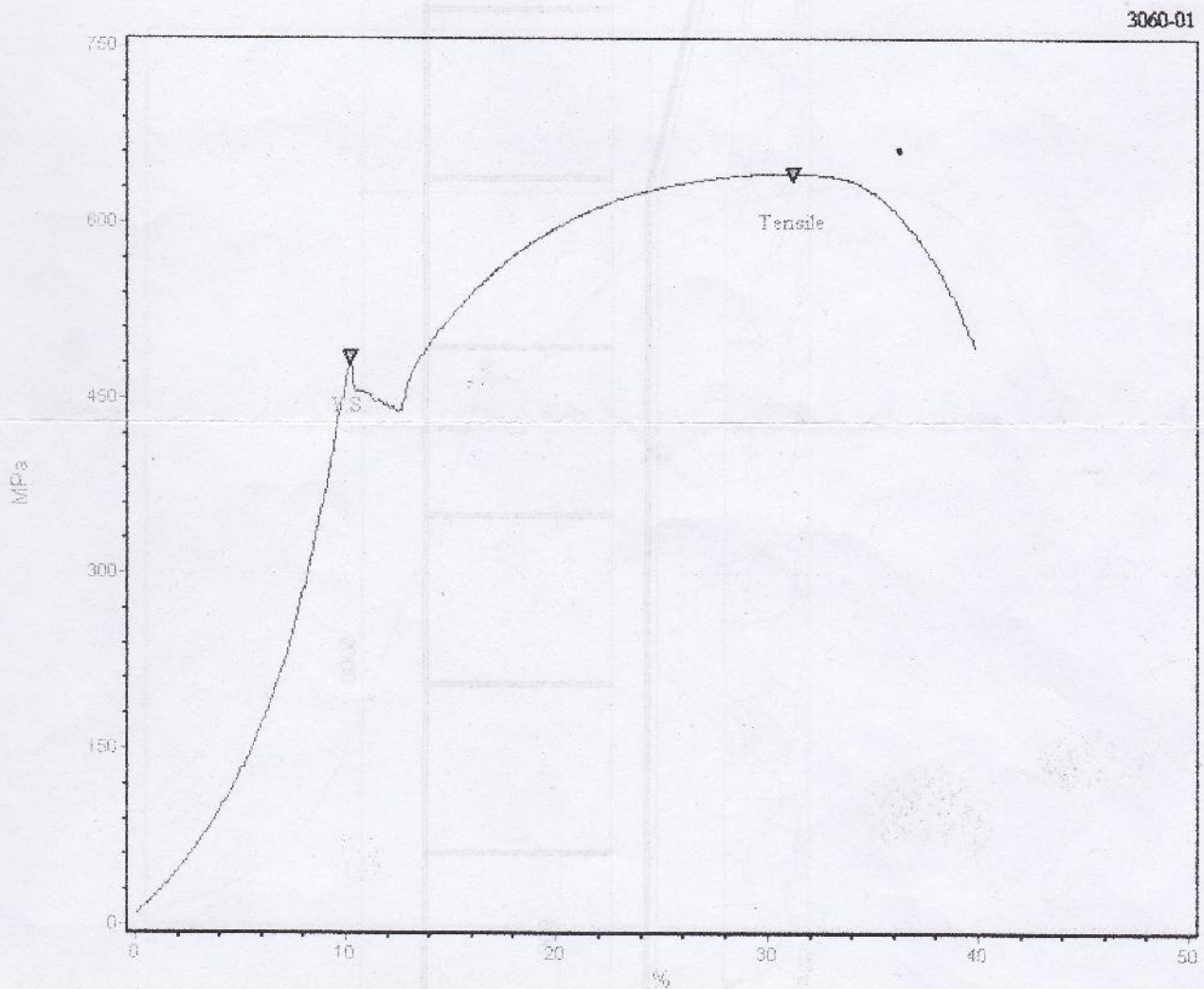
Test No : 3060

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

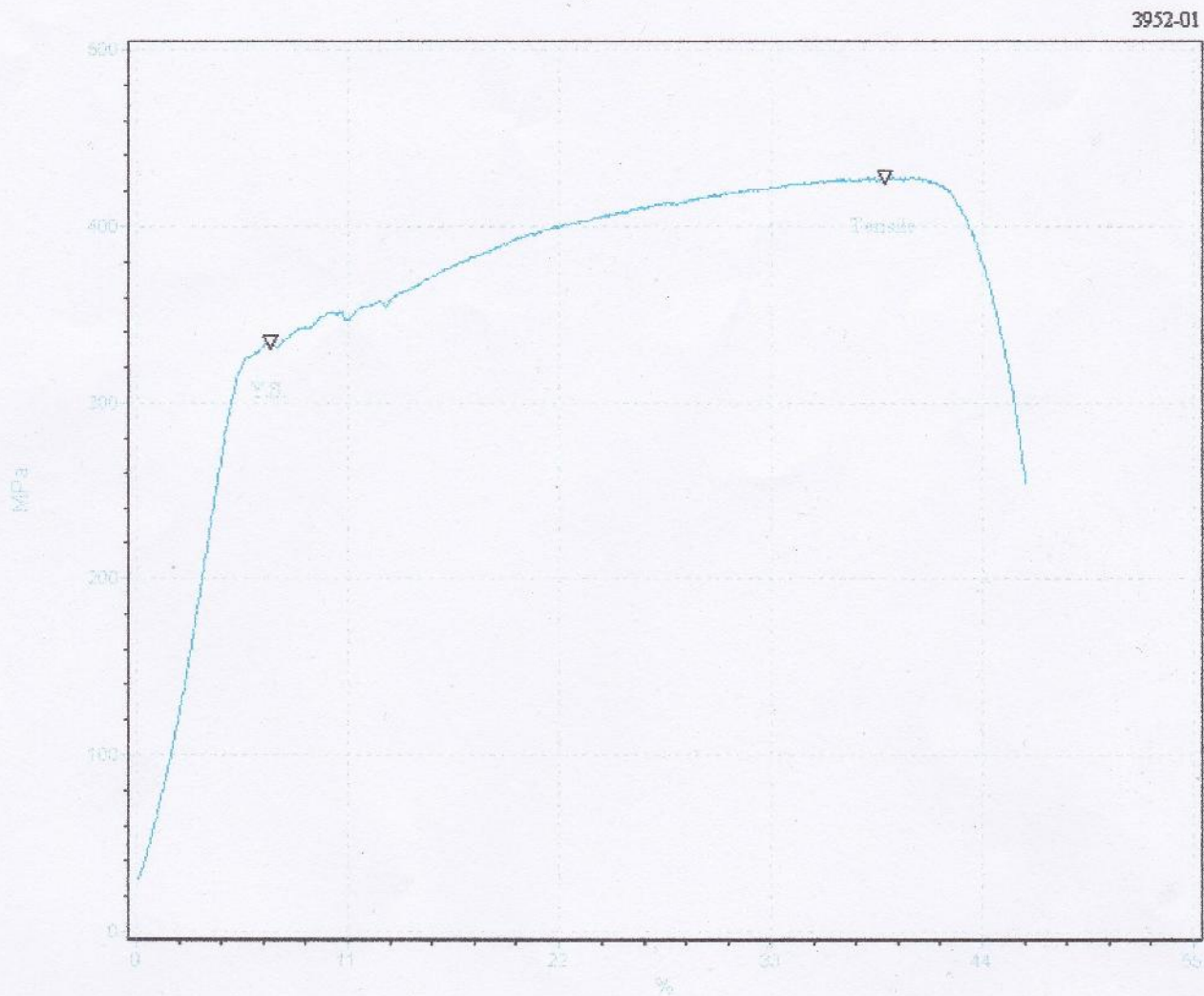
Test No : 3952

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**

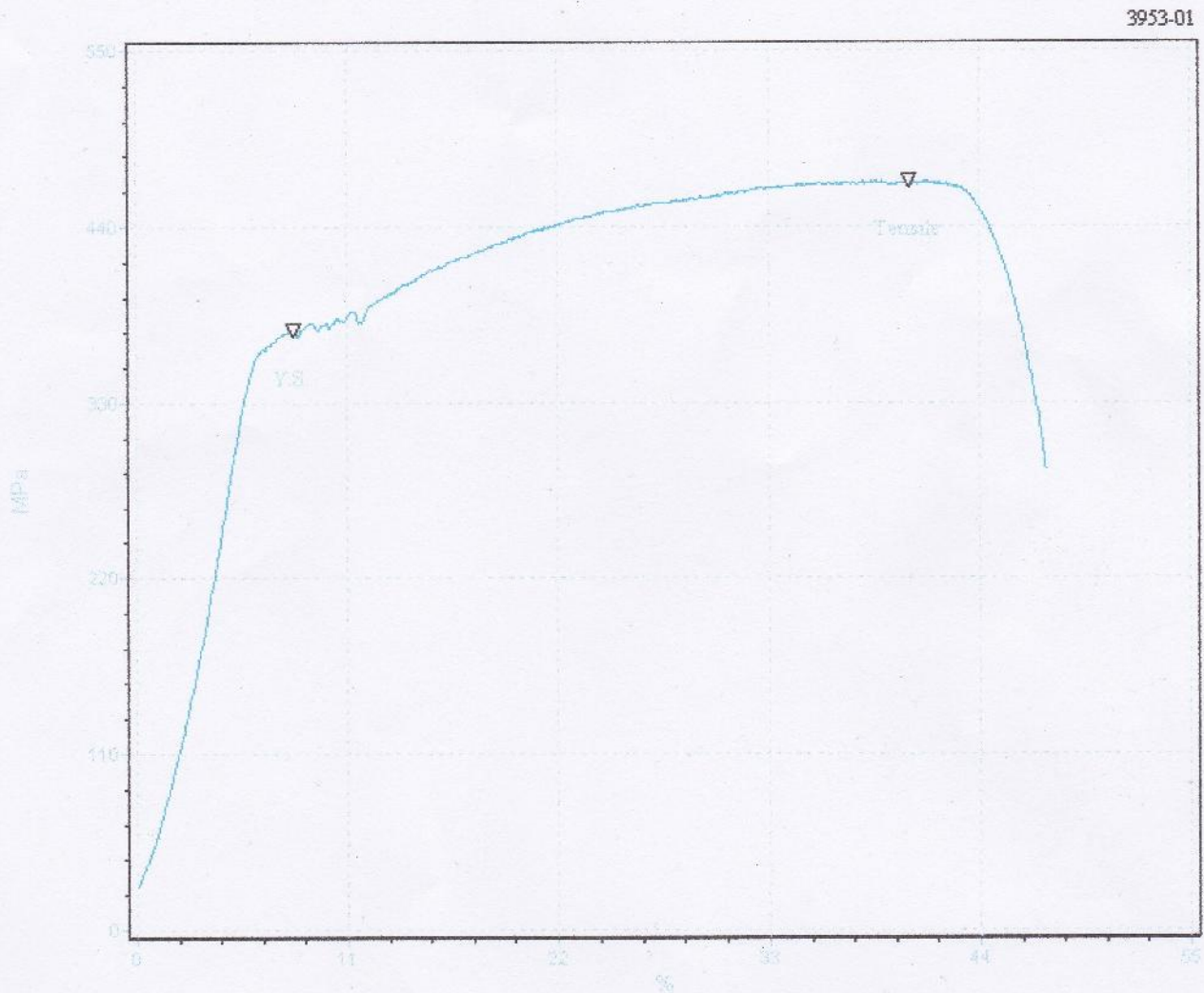
Test No : 3953

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**

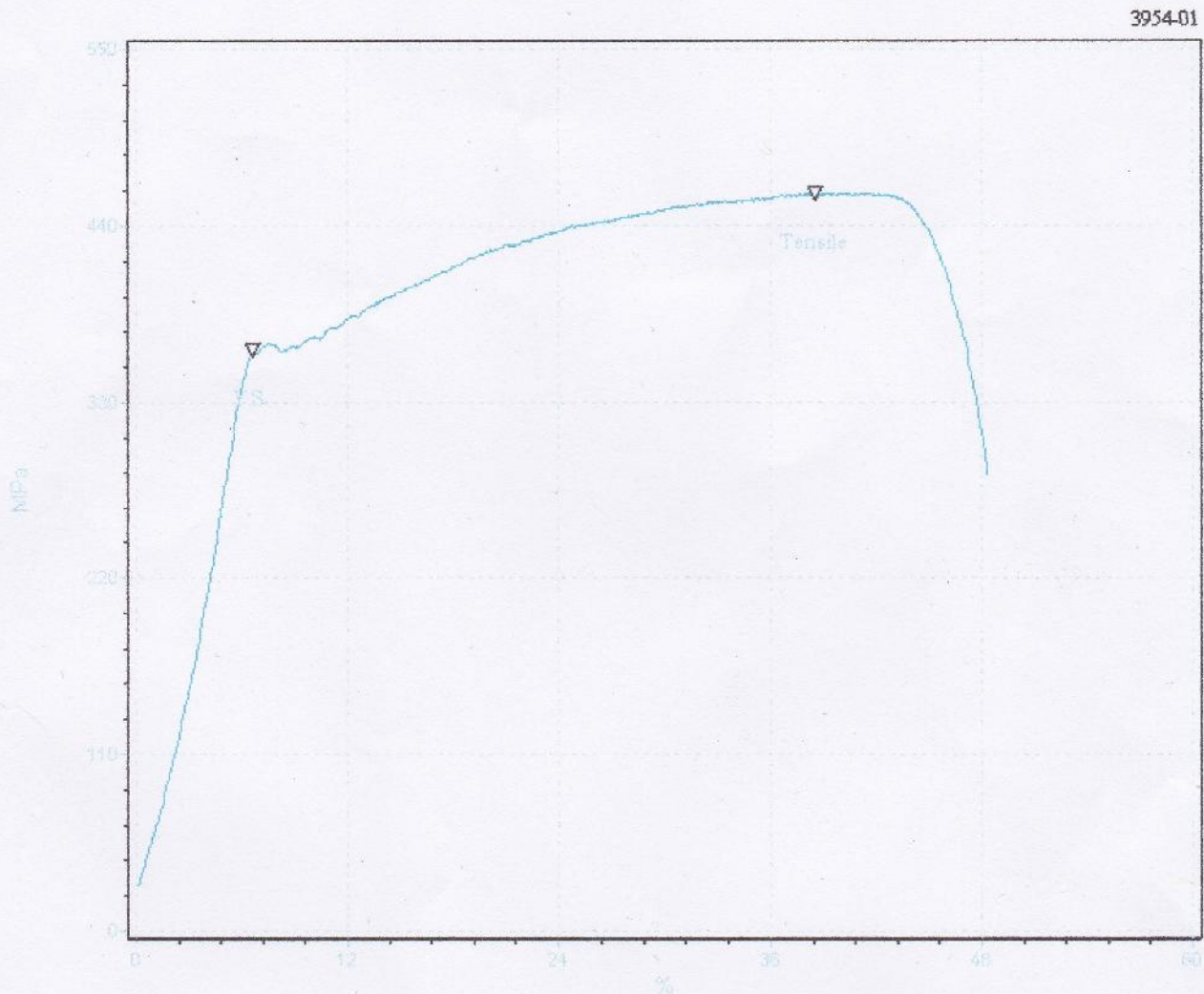
Test No : 3954

Standard : ASTM A370

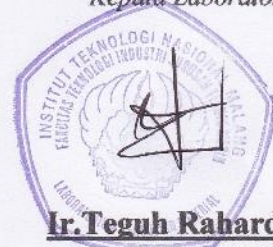
Test Description : Tensile

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**  
**DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN**

- **Pembuatan Begisting**



- **Pembesian**



- **Pengecoran**



- **Pengujian Benda Uji**



