

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :

CHRISENSIANA LAKA ASA

10.21.035

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

MALANG

2015

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN
LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER DUA BENTANG TERHADAP
KEKUATAN BALOK "T"**

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

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

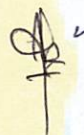
Disusun Oleh :

**Chrisensiana Laka Asa
(10.21.035)**

Disahkan Oleh :

Ketua

Sekretaris



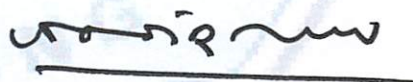
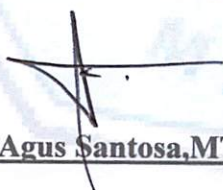
(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

(Lila Ayu Ratna W. ST. MT.)

Anggota penguji :

Penguji I

Penguji II



(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

(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 PADA JARAK SEPER DUA BENTANG TERHADAP
KEKUATAN BALOK "T"**

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

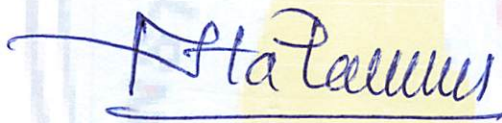
Disusun Oleh :

**Chrisensiana Laka Asa
(10.21.035)**

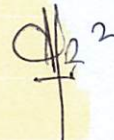
Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. Togi H. Nainggolan, MS.)



(Lila Ayu Ratna W. ST. 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
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S1**

Kampus I : Jl. Bendungan sigura-gura, No.2, Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636, Fax. (0341) 417634 Malang

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Chrisensiana Laka Asa
NIM : 10.21.035
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 PADA JARAK SEPER DUA BENTANG TERHADAP
KEKUATAN BALOK T”**

Adalah skripsi hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip ataupun menyadur seluruhnya karya orang lain kecuali yang disebut dari sumber aslinya.

Malang, 28 Februari 2015

Yang Membuat Pernyataan



(Chrisensiana Laka Asa)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan baik dan lancar.

Laporan skripsi ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam penyelesaian gelar strata satu (S-1), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyelesaian laporan skripsi ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan.
2. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
3. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MT. Selaku koordinator bidang penelitian pada penulisan skripsi dan juga dosen pembimbing skripsi.
4. Ibu lila Ayu Ratna W. ST, MT. Selaku dosen pembimbing skripsi
5. Kedua Orang Tua tercinta yang telah banyak memberikan bantuan baik moril maupun materi, serta doa sehingga terselesaikan proposal skripsi ini.
6. Untuk Emanuel Seran yang telah memberi semangat, dukungan dan doa serta saudara chun, Ano, Evan dan Roni yang telah membantu saya dalam pengetesan benda uji.
7. Teman-Teman yang telah memberi semangat, dukungan dan doa untuk penyelesaian skripsi ini.

8. Untuk ade – ade tercinta saya yang selalu mendukung dalam doa dan memberi semangat untuk penyelesaian skripsi ini.

Penyusun menyadari bahwa pada skripsi ini, mungkin masih banyak kekurangan ataupun kesalahan. Oleh karena itu, penyusun selalu mengharapkan saran, petunjuk, kritik dan bimbingan yang bersifat membangun, demi kelanjutan kami selanjutnya.

Malang, Maret 2015

Penyusun

ABSTRAK

Asa, Chrisensiana, Laka. 2015. *Pengaruh Letak Sambungan Beton Dan Tulangan Longitudinal Pada Jarak Seper-Dua Bentang Terhadap Kekuatan Balok "T"*. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Pembimbing : (I) Ir. Togi H Nainggolan., MS, (II) Lila Ayu Ratna Winanda.,ST., MT.

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-dua 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-dua 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 – dua bentang didapatkan perbedaan yaitu nilai kuat lentur 82,41 % , beban puncak 77,41 % , Nilai kuat geser 77,42 % , beban puncak 83,36 % , Lendutan Δ maks 77,42 % , Δ runtuhan 79,83 % , posisi retak yang terjadi pada tengah balok atau diposisi pemberian beban. Dari hasil pengujian sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak seper – dua bentang tidak berpengaruh pada kekuatan balok. Sehingga dapat di aplikasikan kedalam struktur bangunan.

Kata Kunci : Letak Sambungan, Tulangan Longitudinal, Balok T

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAKSI.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
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 Pengekangan pada Beton.....	14
2.3 Metode Perencanaan.....	15
2.4 Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan.....	16
2.5 Baja Tulangan	18
2.6 Prinsip – Prinsip Perencanaan.....	19
2.7 Perencanaan Balok T.....	24
2.8 Kekuatan dan Tulangan Geser	31
2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak	34
2.10 Defleksi Balok T	37
2.11 Defleksi Balok yang Bertulangan Tekan	40

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Parameter Penelitian.....	44
3.2	Model Analisa.....	45
3.3	Pengujian di Laboratorium	46
3.4	Umum	55
3.5	Analisis Hasil Laboratorium	55
3.6	Analisis Teoritis	59
3.6.1	Kontrol Momen	61
3.6.2	Penulangan Geser	68
3.6.3	Perhitungan Lendutan	73
3.7	Perhitungan Kuat Lentur Teoritis.....	92
3.8	Perhitungan Kuat Geser Teoritis.....	97

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Eksperimen Lendutan	102
4.1.1	Balok Tanpa Sambungan Beton Dan Tulangan.....	102
1.	Balok Tanpa Sambungan A (<i>BTS-A</i>).....	102
2.	Balok Tanpa Sambungan B (<i>BTS-B</i>).....	109
3.	Balok Tanpa Sambungan B (<i>BTS-C</i>).....	114
4.	Gabungan Hub. Beban-Lendutan Balok Tanpa Sambungan.....	101
4.1.2	Balok dengan Jarak sambungan Beton dan Tulangan $\frac{1}{2}$ L	126
1.	Balok dengan Jarak sambungan Beton dan Tulangan $\frac{1}{2}$ L A	126
2.	Balok dengan Jarak sambungan Beton dan Tulangan $\frac{1}{2}$ L B	133
3.	Balok dengan Jarak sambungan Beton dan Tulangan $\frac{1}{2}$ L C	139
4.	Rata – rata Sambungan Balok Beton dan Tulangan $\frac{1}{2}$ L	145
5.	Perbandingan Lendutan BTS dan B – $\frac{1}{2}$	151
4.2	Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen	152
4.3	Perhitungan Kuat Geser Eksperimen.....	164
4.4	Mekanisme Pola Retak	175

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan188

5.2 Saran189

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model Sambungan Balok	6
Gambar 2.2	Diagram Tegangan Regangan Beton	17
Gambar 2.3	Diagram Tegangan Regangan Baja Tulangan	18
Gambar 2.4	Diagram tegangan regangan balok	19
Gambar 2.5	Diagram tegangan regangan pada kondisi balanced	22
Gambar 2.6	Penampang Balok T	25
Gambar 2.7	Balok T dengan $a < h_f$	26
Gambar 2.8	Balok T Murni dengan $a > h_f$	28
Gambar 2.9	Hubungan beban defleksi pada balok . Daerah I, taraf praretak; Daerah II, taraf pascaretak; Daerah III, taraf pascaserviceability (tulangan baja leleh)	35
Gambar 2.10	Distribusi tegangan dan regangan melintasi kedalaman Penampang berflens : (a) geometri ; (b) regangan ; (c) tegangan ...	38
Gambar 2.11	Distribusi tegangan dan regangan pada saat beban layan dalam balok bertulangan ganda : (a) geometri ; (b) regangan ; (c) tegangan	41
Gambar 3.1	Penulangan Balok dengan jarak Sambungan $\frac{1}{2}$ bentang ($B - 1/2$)	47
Gambar 3.2	Proses pengujian lendutan	51
Gambar 3.3	Bagan alir analisa balok T	52
Gambar 3.4	Bagan Alir Rencana Penelitian	54
Gambar 3.5	Penampang Balok T	61
Gambar 3.6	Penulangan Geser	69
Gambar 3.7	Distribusi Tegangan dan Regangan Melintas Penampang Berflens	74
Gambar 4.1	Pengujian Balok T Tanpa sambungan A (BTS – A)	107
Gambar 4.2	Retak yang terjadi pada Balok T Tanpa sambungan A	108
Gambar 4.3	Pengujian Kuat Lentur Balok T Tanpa sambungan B	113
Gambar 4.4	Retak yang terjadi pada Balok T Tanpa sambungan B	114

Gambar 4.5	Pengujian Kuat Lentur Balok T Tanpa sambungan C	119
Gambar 4.6	Retak yang terjadi pada Balok T Tanpa sambungan C	120
Gambar 4.7	Pengujian Kuat Lentur Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L A	131
Gambar 4.8	Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L A	132
Gambar 4.9	Pengujian Kuat Lentur Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L B	138
Gambar 4.10	Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L B	139
Gambar 4.11	Pengujian Kuat Lentur Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L C	144
Gambar 4.12	Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L C	145
Gambar 4.13	Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan A (BTS - A)	176
Gambar 4.14	Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan A (BTS - B)	177
Gambar 4.15	Pola Retak Balok T Tanpa Sambungan A (BTS - C)	179
Gambar 4.16	Pola Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L A	180
Gambar 4.17	Pola Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L B	182
Gambar 4.18	Pola Retak yang terjadi pada Balok T Dengan Jarak $\frac{1}{2}$ L C	183

DAFTAR NOTASI

- BTS* = Balok Tanpa Sambungan
- B-1/4* = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan 1/4 Bentang
- B-1/3* = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan 1/3 Bentang
- B-1/2* = Balok Dengan Jarak Sambungan beton Dan Tulangan 1/2 Bentang
- n* = Perbandingan Modulus elastisitas baja terhadap modulus elastisitas beton
- h* = Tinggi Balok (mm)
- b* = Lebar Balok (mm)
- l* = Panjang Balok (mm)
- ϕ* = Diameter tulangan baja (mm)
- q* = Beban Sendiri (N/mm)
- P* = Beban (N)
- A* = Luas benda uji (mm²)
- d* = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tarik tulangan (mm)
- d'* = Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan (mm)
- y* = Jarak sumbu netral penampang ke serat paling tertekan (mm)
- A_s* = Luas tulangan tekan (mm²)
- Z* = Besaran pembatas distribusi tulangan lentur (mm)
- C_c* = Gaya tekan beton (N)
- C_s* = Gaya tekan baja (N)
- M_n* = Momen nominal (Nmm)
- M_{cr}* = Momen retak pada beton (Nmm)
- Δ* = Defleksi yang terjadi pada balok (mm)

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

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 1/2 Bentang A.....	121
4.6	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/2 Bentang B.....	126
4.7	Data Hasil Eksperimen Lendutan Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/2 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 1/2 Bentang A.....	141
4.10	Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/2 Bentang B	146
4.11	Data Hasil Eksperimen Lendutan Tengah Bentang Balok T Dengan Sambungan Beton dan Tulangan Jarak 1/2 Bentang A.....	151
4.12	Hubungan Beban-Lendutan Balok 1/2 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, 1/2 B dan 1/2 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 1/2 Bentang Rata-Rata	173
4.19	Kuat Lentur Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/2 Bentang Rata-Rata Pada Tengah Bentang.....	176

4.20	Perbedaan Beban-Momen Lentur Balok T Tanpa Sambungan (BTS) dan Balok T 1/2 Bentang	181
4.21	Perbandingan Beban-Momen Lentur Teoritis, BTS dan B-1/2 Bentang	181
4.22	Kuat Geser Eksperimen Balok T Tanpa Sambungan (BTS) Rata-Rata	183
4.23	Kuat Geser Eksperimen Balok T Jarak Sambungan 1/2 B Rata-Rata.....	184
4.24	Perbedaan Beban-Kuat Geser Balok BTS dan B-1/2 Bentang.....	185
4.25	Perbandingan Beban-Kuat Geser Teoritis, BTS dan B-1/2 Bentang	187

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 pengekanan 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 pengekanan 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 $1/2$ bentang berpengaruh terhadap kuat lentur?
- b. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak $1/2$ bentang berpengaruh terhadap kuat geser?
- c. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T dengan jarak $1/2$ bentang berpengaruh terhadap lendutan?
- d. Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T jarak $1/2$ 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 $1/2$ bentang terhadap lendutan.
- b. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak $1/2$ bentang terhadap kuat lentur.
- c. Pengaruh sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak $1/2$ bentang terhadap kuat geser.
- d. Pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sambungan $1/2$ 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 $1/2$ bentang.
- b. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T terhadap kuat geser pada jarak sambungan $1/2$ bentang.
- c. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok T terhadap lendutan pada jarak sambungan $1/2$ bentang.
- d. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok T pada jarak sambungan $1/2$ 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 perancaan beton bertulang.

- Memberikan gambaran umum tentang perilaku beton di lapangan jika nantinya menggunakan metode yang di teliti.

2. Bagi Lembaga Pendidikan :

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

3. Bagi Perencanaan dan Pelaksanaan Proyek

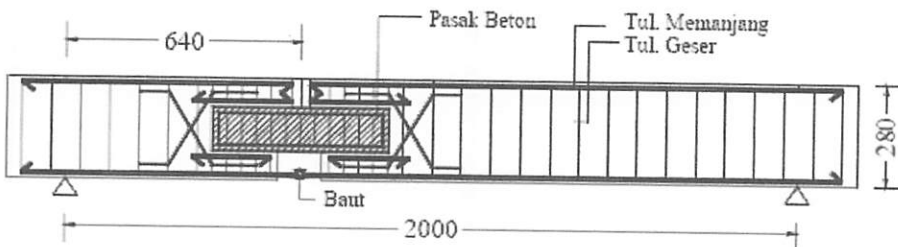
Memberikan informasi tentang pengaruh variasi letak sambungan terhadap kekuatan beton, sehingga dapat membantu perencanaan dan pelaksanaan proyek untuk memperkirakan kekuatan struktur bangunan gedung.

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



Gambar 2.1. Model Sambungan Balok

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, hal ; 136) 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 N/mm dan Panjang $L = 2000$ mm, terbesar dengan beban $P = 862 \text{ Kg} = 8459 \text{ N}$ menghasilkan kuat lentur sebesar 4409488,31 Nmm dengan defleksi terhadap balok sebesar 6,53 mm. Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban $P = 862 \text{ Kg} = 8459 \text{ N}$ menghasilkan kuat geser 4589,488 N dengan defleksi sebesar 6,53 mm.

Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban sebesar 1962 N. Lebar retakan yang terjadi pada balok adalah 0,083 dengan jumlah tulangan baja daerah tarik sebanyak 2 buah. Dari hasil nilai beban lendutan pada balok tanpa sambungan yang dapat menerima beban maksimum sebesar 1090 Kg dengan lebar defleksi 9,19 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. Skripsi penelitian sebelumnya yang disusun oleh Mohhammad Saleh, dkk (2013, hal ; 123) 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 (B1/3) berpengaruh terhadap kuat lentur. Terjadi perbedaan nilai kuat geser sebesar -21,8944% (B 1/3) terhadap (BTS) menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok

dengan jarak $1/3$ bentang ($B/3$) berpengaruh terhadap kuat geser. Posisi retak awal yang terjadi terhadap BTS, terjadi ditengah atau retak awal diposisi pemberian beban terpusat, sedangkan $B/3$ retak awal lebih mendekati terhadap posisi sambungan. Jadi letak sambungan beton dan tulangan longitudinal balok dengan jarak $1/3$ bentang ($B/3$) berpengaruh terhadap perilaku retak. Sehingga dalam pelaksanaan dilapangan, metode sambungan beton dan tulangan longitudinal dengan jarak $1/3$ bentang ($B/3$) tidak disarankan untuk diterapkan, karena lendutan, kuat lentur dan kuat geser terlalu besar pengaruhnya terhadap kekuatan balok.

5. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh Lucky Cahya Permana, (2013, hal ; 127) 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 pengaaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak seper dua bentang kekuatan balok dari hasil teoritis dengan beban merata sebesar $0,36 \text{ N/mm}$ dan Panjang $L = 2000 \text{ mm}$ kekuaan lentur terbesar dengan beban $P = 778,94706 \text{ Kg} = 7789,47 \text{ N}$ menghasilkan kuat lentur sebesar $4074735,30 \text{ Nmm}$ dengan defleksi terhadap balok sebesar $5,92 \text{ mm}$. Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban $P = 778,971 \text{ Kg} = 7789,47 \text{ N}$ menghasilkan kuat geser $4254,74 \text{ N}$ dengan defleksi sebesar $5,92 \text{ mm}$. Nilai retak awal yang terjadi pada balok pada saat balok menerima beban

sebesar 2000 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.

6. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh Alhidayatulloh Febrianto S.P,dkk (2013, hal ; 120) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Lima Bentang Terhadap Kekuatan Balok, 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 pengaaruh sambungan beton dan tulangan beton dan tulangan pada jarak 1/5 bentang kekuatan balok dari hasil teoritis kekuaan 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 Nmm dengan defleksi terhadap balok sebesar 6,04 mm. Sedangkan Kuat Geser pada balok terbesar dengan beban $P = 778 \text{ Kg} = 7632,2 \text{ N}$ dengan berat sendiri balok sebesar 0,36 N/mm dan panjang 2000 mm kuat geser 4176,09 N dengan defleksi sebesar 6,04 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 nilai lendutan balok sambungan 1/5 bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 8,81%, dimana untuk balok tanpa sambungan pada $P_{\max} = 1090 \text{ kg}$ terjadi lendutan sebesar = 9,19 mm. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada $P_{\max} = 1035 \text{ kg}$ 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 $P_{\max} = 1090 \text{ kg}$ terjadi kuat lentur sebesar = 6046095,44 Nmm. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada $P_{\max} = 1035 \text{ kg}$ 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 $P_{\max} = 1090 \text{ kg}$ terjadi kuat geser sebesar = 6642,19N. Untuk balok sambungan 1/5 bentang pada $P_{\max} = 1035 \text{ kg}$ 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.

7. Penelitian sebelumnya yang disusun oleh M. Vianey M. Putra, dkk (2013, hal ; 138) dengan judul : Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Logitudinal Pada Jarak Seper-Enam Bentang Terhadap Kekuatan Balok, 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 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 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 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 (Δ) rata – rata BTS dan B – 1/6 adalah Δ_{maks} 8,81%, dan Δ_{runtuh} -0,36%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan 1/6 bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dari hasil penelitian persentasi perbandingan nilai kuat lentur (M) rata – rata BTS dan B – 1/6 adalah M_{maks} 8,74%, dan M_{runtuh} -0,56%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan 1/6 bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dari hasil penelitian persentasi perbandingan nilai kuat geser (V_c) rata – rata BTS dan B – 1/6 adalah V_{cmaks} 8,49%, dan $V_{cruntuh}$ -0,54%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa balok dengan jarak sambungan 1/6 bentang tidak berpengaruh terhadap kekuatan balok. Jadi dapat digunakan sebagai jarak sambungan yang aman dan efektif pada balok beton. Dan perilaku retak akibat sambungan beton dan tulangan 1/6 bentang (B – 1/6) rata – rata tidak mengalami perbedaan dengan balok tanpa sambungan (BTS) rata – rata. Retak awal yang terjadi pada beban 2500 N dan posisi retak awal terjadi pada tengah balok atau pada pemberian beban terpusat, jadi dapat dikatakan bahwa B – 1/6 tidak berpengaruh terhadap perilaku retak, terlebih pada retak awal balok.

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

2.3 Metode Perencanaan

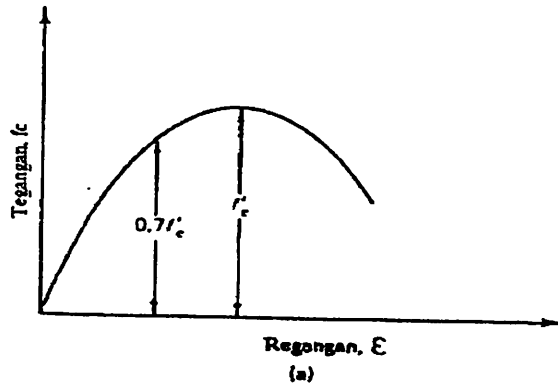
Metode-metode yang dikembangkan didalam kaitannya untuk perencanaan elemen-elemen struktur beton bertulang meliputi (1) Metode elastis, (2) Metode kekuatan batas (*ultimit*). Sebelumnya peraturan beton yang dipakai menggunakan salah satu metode yang dikenal dengan metode elastis atau dikenal pula dengan cara “n” yang dituangkan didalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBI’71). Didalam perhitungan dengan metode elastis dibuat anggapan (1) Bidang penampang rata saat sebelum terjadi lentur akan tetap rata setelah mengalami lentur sehingga dihasilkan distribusi regangan yang linier, (2) Baik bahan baja maupun beton

diberlakukan hukum Hooke dimana nilai tegangan sebanding linier dengan regangan, (3) Bahan beton tidak diperhitungkan menahan gaya tarik sehingga beban tarik sepenuhnya dipikul oleh tulangan tarik baja, (4) Batang tulangan baja terlekat sempurna dengan beton sehingga tidak terjadi penggelinciran.

Setelah itu dikembangkan metode kekuatan batas (Metode Ultimate) dengan anggapan (1) Bidang penampang rata sebelum terjadinya lentur tetap rata setelah terjadinya lentur dan tetap berkedudukan tegak lurus pada sumbu bujur balok, oleh karena itu nilai regangan dalam penampang komponen struktur terdistribusi linier atau sebanding lurus terhadap jarak ke garis netral, (2) tegangan sebanding dengan regangan pada kondisi tegangan beton tekan $1/2f_c'$, apabila beban terus meningkat tegangan yang terjadi tidak linier dengan regangan, (3) dalam perhitungan kapasitas momen ultimate kuat tarik beton diabaikan dan seluruh gaya tarik dibebankan seluruhnya kepada tulangan tarik.

2.4 Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan

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

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

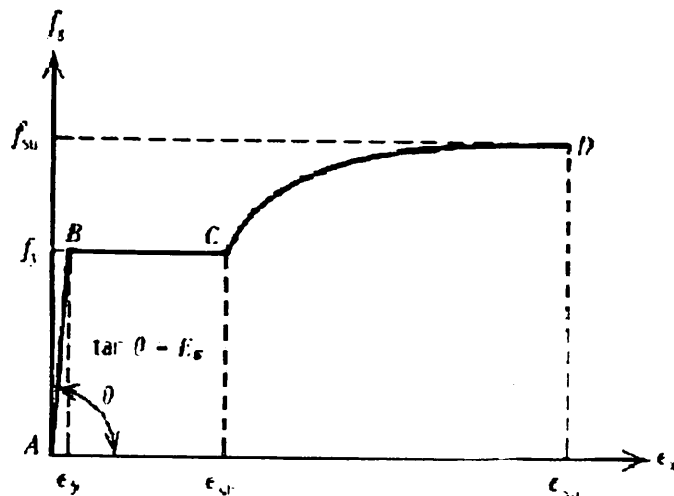
Karena beton memiliki sifat yang hanya mempunyai nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik yang relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan gaya yang bekerja didaerah tekan pada penampangnya, pada hubungan regangan tegangan yang ditimbulkan karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai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



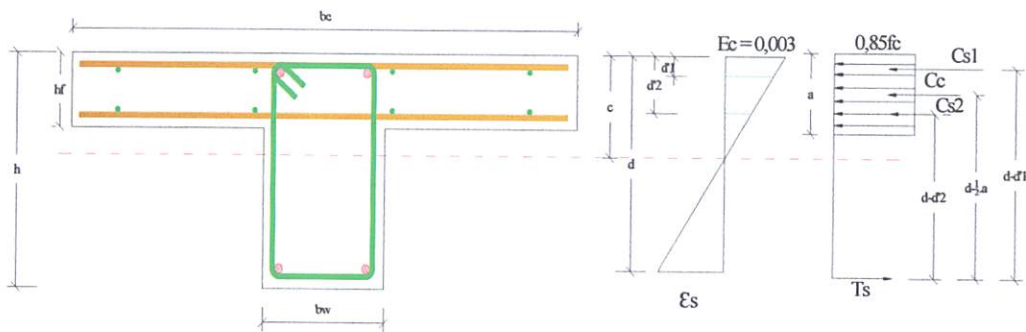
Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan.

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 ϕP_n kurang dari

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan tarik. Tulangan ini terus bertambah panjang dengan bertambahnya regangan (ϵ_s) diatas regangan leleh (ϵ_y).

Untuk perencanaan pada kondisi undereinforced sedemikian rupa dibuat prencana lebih kecil dari $\rho_{balanced}$, dengan ρ 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** ($f_s < f_y$, $A_s > A_{sb}$, $f_s = f_y$, $\epsilon_{cu} = 0,003$)

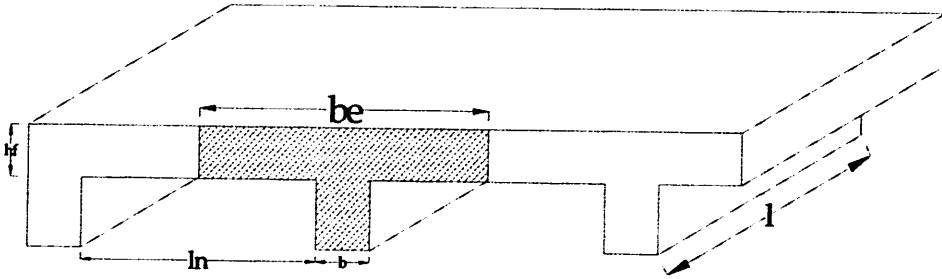
Kehancuran ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja (ϵ_s) yang terjadi masih lebih kecil dari pada regangan lelehnya (ϵ_y)

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

2.7 Perencanaan Balok-T

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

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



Gambar 2.6. Penampang Balok-T

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

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

- $b_{eff} \leq \frac{1}{4}$ bentang balok ($\frac{1}{4} L$)
- $b_{eff} \leq b_w + 8h_{f_{kiri}} + 8h_{f_{kanan}}$
- $b_{eff} \leq b_w + \frac{1}{2}L_{n_{kiri}} + \frac{1}{2}L_{n_{kanan}}$.

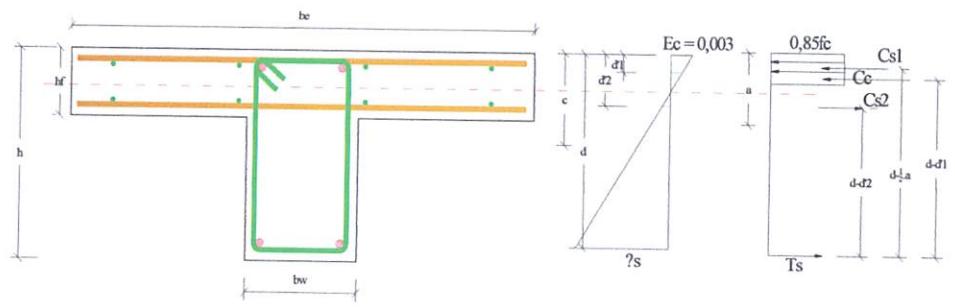
2. Untuk balok yang mempunyai pelat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap adalah:

- $b_{eff} \leq b_w + \frac{1}{12}L$
- $b_{eff} \leq b_w + 6h_f$
- $b_{eff} \leq b_w + \frac{1}{2}L_n$.

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 $a < hf$

$M_R > M_u \Rightarrow$ 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:

$$\frac{1,4}{f_y} < \rho < 0,75 \rho_b \tag{2.5}$$

Gaya tarik T pada keadaan batas dihitung berdasarkan persamaan berikut;

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y \tag{2.6}$$

$$T_2 = A_{s2} \cdot f_y \tag{2.6a}$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \tag{2.6b}$$

Gaya D harus seimbang dengan gaya T sehingga:

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

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

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

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

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

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

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

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

dapat dicari nilai ω yang kemudian dapat menentukan nilai ρ .

Penentuan rasio penulangan (ρ):

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

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

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right) \quad (2.10)$$

Penentuan luas tulangan:

$$A_s = \rho.b.d \quad (2.11)$$

Kontrol ρ :

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

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

Syarat: ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{\min}

Momen kapasitas dalam nominal dapat ditentukan:

$$Mn_1 = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) \quad (2.13)$$

$$Mn_2 = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \quad (2.13a)$$

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

Momen kapasitas M_R adalah:

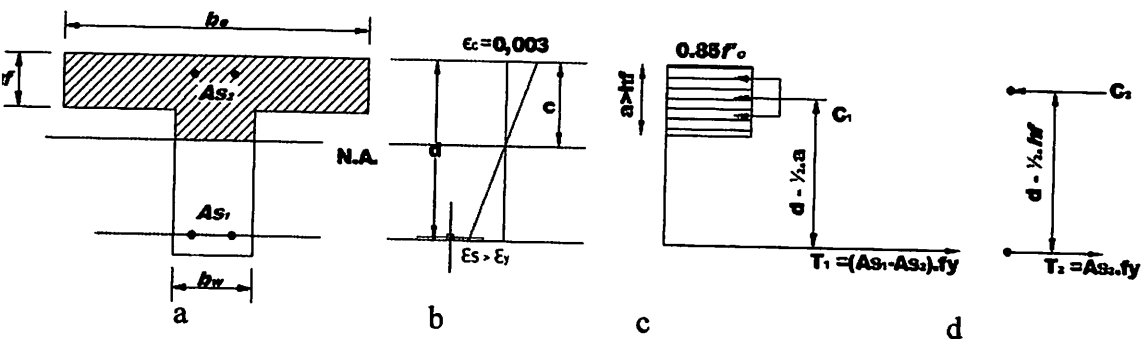
$$M_R = \phi Mn \quad (2.14)$$

Periksa Persyaratan Daktilitas:

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

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

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

(a) Penampang melintang; (b) regangan; (c) gaya – gaya bagian 1; (d) gaya – gaya bagian 2

Analisis momen kapasitas total dapat dijelaskan berdasarkan *gambar 11* adalah sebagai berikut:¹

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

$$T_1 = A_{s1}.f_y$$

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

$$\text{Maka: } A_{s1}.f_y = 0,85.f'c.hf(b_e - b_w) \quad (2.16a)$$

$$A_{s1} = \frac{0,85.f'c.hf(b_e - b_w)}{f_y}$$

$$Mn_1 = T_1.Z_1 = A_{s1}.f_y.(d - 0,5 a) \quad (2.16b)$$

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

$$T_2 = A_{s2}.f_y$$

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

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

$$T_3 = A_{s3}.f_y$$

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

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

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

$$\text{Maka: } M_R = \phi Mn \quad (2.16h)$$

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

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

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

dimana:

$$\begin{aligned} N_T &= \text{ gaya tarik total dimana tulangan baja tarik dianggap telah meoleh} \\ &= A_s \cdot f_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_D &= \text{ gaya tekan yang ada di mana seluruh flens dianggap sebagai daerah} \\ &\quad \text{tekan} \\ &= 0,85 \cdot f_c' \cdot t + A_s' \cdot f_y \end{aligned}$$

$$b_w = \text{ lebar badan}$$

$$t = \text{ tebal pelat}$$

Periksa ρ :

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

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

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{\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 (mm²)

Perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam:

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

dimana:

d = kedalaman efektif (mm)

Periksa Persyaratan Daktilitas:

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

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

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

dimana: M_u = momen ultimit

z = perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam

ϕ = faktor reduksi kekuatan

2.8 Perencanaan Balok Terhadap Geser

Perencanaan balok terhadap geser perlu untuk dianalisis dan didesain pada penampang beton bertulang terhadap geser yang diakibatkan oleh bekerjanya beban – beban luar. Karena kekuatan tarik beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya, maka desain terhadap geser merupakan hal yang sangat penting

dalam struktur beton. Prilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan pada keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu dan juga retak diagonalnya jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur(karena prilaku kegagalan getas (*brittle*)).

Oleh karena itu perencana harus merancang penampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser karena geser juga merupakan parameter yang sangat berarti. Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan – percobaan yang lain karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan – tegangan yang lain. Desain struktur yang ditentukan oleh kekuatan geser jarang merupakan suatu hal yang penting tegangan geser biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah betonnya mengalami kegagalan tarik diagonal.

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 mm
- } pilih yang terkecil

- $V_s \text{ pakai} = \frac{A_v \cdot f_y \text{ sengkang} \cdot d}{s_{\text{pakai}}}$ (22)

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

- $V_n = V_c + V_s$

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

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

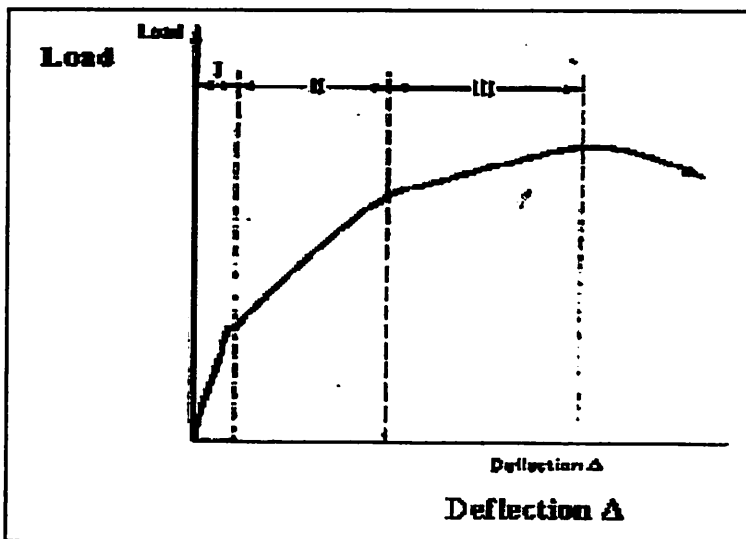
2.9 Perencanaan Balok Terhadap Lendutan dan Retak

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*; Nawy (2010:292).

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

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

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



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

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

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

dimana : f_r = Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)

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

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

Dimana ; f_r = Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)

I_g = Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu, dengan pengabaikan tulangan (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) :

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

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

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

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

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

Persamaan 2.26 juga ditulis dalam bentuk

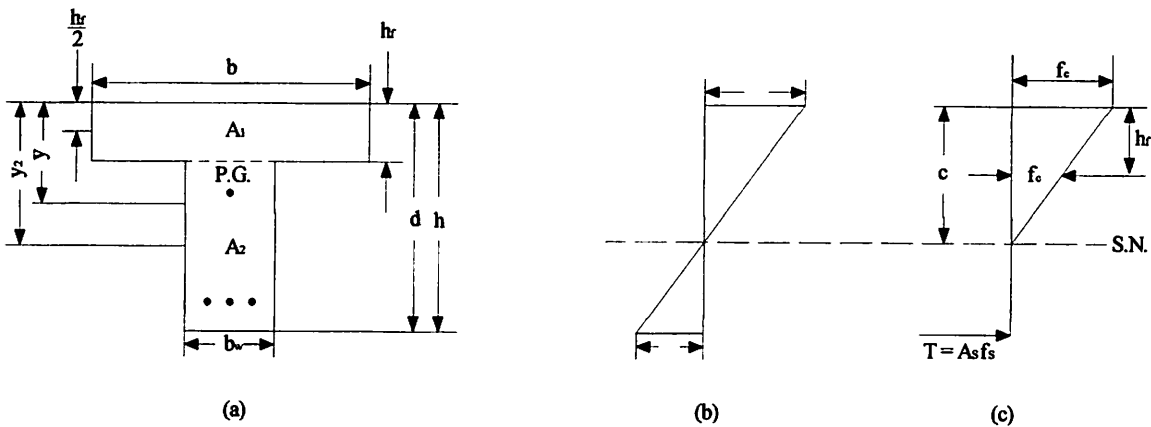
$$I_e = I_{cr} + \left(\frac{Mcr}{Ma} \right)^3 (I_g - I_{cr}) \leq I_g \quad (2.26a)$$

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

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

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

Momen inersia gros, I_g , untuk kedua persegi adalah

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

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 $(f_c + f_{cl})/2$, dimana f_{cl} adalah tegangan pada sisi terbawah flens. Dengan menggunakan segitiga – segitiga yang serupa menghasilkan

$$f_{cl} = f_l \frac{c - h_f}{c} \quad (2.29)$$

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

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

Dengan menggunakan pers.2.29 dan 2.30

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

Dengan menggunakan persamann ϵ_s berhubungan dengan ϵ_c dan menggunakan rasio modular n memberikan kita

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

Atau

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

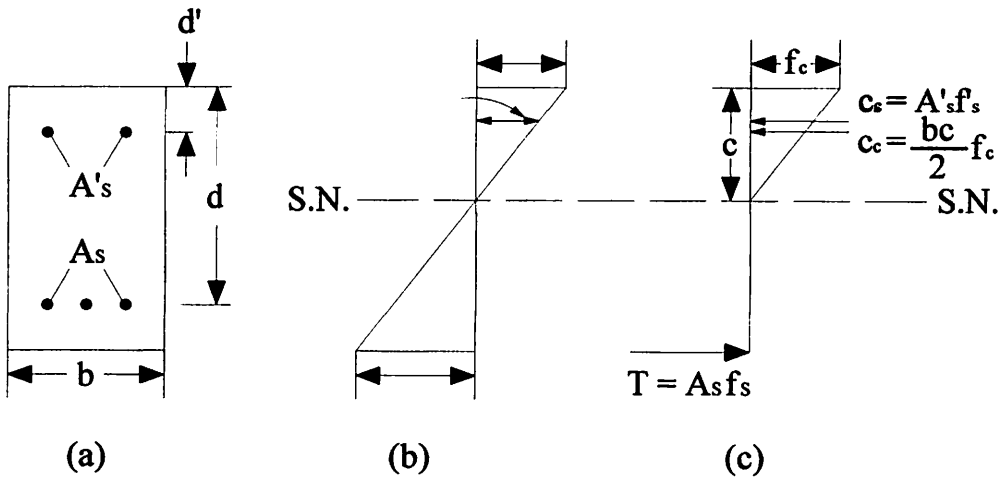
Persamaan kuadrat 2.30c harus diselesaikan untuk mendapatkan c . Sesudah c diketahui, momen inersia I_{cr} penampang retak dapat dihitung menggunakan perumusan berikut :

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

Momen inersia efektif I_e dan defleksi Δ 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.

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

dimana d' adalah selimut beton efektif tulangan tekan.

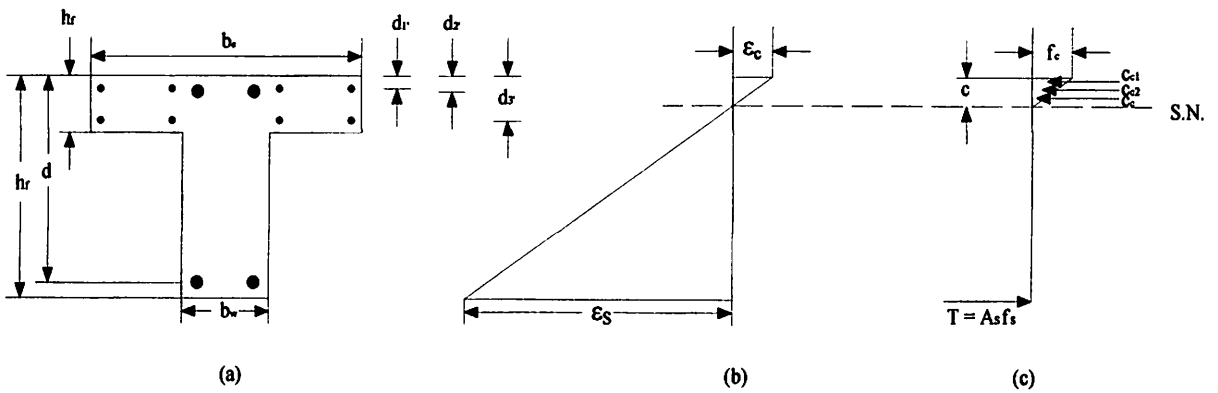
Seperti dalam kasus balok-balok beton bertulang tunggal (Pers. 2.24d sampai 2.29e), Pers. 2.32 dapat ditulis dalam bentuk;

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

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

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

Kondisi penampang berbentuk balok T



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

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

Untuk mencari nilai c maka rumus dapat di tulis.

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

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

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

Untuk menghitung momen inersia efektif I_e adalah :

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

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 (mm^4)

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

Nilai lendutan Δ 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 : Δ = lendutan (mm)

P = beban terpusat (kg)

l = panjang balok (mm)

E_c = modulus elastisitas beton (Mpa)

I_e = momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan

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

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Parameter Penelitian

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

- a. Balok "T" dengan penampang $h_f=80$ mm, $b_w = 150$ mm, $h = 250$ mm,
 - $b_e = \frac{1}{4}$ bentang balok ($\frac{1}{4} L$) = $\frac{1}{4} \times 2200 = 550$ mm.
 - $b_e = 16 h_f + b_w = (16 \times 80) + 150 = 1430$ mm.
 - maka diambil yang terkecil $b_e = 550$ 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 " $1/2 L$ " 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 " $1/2 L$ " balok dari tumpuan kiri.
- e. Analisa kuat geser balok T beton polos yang tidak disambung.

- f. Analisa kuat geser balok T beton bertulang yang disambung pada jarak "1/2 L" balok dari tumpuan kiri.

3.3 Pengujian di Laboratorium

3.3.1 Waktu Pelaksanaan dan Tempat Penelitian

Waktu Pelaksanaan : Oktober 2014 – Januari 2015

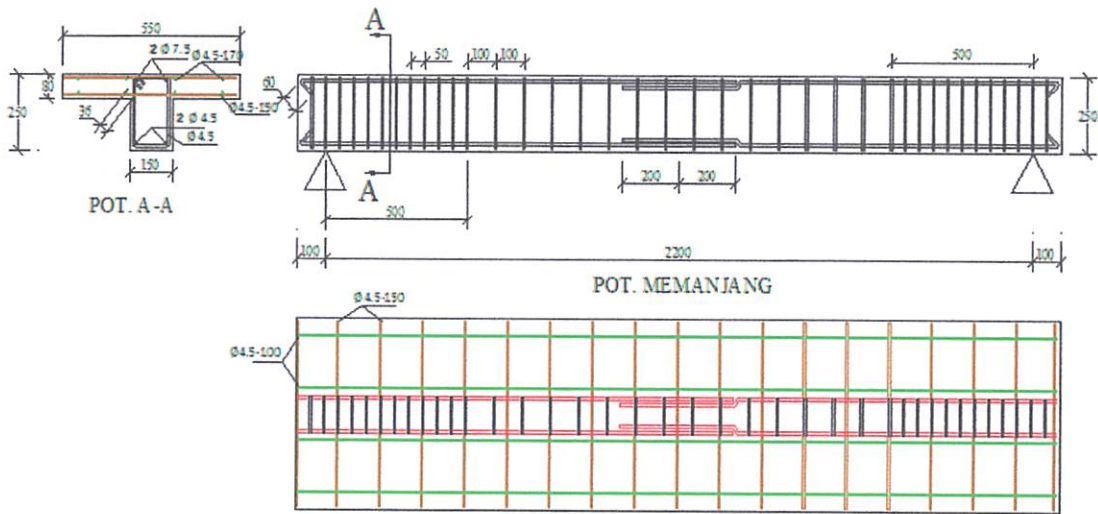
Lokasi penelitian dan pengujian :

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

3.3.2 Benda Uji

Benda uji silinder beton berukuran 150 x 300 mm dan Benda uji balok " T " dengan ukuran $h_f = 80$ mm, $b_w = 150$ mm, $h = 250$ mm, $b_e = 550$ mm dengan dua variasi yaitu :

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



Gambar 3.1. Penulangan Balok dengan Jarak Sambungan $\frac{1}{2}$ Bentang (B - 1/2)

3.3.3 Pembuat 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 $\frac{1}{2}$ 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 $23^{\circ} - 28^{\circ}C$
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 tesat 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. Mecatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai telah mengalami kehancuran.

Kuat desak beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang didesak.

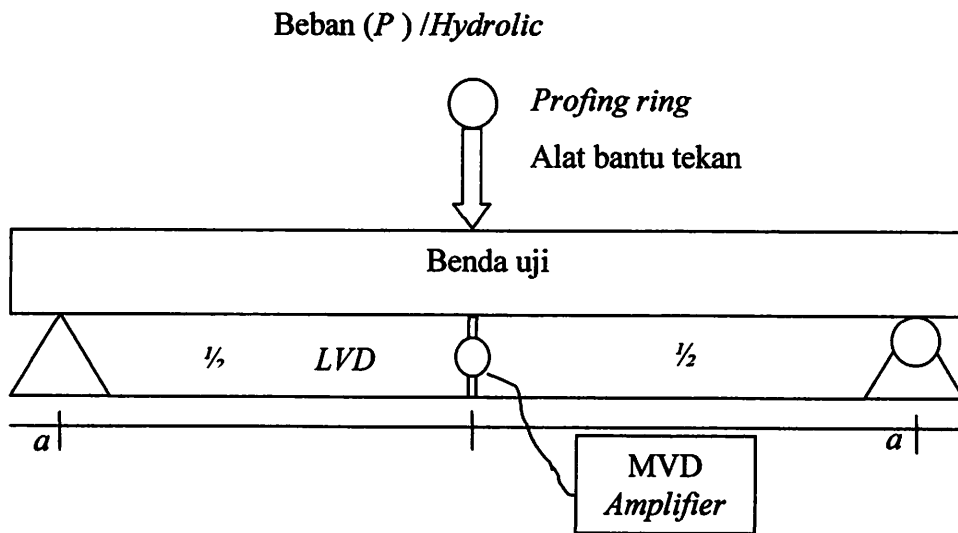
c. Pengujian Kuat Lentur

Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

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

5. Dial digital (LVDT) diletakan tepat dibawah permukaan balok yang mengalami pembebanan dimana posisinya tepat berada di tengah bentang. 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 prosesi pemberian beban dilakukan.
8. Lendutan dicatat dengan membaca alat baca digital (*MVD Amplifier*) yang terhubung dengan dial digital (LVDT). Beban-beban dicatat agar dapat diperoleh hubungan dengan lendutan yang terjadi.

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



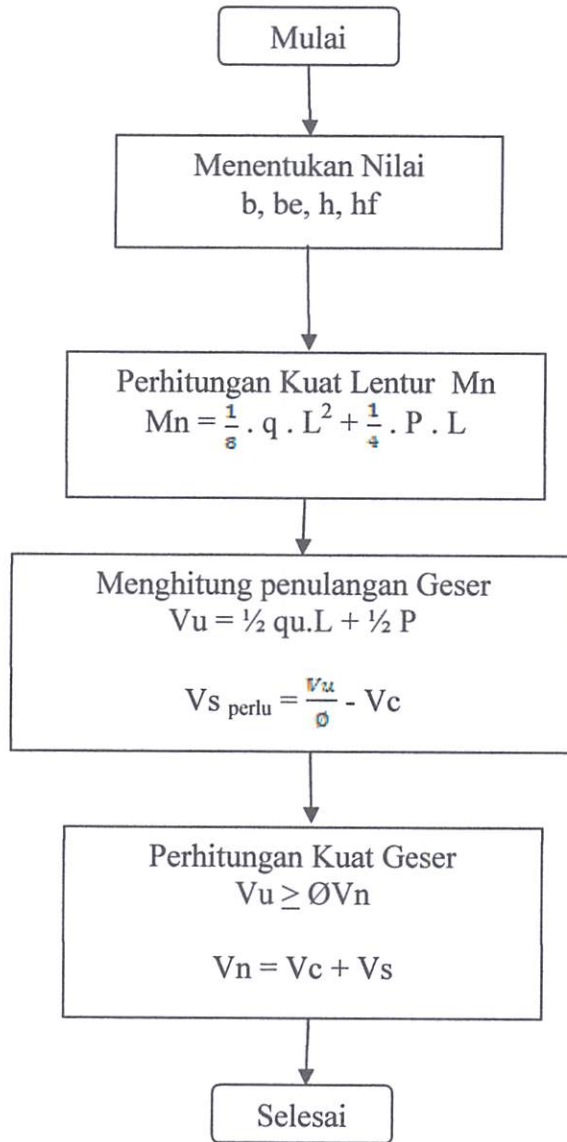
Gambar 3.2 proses pengujian lendutan

3.3.5 Peralatan Pengujian Silinder dan Balok

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

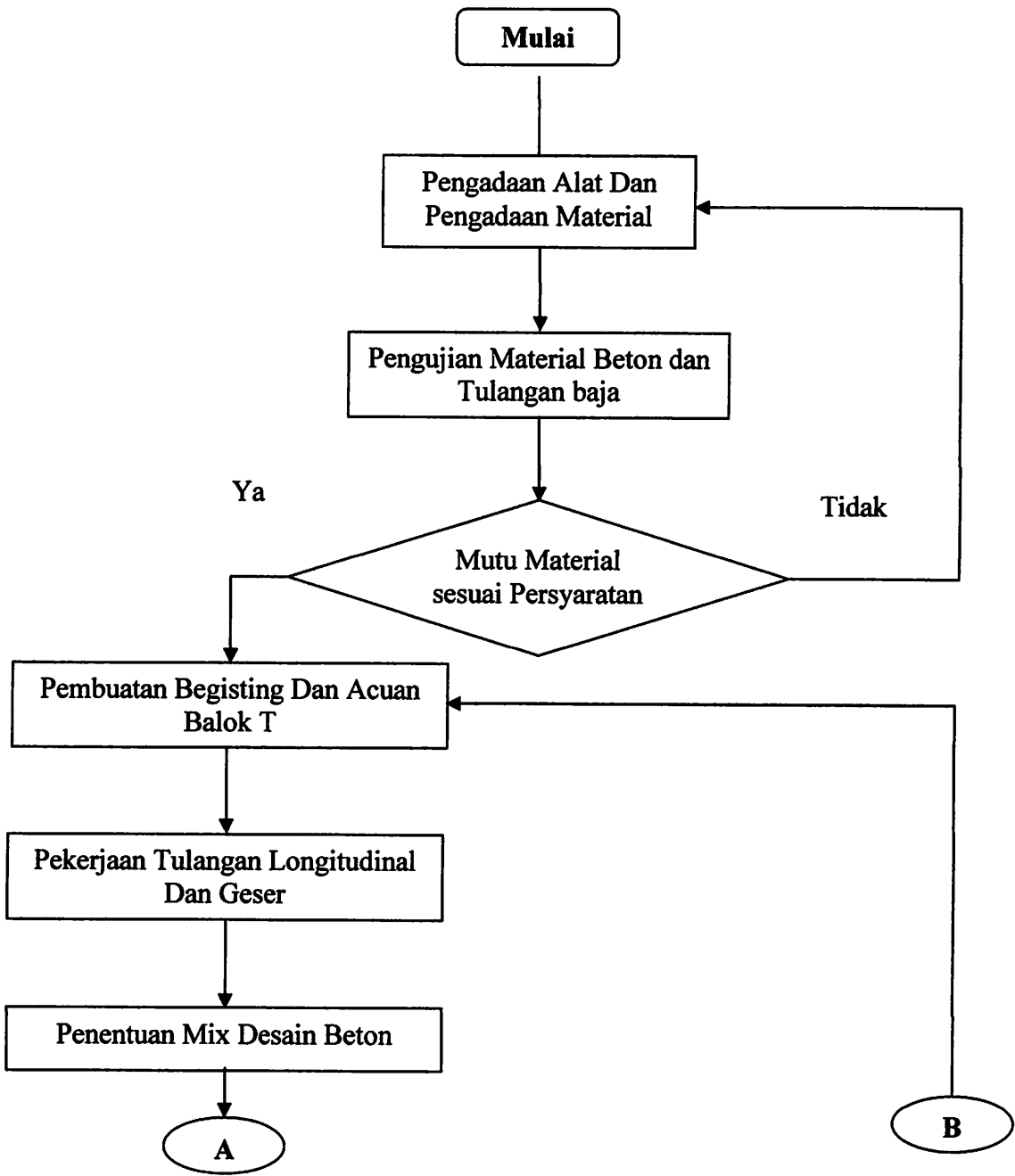
1. Frame
2. hydrolic jack kapasitas 7 ton
3. Proving Ring
4. LVDT
5. Strain Meter

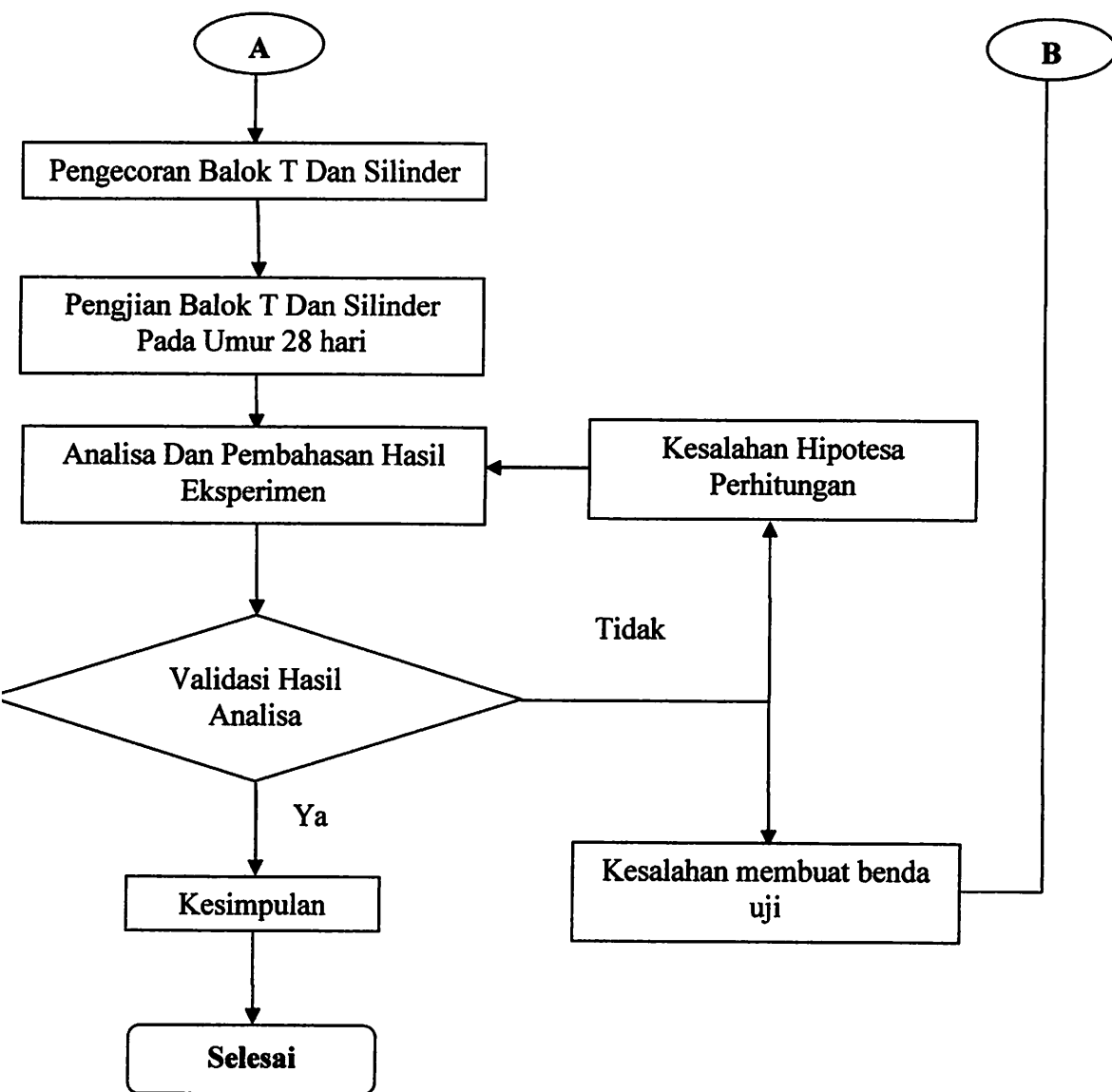
Bagan Diagram Alir Perencanaan Balok T



Gambar 3.3 Bagan alir analisa balok T

Bagan Alir Rencana Penelitian





Gambar 3.4 Bagan alir rencana penelitian

3.4 Umum

Data dari hasil penelitian dibagi menjadi 3 bagian adalah :

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

3.5 Umum

3.5.1. Campuran beton

Kuat tekan mutu normal direncanakan adalah K-350 dengan menggunakan campuran beton yang dipesan di ready mix. Dengan menggunakan campuran material yang dipesan dari ready mix PT. Varia beton maka didapatkan komposisi campuran beton untuk 1 m^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 ³)	SPECIFIC GRAVITY (TON/M ³)	PROPORTION (%)	MATERIAL CONTENT (KG/M ³)	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 ³)		Concrete Density	2,362	(KG/M ³)

3.5.2. Campuran beton

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

beton mencapai umur 28 hari. Jumlah benda uji yang dilaksanakan berjumlah 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 ²)	Teg. Hancur Kubus (kg / cm ²)	KET.
1	V1	12,3	660	354,25	426,8	K 350
2	V3	12,6	610	327,41	394,47	K 350
3	V4	12,5	740	413,63	498,35	K 350
4	V1	12,7	800	447,17	538,76	K 350
5	V2	12,1	380	275,33	331,73	K 350
6	V3	12	395	286,2	344,82	K 350
7	V2	12,8	455	359,94	433,66	K 350
8	V5	12,5	400	316,43	381,24	K 350
9	V4	12,1	440	348,07	419,36	K 350
10	V7	12,4	425	336,21	4,05,07	K 350
11	V7	12,65	440	348,07	419,36	K 350
12	V6	12,5	470	371,38	447,96	K 350
13	V5	12,7	405	320,38	386,01	K 350
14	V6	12,4	470	409,36	493,24	K 350
15	V8	12,3	460	400,68	482,74	K 350
Tegangan Hancur Rata-rata				354,3	428,46	

No.	Kode	Berat (Kg)	Tekanan Hancur (Kn)	Teg. Hancur Silinder (kg / cm ²)	Teg. Hancur Kubus (kg / cm ²)	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	Rata-rata	412,11

3.5.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

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

Tabel.3.3 Hasil pengujian kuat tarik baja.

no	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 4,5	(mm ²)	(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 ²)	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	7,5	44,18	28694,4	461,398	649,508	44,444
2	7,5	44,18	28371	484,802	642,188	39,822

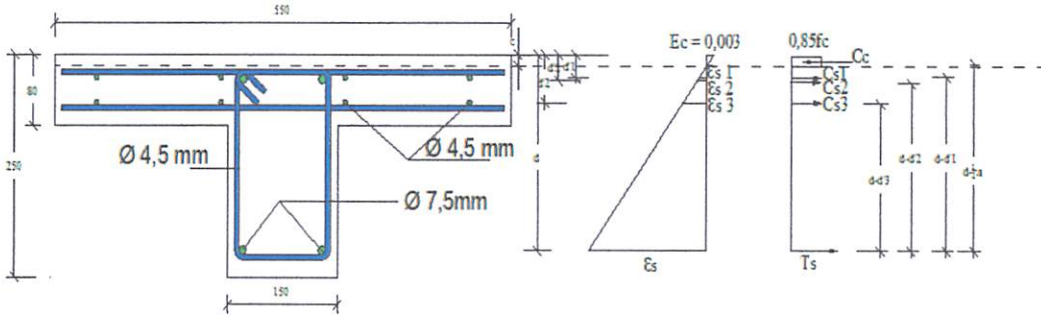
3.6 Analisa Teoritis

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

Data benda uji :

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

3.6.1 Kontrol Momen



Gambar 3.5 Penampang balok T

Data perencanaan :

- Panjang : 2200 mm
- Tinggi balok (h) : 250 mm
- Tebal Pelat (hf) : 80 mm
- Lebar sayap (be) : 550 mm
- Tebal selimut Beton : 20 mm
- Mutu beton (fc') : $412,115 \text{ kg/cm}^2 = 40,415 \text{ Mpa}$
- 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_1 : $0,85 - \frac{0,005}{7} \times fc' - 30 = 0,843$

- 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

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

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

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

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

$$\frac{\epsilon_{s2}}{0,003} = \frac{d_2'}{c} \longrightarrow \epsilon_{s2} = \frac{d_2' - c}{c} \times 0,003$$

$$f_{s2} = \epsilon_{s2} \times E_s$$

$$f_{s2} = \frac{d_2' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

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

$$\frac{\epsilon_{s3}}{0,003} = \frac{d_3'}{c} \longrightarrow \epsilon_{s3} = \frac{d_3' - c}{c} \times 0,003$$

$$f_{s3} = \epsilon_{s3} \times E_s$$

$$f_{s3} = \frac{d_3' - c}{c} \times (0,003 \times 200000)$$

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

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

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

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

$$T_s = A_{s4} \times f_y$$

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

$$\Sigma H = 0$$

$$C_c = C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + T_s$$

$$\beta_1 c \times be \times 0,85f'c = As_1 \times \left[\frac{d_1' - c}{c} \times 600 \right] + As_2 \times \left[\frac{d_2' - c}{c} \times 600 \right]$$

$$+ As_3 \times \left[\frac{d_3' - c}{c} \times 600 \right] + As \times fy$$

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

$$+ As_3 \times ((d_3' - c) \times 600) + As \times fy \times c$$

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

$$+ 63,643 \times (31950 - 600 c) + 88,393 \times 461 \times c$$

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

$$(2033389 + (-38185,7 c)) + 40784,3 c$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$a = \beta_1 \times c$$

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

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

$$\begin{aligned}
 Cc &= 0,85 c \times be \times 0,85 f'c \\
 &= 0,85 \times 14,303 \times 550 \times 0,85 \times 40 \\
 &= 229708,048 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs_1 &= As_1 \times fs_1 \\
 &= 63,643 \times 522,135 = 33230,165 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs_2 &= As_2 \times fy \\
 &= 88,393 \times 461 \\
 &= 40784,288 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs_3 &= As_3 \times fy \\
 &= 63,643 \times 335 \\
 &= 21294,200 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= (Cc \times (d - \frac{1}{2} a)) - (Cs_1 \times (d - d_1')) - (Cs_2 \times (d - d_2')) - (Cs_3 \times (d - d_3')) \\
 &= (229708,048 \text{ N} \times 202 - (\frac{1}{2} 12,051)) - (33230 \times 175) - (40784,288 \times \\
 &174) - (21294,200 \times 149) \\
 &= 28905926,277 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

3.6.2 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 (fc') : 40 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 (fy) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5 (fy) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- Selimut beton : 20 mm
- Modulus elastisitas baja (Es) : 200000 Mpa(SNI-03-2847-2002, pasal 10.5.2, hal 54)
- Regangan Maks. beton (Ec') : 0,003 Mpa (SNI-03-2847-2002, pasal 12.2.3, hal 69)

$$V_u = \left[\frac{1}{2} \times q \times L \right] + \left[\frac{1}{2} \times p \right] \times 125 \%$$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 1,783 \times 2200 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 50594,589 \right) \times 125 \%$$

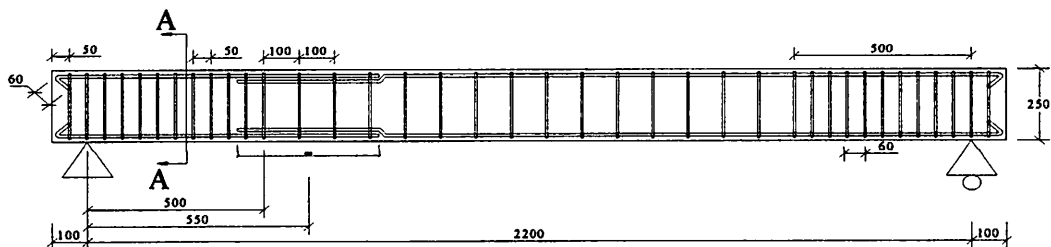
$$= 34073,669 \text{ N} = 3206,464 \text{ KN}$$

Karena

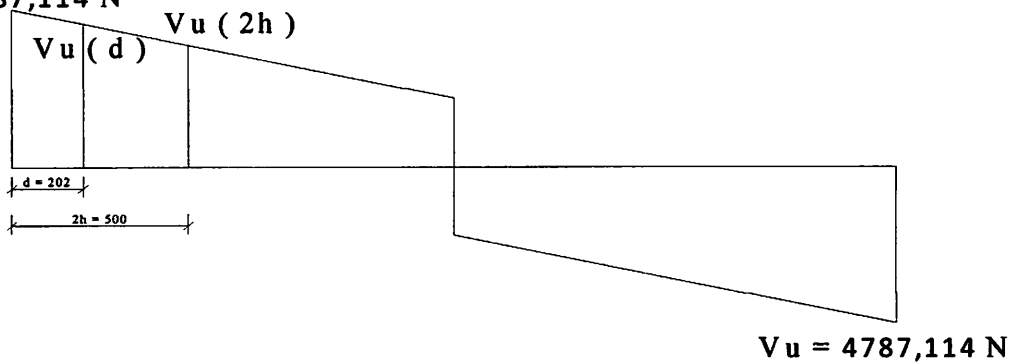
$$V_u > \frac{\phi V_c}{2}$$

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

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



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



Gambar 3.6 Penulangan Geser

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

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

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

$$1100 y = 5265824,895$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= 32 \text{ mm}$$

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

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

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

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

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

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

Syarat

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

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

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

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

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

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

$$1100 y = 6112745,065$$

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

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

$$\begin{aligned}
 V_u (2d) &= \frac{1}{2} p + y \\
 &= \frac{1}{2} 50594,6 + 555,704 \text{ KN} \\
 &= 30854,335 \text{ N} \\
 &= 3085,434 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 A_v = A_s &= \frac{1}{4} \Pi \emptyset_{\text{tulangan}}^2 \times 2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 4,5^2 \times 2 \\
 &= 32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

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

- 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 mm

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

Syarat

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

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

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

3.6.3 Perhitungan Lendutan

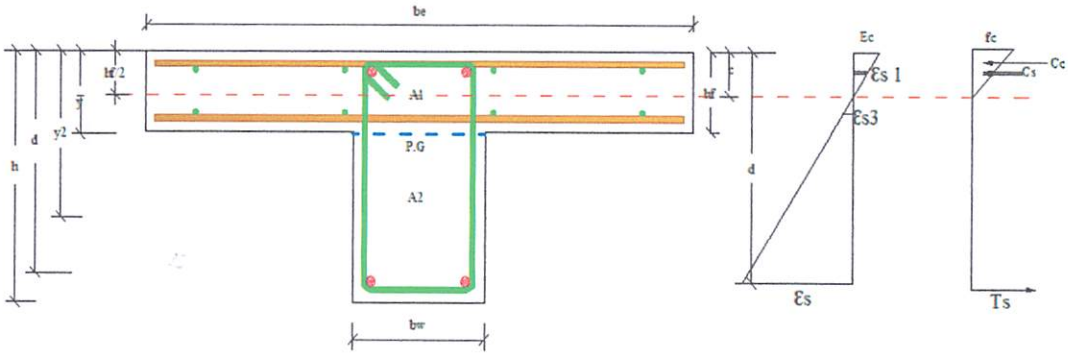
3.6.3.1 Akibat beban teoritis.

a. Letak garis netral penampang transformasi (c)

Data perhitungan :

- Panjang : 2200 mm
- Tinggi : 250 mm
- Tebal Pelat : 80 mm
- Lebar sayap : 625 mm
- Mutu beton (fc') : 40 Mpa
- Mutu baja Ø7,5 (fy) : 461 Mpa
- Mutu baja Ø 4,5 (fy) : 335 Mpa
- Tulangan Pokok : Ø 7,5 mm
- Tulangan sengkang : Ø 4,5 mm
- Selimut beton : 20 mm
- Modulus elastisitas baja (Es) : 200000 Mpa (SNI-03-2847- 2002, pasal 10.5.2, hal 54)

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



Gambar 3.5 Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflens

$$\begin{aligned}
 & be \cdot c \frac{f_c}{2} - A_{S1}' \cdot f_c \left(\frac{c - d1'}{c} \right) - A_{S2}' \cdot f_c \left(\frac{c - d2'}{c} \right) + A_{S1}' \cdot f_{s1}' + A_{S2}' \cdot f_{s2}' \\
 & = A_{S3}' \cdot f_{s3}' + A_{S4}' \cdot f_y
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{bec}{2} \right] E_c \epsilon_c - A_{S1}' \left[\frac{c - d1'}{c} \right] E_c \epsilon_c - A_{S2}' \left[\frac{c - d2'}{c} \right] E_c \epsilon_c \\
 & = - A_{S1}' E_s \epsilon_s - A_{S2}' E_s \epsilon_s + A_{S3}' E_s \epsilon_s + A_{S4}' f_y
 \end{aligned}$$

$$\left[\left\{ \frac{bec}{2} - A_{S1}' \left[\frac{c - d1'}{c} \right] - A_{S2}' \left[\frac{c - d2'}{c} \right] \right\} E_c \epsilon_c \right]$$

$$= \left[\left\{ - A_{S1}' \left[\frac{c - d1'}{c} \right] - A_{S2}' \left[\frac{c - d2'}{c} \right] + A_{S3}' \left[\frac{d3' - c}{c} \right] \right\} E_c \epsilon_c \right] + A_{S4}' f_y$$

$$\left[\left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c - d_1'] - As_2' [c - d_2'] \right\} Ec \right]$$

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

$$\left[\left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c - d_1'] - As_2' [c - d_2'] \right\} \right]$$

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

$$\left[\left\{ \frac{bec^2}{2} - As_1' [c - d_1'] - As_2' [c - d_2'] \right\} \right]$$

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

$$bec^2 - [2 As_1' [c - d_1']] - [2 As_2' [c - d_2']] + [2 \eta As_1' [c - d_1']]$$

$$+ [2 \eta As_2' [c - d_2']] - [2 \eta As_3' [d_3' - c]] - As_4' fy' c = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Momen inersia penampang retak I_{cr}**

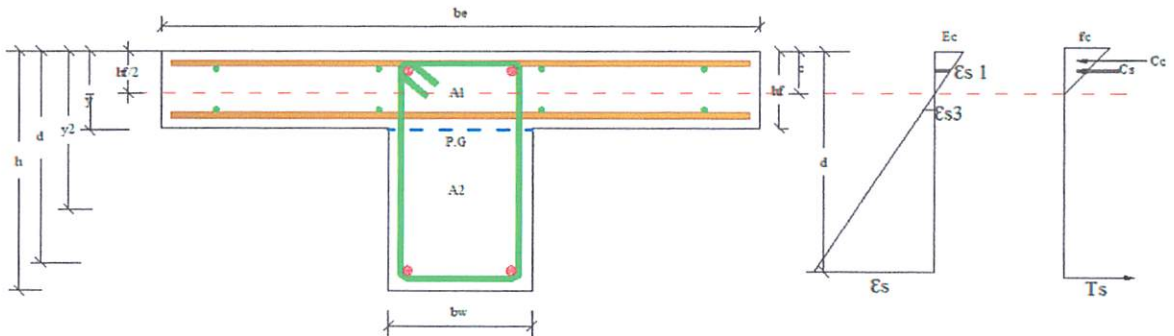
$$I_{cr} = \frac{1}{12} b e c^3 + b e c \left[\frac{1}{2} c \right]^2 + \eta A_{s1} [c - d_1']^2 - A_{s1} [c - d_1']^2 + \eta A_{s2} [c - d_2']^2 - A_{s2} [c - d_2']^2 + \eta A_{s3} [d_1' - c]^2 - [\eta A_{s4} d - c]^2$$

$$I_{cr} = \frac{1}{12} \times 550 \times 71,816^3 + 550 \times 71,816 \left[\frac{1}{2} \times 71,816 \right]^2 + 6,694 \times 63,6429 [71,816 - 27]^2 - 63,6429 [71,816 - 26,8]^2 + 6,694 \times 88,3929 [71,816 - 28]^2 - 88,3929 [71,816 - 28,3]^2 + 6,694 \times 63,6429 [53,3 - 71,816]^2 + 6,694 \times 88,3929 [202 - 71,816]^2$$

$$= 16976193,23 + 50928579,7 + 865170,8678 - 129253,5933 + 1122965,893 - 167767,2958 + 146836,2625 + 9989041,284$$

$$I_{cr} = 79731766,35 \text{ mm}^4$$

- Momen inersia gros, I_g untuk kedua persegi



Gambar 3.6 Distribusi tegangan dan regangan melintasi penampang berflens

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} \\ &= \frac{be hf y_1 + bw (h - hf) y_2}{be hf + bw (h - hf)} \\ &= \frac{550 \times 80 \times 40 \times 40 + 150 (250 - 80) 165}{550 \times 80 + 150 (250 - 80)} \\ &= \frac{1760000 + 4207500}{44000 + 25500} \\ &= 85,63 \text{ mm} \\ Y_t &= h - \bar{y} \\ &= 250 - 85,863 \end{aligned}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Kondisi pracetak

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

Maka

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

$$= \left[\frac{1}{4} \times 5000 \text{ N} \times 2200 \right] + \left[\frac{1}{8} \times 1,78331 \times 2200 \right]$$

$$= 2750000 + 1078902,55$$

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

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

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

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 :

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

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

$$= 8250000 + 1078902,55$$

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

$$Ma = 9328902,550 \text{ N/mm} > Mcr = 9140274,807 \text{ Nmm}$$

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

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

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

$$79731766,35$$

$$= 317088214 + 4739327,833$$

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

Sehingga

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

$$= \frac{5000 \text{ N} \times 2200^3}{48 \times 29879,322 \times 321827542} + \frac{5 \times 1,78331 \times 2200^4}{384 \times 29879,322 \times 321827542,3}$$

$$= 0,346038262 + 0,056566903$$

$$= 0,403 \text{ mm}$$

3.6.3.2 Retak awal

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

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

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

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

maka :

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

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

3.6.3.3 Lebar Retak

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

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

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

$$\text{Tegangan baja } f_s = \frac{Ma}{I_{cr}} (d - c) \eta$$

$$= \frac{28905926.277}{7973166.35} (201.75 - 14.301) 6.694$$

$$= 454.876 \text{ Mpa}$$

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

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

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

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

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

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

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

Dimana :

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

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 12 buah

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

maka analisis teoritis retak,

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

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

Tabel 3.4 Hasil analisa teoritis lendutan

No	Beban P (Kg)	Beban P (N)	Q (N/mm)	Bentang (L) (mm)	M (Nmm)	Mcr (Nmm)	Icr (mm ⁴)	Ig (mm ⁴)	Ie (mm ⁴)	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

Sutarni 8 Kav. 8 ☎ 567216 ★ Jl. Bondowoso 28 C. D.

Keterangan pengisian kolom table 3.7

- 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

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

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

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

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

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 transformasi (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) 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) mm^4 (Nomor urut 1 s/d 4) Nilainya diambil dari I_g , karena penampang masih dalam keadaan utuh. Momen inersia efektif (I_g) mm^4 (Nomor urut 5 s/d 18)

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

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

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

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

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

- Kolom 11

Modulus Elastisitas Beton (E_c) MPa

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

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

- Kolom 12

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

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

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 20)

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

Dimana ; Δ = lendutan (mm)

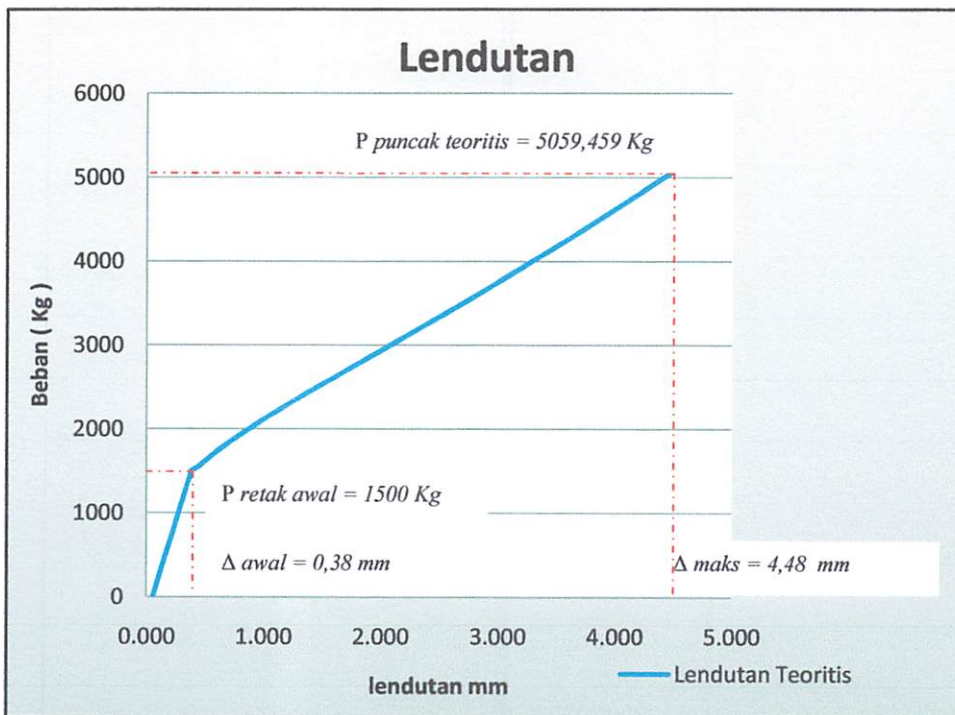
P = beban terpusat (kg)

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)



Grafik 3.1 hubungan beban – lendutan teoritis

Kurva beban – lendutan balok beton yang terlihat pada grafik 3.1 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.

3.7 Perhitungan Kuat Lentur Teoritis

$$\begin{aligned} \text{Data perencanaan : } l &= 2200 \text{ mm} \\ q &= 1,738 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

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

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 3.8.

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

- Kolom 3

Beban merata (q) N/mm

q = Luas penampang x berat jenis

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

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

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

- Kolom 4

Panjang balok (L) mm

- Kolom 5

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

Dimana :

Panjang (L) = 2200 mm

Beban merata (q) = 1.783 N/mm

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas (Ec)} &= 4700\sqrt{f'_c} \\ &= 4700\sqrt{40.415} \\ &= 29879.322 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia efektif (Ie)} &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \\ &= \left(\frac{9793151.579}{9328902.550}\right)^3 337127368,8 + \left[1 - \left(\frac{9793151.579}{9328902,6}\right)^3\right] 179731766,35 \\ &= 377498983.441 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Jadi besar lendutan pada beban 10000 N adalah :

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

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

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

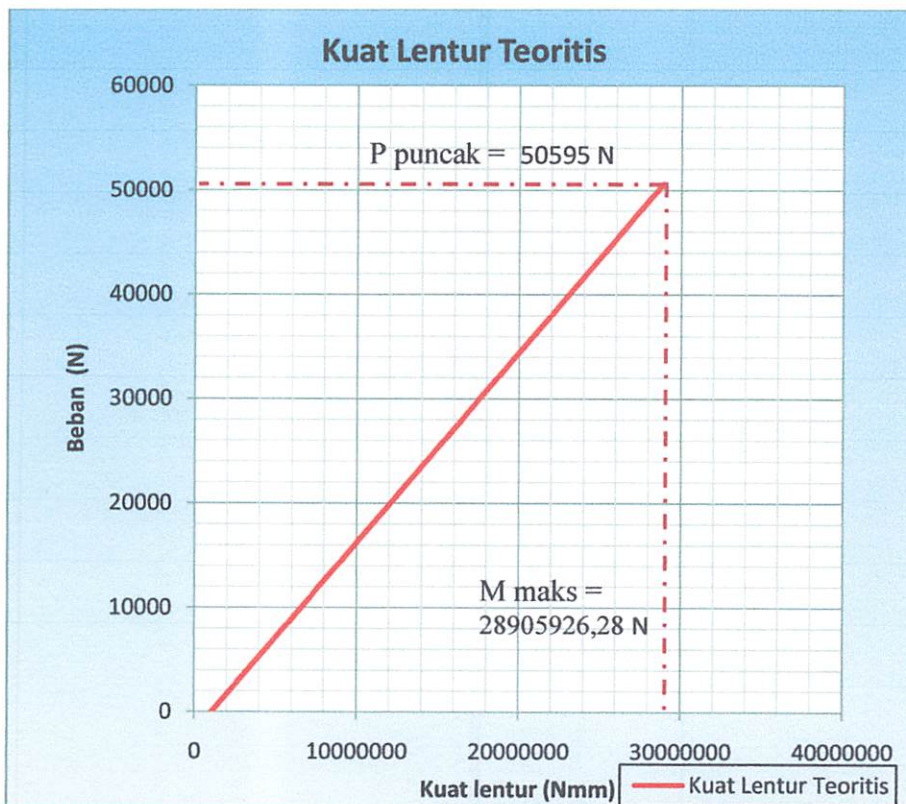
- Kolom 6

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

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

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

$$= 6578902.550 \text{ Nmm}$$



Grafik 3.2 hubungan Beban - Kuat lentur teoritis

Pada grafik hubungan beban - kuat lentur balok beton yang terlihat pada Grafik 3.2 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 .

3.8 Perhitungan Kuat Geser Teoritis

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 (Δ) (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

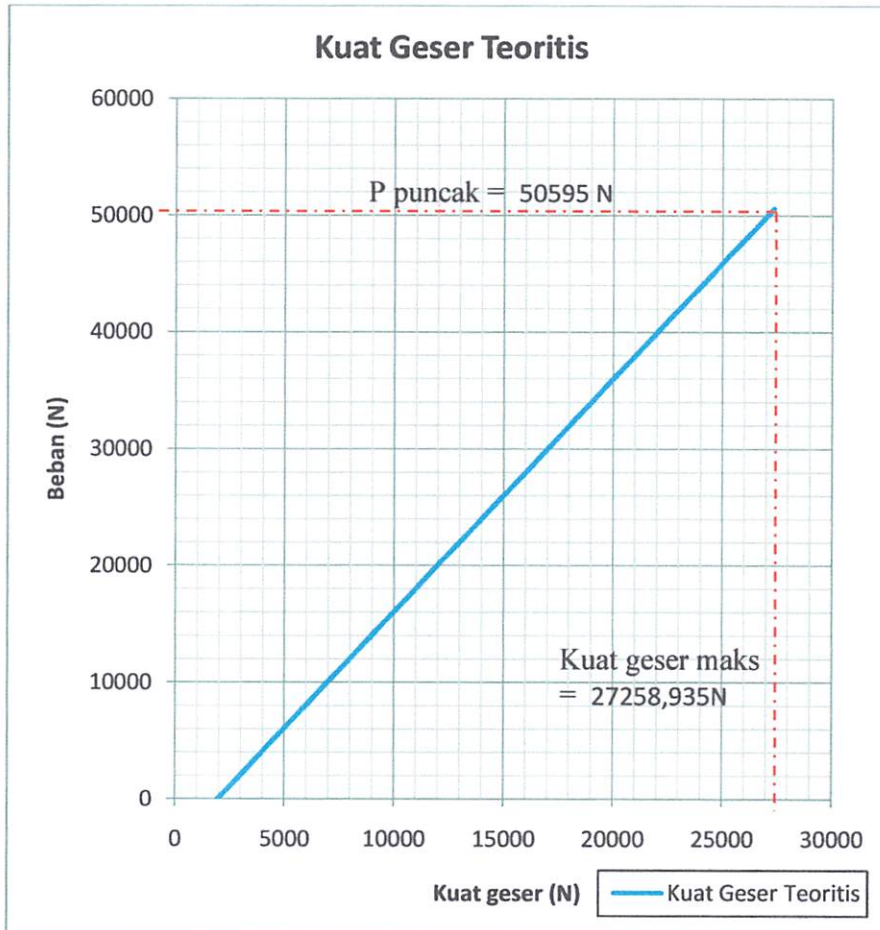
500	5000	1,78331	2200	0,164	4461,641
550	5500	1,78331	2200	0,175	4711,641
600	6000	1,78331	2200	0,186	4961,641
650	6500	1,78331	2200	0,197	5211,641
700	7000	1,78331	2200	0,208	5461,641
750	7500	1,78331	2200	0,219	5711,641
800	8000	1,78331	2200	0,230	5961,641
850	8500	1,78331	2200	0,241	6211,641
900	9000	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 3.9.

- 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 (Δ) mm
- Kolom 6
Kuat Geser (N)



Gambar 3.3 hubungan beban - kuat geser teoritis

Grafik hubungan beban – kuat geser balok beton yang terlihat pada Grafik 3.3 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 :

- ❖ Tinggi balok : 250 mm
- ❖ Lebar balok : 150 mm
- ❖ Panjang balok : 2200 mm
- ❖ Tebal plat : 80 mm
- ❖ Tebal selimut beton : 20 mm
- ❖ Mutu beton ($f'c$) : $412,115 \text{ kg/cm}^2 = 40,415 \text{ Mpa}$
- ❖ Tulangan pokok ($f'y$) : $\emptyset 7,5 \text{ mm} - 461,398 \text{ Mpa}$ (hasil uji tarik baja)
- ❖ Tulangan sengkang ($f'y$) : $\emptyset 4.5 \text{ mm} - 334,589 \text{ Mpa}$ (hasil uji tarik baja)

4.1.1. Balok Tanpa Sambungan Beton Dan Tulangan

1. Balok Beton Bertulang Tanpa Sambungan A (*BTS-A*)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan pada beton dan tulangan BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok pada saat beban mencapai $P = 1543.1 \text{ Kg}$ 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 sambungan A (BTS-A)

Benda uji : BTS-A Tanggal pengujian : 1/9/2015			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	22.65	0.00
2	55.11	22.65	0.00
3	110.22	22.67	0.02
4	165.33	22.76	0.11
5	220.44	22.78	0.13
6	275.55	22.82	0.17
7	330.66	22.85	0.20
8	385.77	22.88	0.23
9	440.88	22.92	0.27
10	495.99	22.97	0.32
11	551.1	23.03	0.38
12	606.21	23.07	0.42
13	661.32	23.11	0.46
14	716.43	23.16	0.51
15	771.54	23.19	0.54
16	826.65	23.27	0.62
17	881.76	23.29	0.64
18	936.87	23.33	0.68
19	991.98	23.36	0.71
20	1047.09	23.42	0.77
21	1102.2	23.47	0.82
22	1157.31	23.51	0.86
23	1212.42	23.54	0.89
24	1267.53	23.61	0.96
25	1322.64	23.65	1.00

Benda uji		: BTS-A	
Tanggal pengujian		: 1/9/2015	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
26	1377.75	23.7	1.05
27	1432.86	24.2	1.55
28	1487.97	24.24	1.59
29	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	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.

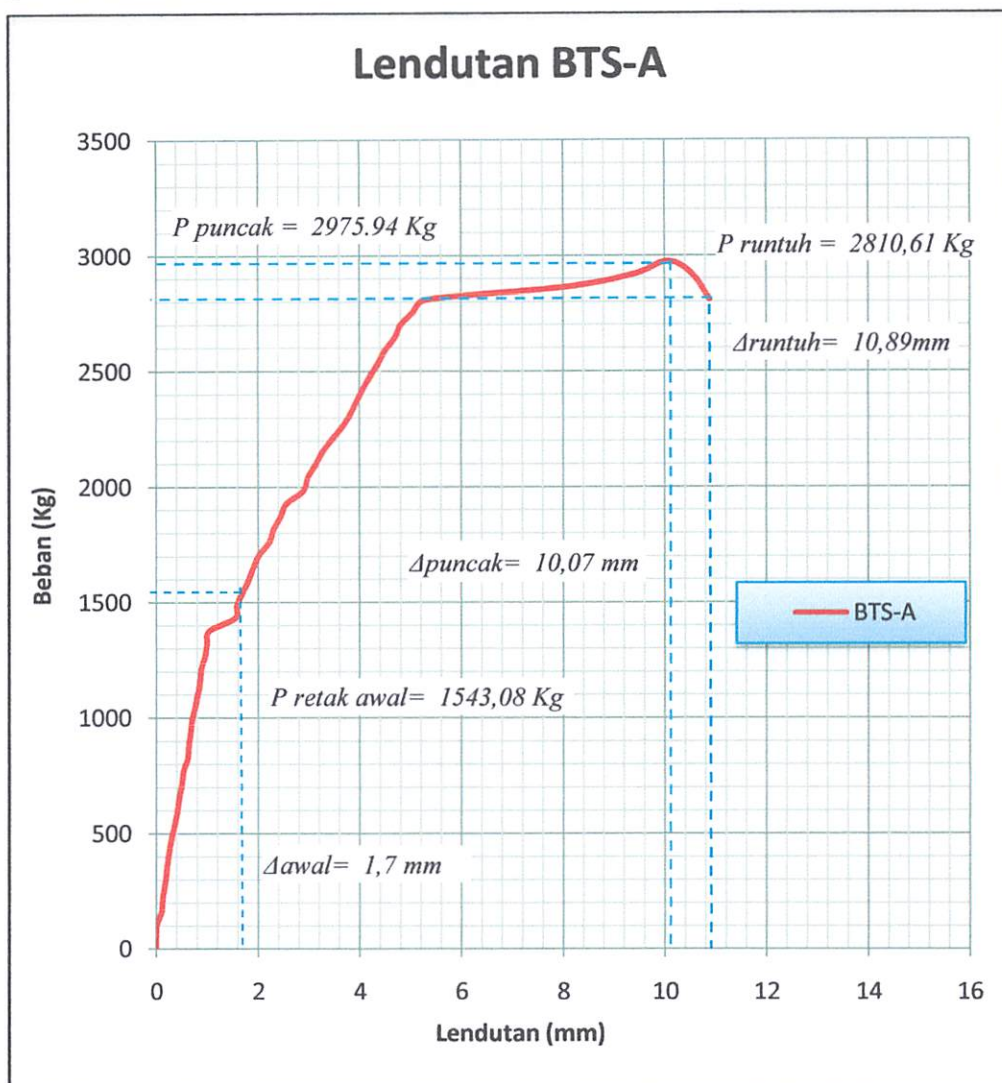
➤ Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 57)

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

lendutan Nomor urut 1

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



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

Seperti terlihat dalam Grafik 4.1, diketahui retak awal pada balok T pada beban P retak awal = 1543.08 Kg dan lendutan = 1.7 mm. Sedangkan beban P puncak = 2975,94 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.



Foto 4.1 Pengujian balok tanpa sambungan A (BTS-A)

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



Foto 4.2 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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

2. Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-B diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok 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 :		1/14/2014	
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

Benda uji : BTS-B Tanggal pengujian : 1/14/2014			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
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	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	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.

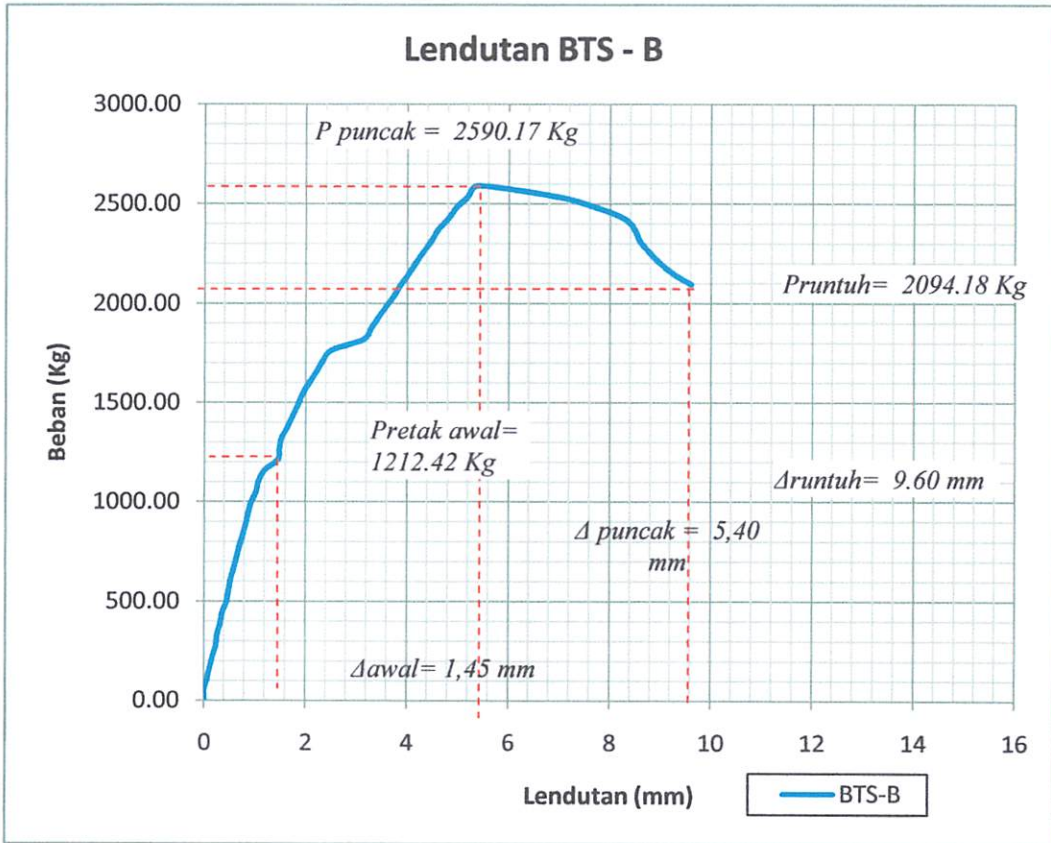
➤ Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 57)

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

lendutan Nomor urut 1

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



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

Seperti terlihat dalam 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 puncak $P = 2591.17$ 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.



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

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

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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

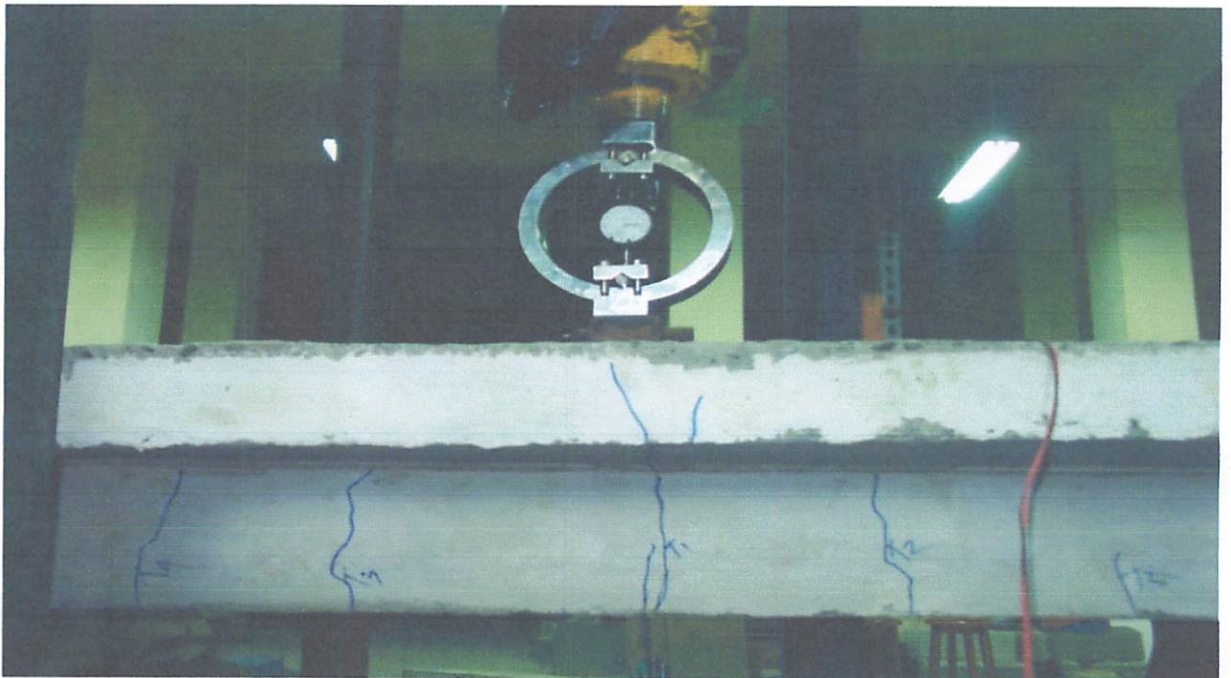


Foto 4.4 Retak yang terjadi pada balok T tanpa sambungan beton dan tulangan B (BTS-B)

3. Balok Tanpa Sambungan C (BTS-C)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-C diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok 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 :		1/15/2015	
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

Benda uji : BTS-C Tanggal pengujian : 1/15/2015			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
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	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	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 (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 57)
$$\Delta = ((\text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1}) \times 0.01) +$$

lendutan Nomor urut 1

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

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.3 diketahui terjadi retak awal pada balok T dengan beban sebesar = 1708.41 Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.61

mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2755.5 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 6.26 mm. Sedangkan Balok T mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2424.84 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 8.96 mm.

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

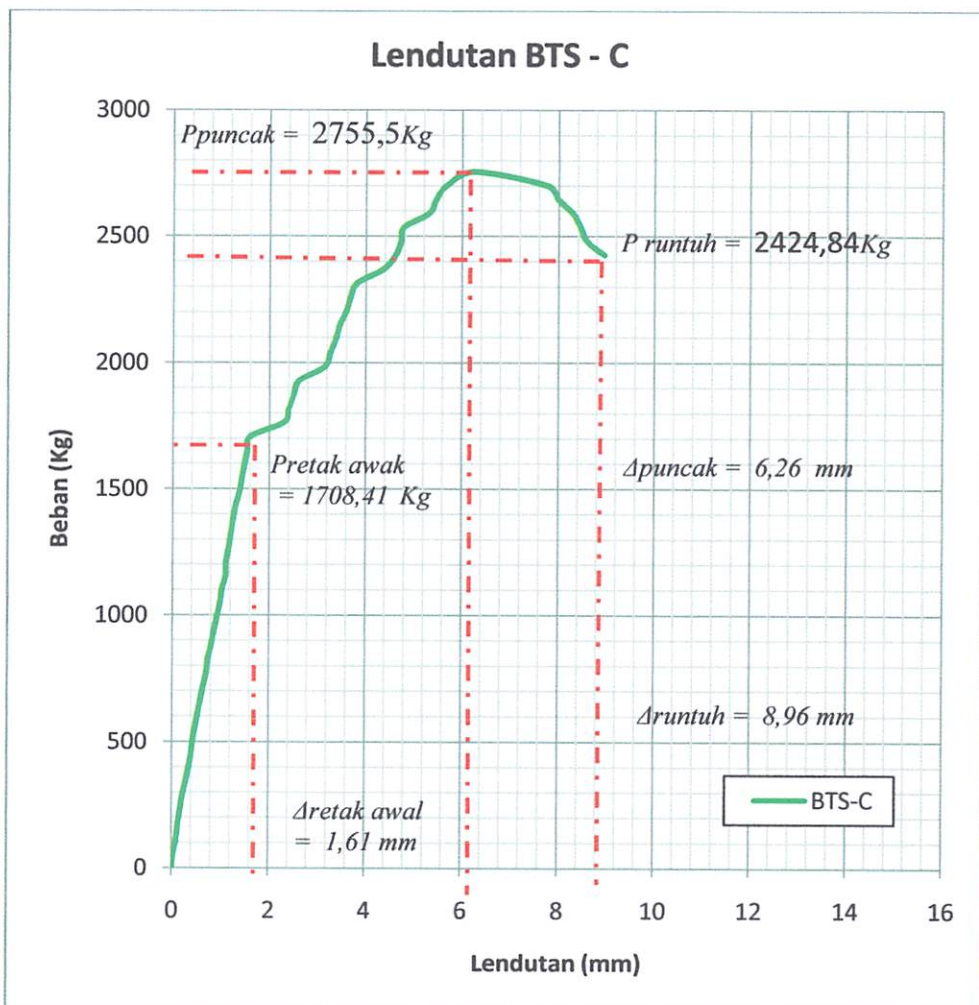




Foto 4.5 Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan C (BTS-C)

Kondisi fisik balok T pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya ± 1.90 mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok T baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.

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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

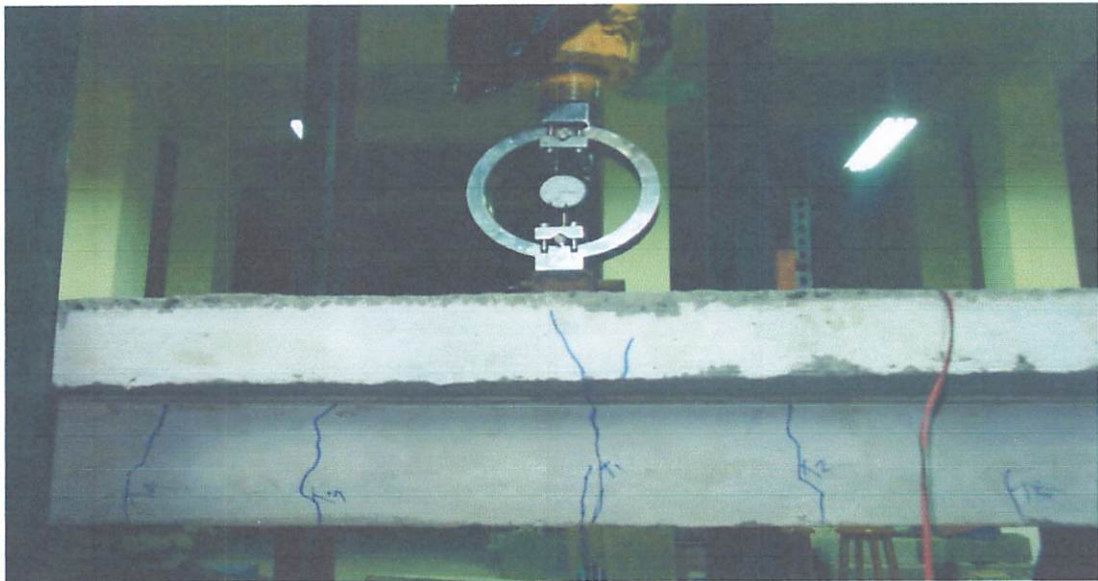


Foto 4.6 Retak yang terjadi pada balok T tanpa sambungan beton dan tulangan B (BTS-B)

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

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

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

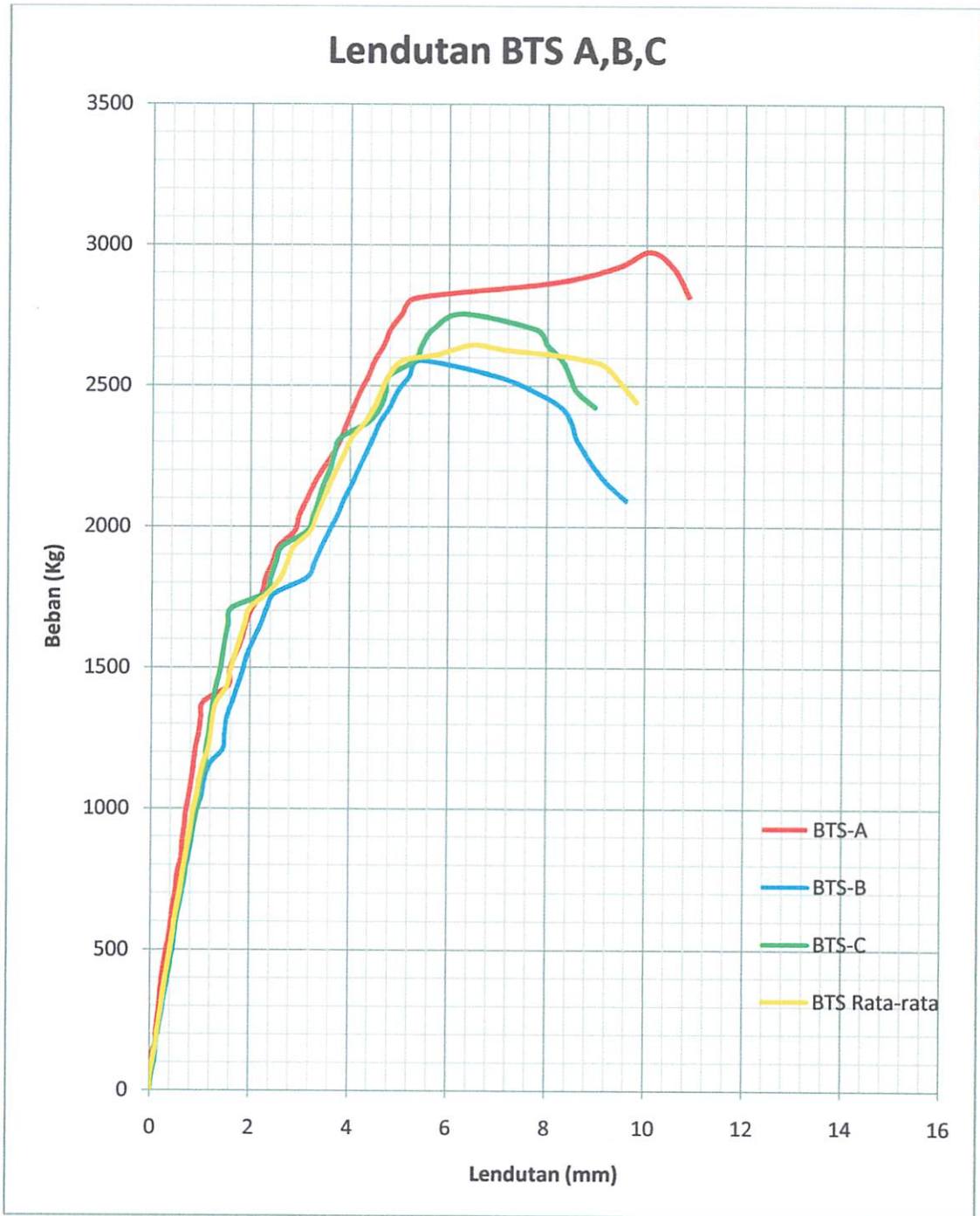
No.	Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
	BTS - A	BTS - B	BTS - C	BTS - A	BTS - B	BTS - C	Defleksi (mm)	Beban (kg)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	55,11	55,11	55,11	0,00	0,00	0,03	55,11	0,01
3	110,22	110,22	110,22	0,02	0,06	0,09	110,22	0,06
4	165,33	165,33	165,33	0,11	0,11	0,12	165,33	0,11
5	220,44	220,44	220,44	0,13	0,16	0,17	220,44	0,15
6	275,55	275,55	275,55	0,17	0,23	0,21	275,55	0,20
7	330,66	330,66	330,66	0,20	0,26	0,27	330,66	0,24
8	385,77	385,77	385,77	0,23	0,32	0,33	385,77	0,29
9	440,88	440,88	440,88	0,27	0,36	0,39	440,88	0,34
10	495,99	495,99	495,99	0,32	0,44	0,42	495,99	0,39
11	551,1	551,10	551,1	0,38	0,48	0,47	551,10	0,44

12	606,21	606,21	606,21	0,42	0,52	0,52	606,21	0,49
13	661,32	661,32	661,32	0,46	0,58	0,58	661,32	0,54
14	716,43	716,43	716,43	0,51	0,64	0,64	716,43	0,60
15	771,54	771,54	771,54	0,54	0,69	0,70	771,54	0,64
16	826,65	826,65	826,65	0,62	0,75	0,73	826,65	0,70
17	881,76	881,76	881,76	0,64	0,81	0,80	881,76	0,75
18	936,87	936,87	936,87	0,68	0,86	0,86	936,87	0,80
19	991,98	991,98	991,98	0,71	0,92	0,92	991,98	0,85
20	1047,09	1047,09	1047,09	0,77	1,02	0,98	1047,09	0,92
21	1102,2	1102,20	1102,2	0,82	1,07	1,02	1102,20	0,97
22	1157,31	1157,31	1157,31	0,86	1,18	1,10	1157,31	1,05
23	1212,42	1212,42	1212,42	0,89	1,45	1,11	1212,42	1,15
24	1267,53	1267,53	1267,53	0,96	1,48	1,16	1267,53	1,20
25	1322,64	1322,64	1322,64	1,00	1,52	1,20	1322,64	1,24
26	1377,75	1377,75	1377,75	1,05	1,64	1,25	1377,75	1,31
27	1432,86	1432,86	1432,86	1,55	1,74	1,30	1432,86	1,53
28	1487,97	1487,97	1487,97	1,59	1,84	1,38	1487,97	1,60
29	1543,08	1543,08	1543,08	1,70	1,93	1,43	1543,08	1,69
30	1598,19	1598,19	1598,19	1,82	2,06	1,48	1598,19	1,79
31	1653,3	1653,30	1653,3	1,91	2,20	1,54	1653,30	1,88
32	1708,41	1708,41	1708,41	2,03	2,32	1,61	1708,41	1,99
33	1763,52	1763,52	1763,52	2,23	2,50	2,30	1763,52	2,34
34	1818,63	1818,63	1818,63	2,31	3,13	2,40	1818,63	2,61
35	1873,74	1873,74	1873,74	2,45	3,29	2,51	1873,74	2,75
36	1928,85	1928,85	1928,85	2,56	3,43	2,63	1928,85	2,87
37	1983,96	1983,96	1983,96	2,89	3,58	3,14	1983,96	3,20
38	2039,07	2039,07	2039,07	2,98	3,74	3,26	2039,07	3,33
39	2094,18	2094,18	2094,18	3,13	3,87	3,37	2094,18	3,46
40	2149,29	2149,29	2149,29	3,27	4,03	3,46	2149,29	3,59
41	2204,4	2204,40	2204,4	3,45	4,17	3,59	2204,40	3,74
42	2259,51	2259,51	2259,51	3,66	4,32	3,68	2259,51	3,89
43	2314,62	2314,62	2314,62	3,82	4,47	3,81	2314,62	4,03
44	2369,73	2369,73	2369,73	3,94	4,60	4,36	2369,73	4,30
45	2424,84	2424,84	2424,84	4,07	4,80	4,61	2424,84	4,49
46	2479,95	2479,95	2479,95	4,21	4,96	4,72	2479,95	4,63
47	2535,06	2535,06	2535,06	4,37	5,19	4,78	2535,06	4,78
48	2590,17	2590,17	2590,17	4,50	5,40	5,30	2590,17	5,07
49	2645,28	2535,06	2645,28	4,69	6,95	5,45	2608,54	5,70
50	2700,39	2479,95	2700,39	4,81	7,73	5,67	2626,91	6,07
51	2755,5	2424,84	2755,5	5,05	8,27	6,26	2645,28	6,53
52	2810,61	2369,73	2700,38	5,31	8,48	7,76	2626,91	7,18
53	2865,72	2314,62	2645,28	8,11	8,58	7,99	2608,54	8,23
54	2920,83	2259,51	2590,17	9,41	8,76	8,29	2590,17	8,82

55	2975,94	2204,40	2535,06	10,07	8,97	8,45	2571,80	9,16
56	2920,83	2149,29	2479,95	10,54	9,24	8,59	2516,69	9,46
57	2810,61	2094,18	2424,84	10,89	9,60	8,96	2443,21	9,82

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

Grafik 4.4 hubungan beban – lendutan BTSA,B,C, dan rata-rata BTS



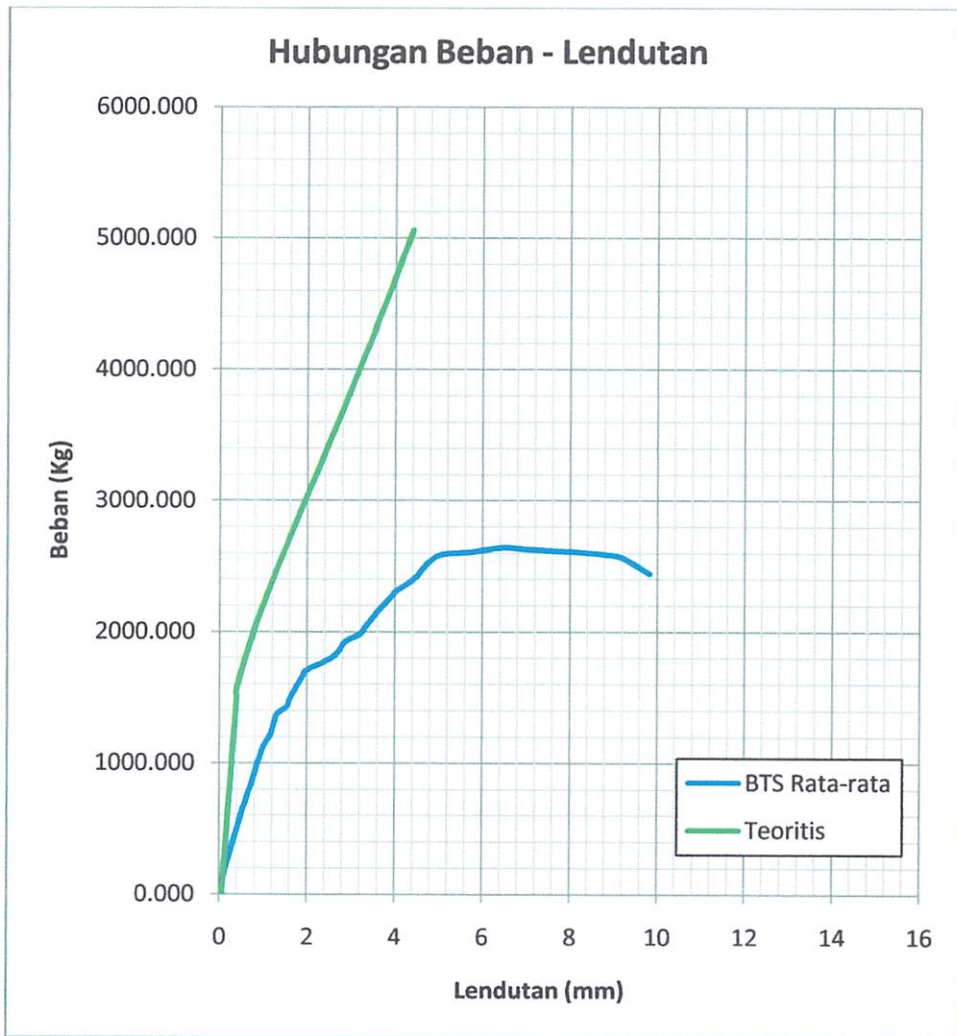
Grafik hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan beton dan tulangan BTS-A, BTS-B, BTS-C, dan Rata-rata yang terlihat pada grafik 4.4 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-

angka pada Tabel 4.4 yaitu angka-angka pada kolom 9 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 8 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

Berdasarkan bentuk grafik 4.4 di atas, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok tanpa sambungan A,B,C,dan rata-rata sehingga rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (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 B (BTS-B) mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 2590.17 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2094.18 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 9.60 mm.
3. 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.

Grafik 4.5. hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata dan teoritis.



Hubungan beban-lendutan balok tanpa sambungan rata-rata dan teoritis pada grafik 4.5 di atas terjadi perbedaan, dimana balok tanpa sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar lendutan (Δ) 0.55 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1090 Kg dengan besar lendutan Δ = 9.19 mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 1036.67 Kg dengan besar lendutan Δ 11.13 mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 200 Kg dengan besar lendutan (Δ) 0.72 mm. Beban puncak terjadi pada $P = 778.97$ Kg dengan besar lendutan $\Delta = 6.05$ mm.

4.1.2. Balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang

1. Balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang A

Mekanisme keruntuhan balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – duabentang ($\frac{1}{2}$ - A) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok pada saat beban mencapai $P = 1928.85$ Kg dengan besar lendutan $\Delta = 1.14$ mm, kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 2810.61$ Kg dengan besar lendutan $\Delta = 4.14$ 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 dengan jarak sambungan beton dan tulangan $\frac{1}{2}$

Benda uji		B 1/2 - A	
Tanggal pengujian		1/12/2015	
Letak LVDT		1/2 B	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	12.60	0.00
2	55.11	12.64	0.04
3	110.22	12.65	0.05
4	165.33	12.68	0.08
5	220.44	12.75	0.15
6	275.55	12.70	0.10
7	330.66	12.67	0.07
8	385.77	12.73	0.13
9	440.88	12.81	0.21
10	495.99	12.78	0.18
11	551.1	12.88	0.28
12	606.21	12.88	0.28
13	661.32	12.92	0.32
14	716.43	12.93	0.33
15	771.54	12.87	0.27
16	826.65	12.95	0.35
17	881.76	13.01	0.41
18	936.87	13.00	0.40
19	991.98	13.03	0.43
20	1047.09	13.03	0.43
21	1102.2	13.08	0.48
22	1157.31	13.05	0.45
23	1212.42	13.11	0.51
24	1267.53	13.11	0.51
25	1322.64	13.18	0.58
26	1377.75	13.18	0.58
27	1432.86	13.19	0.59
28	1487.97	13.18	0.58
29	1543.08	13.17	0.57

Benda uji	:	B 1/2 - A		
Tanggal pengujian	:	1/12/2015		
Letak LVDT	:	1/2 B		
No	Beban	Bacaan	Defleksi	
	(Kg)	MVD	(mm)	
	2	3	4	
30	1598.19	13.21	0.61	
31	1653.3	13.33	0.73	
32	1708.41	13.34	0.74	
33	1763.52	13.36	0.76	
34	1818.63	13.39	0.79	
35	1873.74	13.41	0.81	
36	1928.85	13.74	1.14	
37	1983.96	13.75	1.15	
38	2039.07	13.91	1.31	
39	2094.18	13.96	1.36	
40	2149.29	14.06	1.46	
41	2204.4	14.18	1.58	
42	2259.51	14.19	1.59	
43	2314.62	14.27	1.67	
44	2369.73	14.35	1.75	
45	2424.84	14.52	1.92	
46	2479.95	14.62	2.02	
47	2535.06	14.70	2.10	
48	2590.17	14.96	2.36	
49	2645.28	15.10	2.50	
50	2700.39	15.34	2.74	
51	2755.5	15.84	3.24	
52	2810.61	16.74	4.14	
53	2700.39	16.89	4.29	
54	2590.17	17.15	4.55	

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.

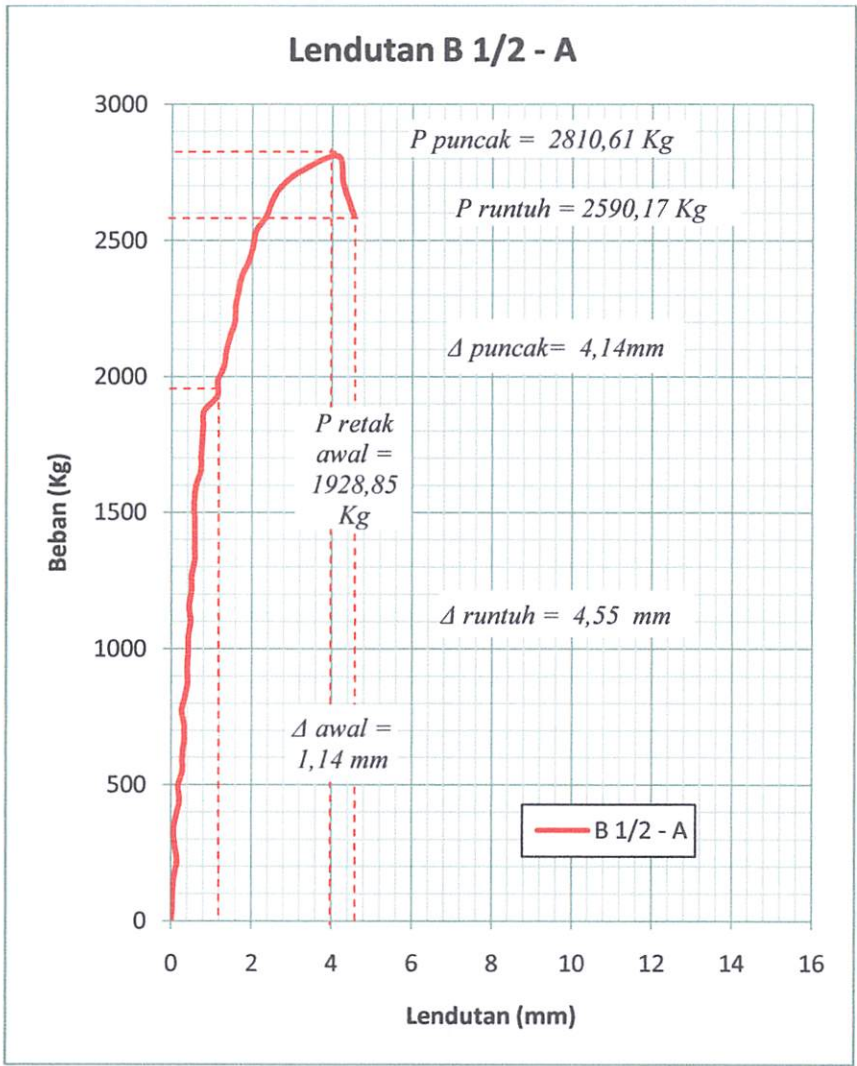
➤ Kolom 4

Lendutan yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 54)

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

lendutan nomor urut 1

Grafik 4.6 hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) A



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

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.6 diketahui terjadi retak awal pada balok T $\frac{1}{2}$ bentang dengan beban sebesar $P = 1928.85$ Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.14 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 2810.61 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 4.14 mm. Sedangkan Balok T $\frac{1}{2}$ bentang mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 2590.17 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 4.55 mm.



Gambar 4.7 Pengujian Kuat lentur balok T dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) A

Kondisi fisik balok T $\frac{1}{2}$ bentang pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya ± 1.30 mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok T baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.

Retak yang terjadi pada benda uji balok T $\frac{1}{2}$ bentang 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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.



Foto 4.8 Retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua bentang B

2. Balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – dua (½) bentang B

Mekanisme keruntuhan balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – duambentang (½ - B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok pada saat beban mencapai $P = 1873.74 \text{ Kg}$ dengan besar lendutan $\Delta = 1.79 \text{ mm}$, kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 3251.49 \text{ Kg}$ dengan besar lendutan $\Delta = 6.44 \text{ mm}$. 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 dengan jarak sambungan tulangan ½ B

Benda uji : B 1/2- B			
Tanggal pengujian : 1/14/2015			
Letak LVDT : 1/2 B			
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	19.52	0.00
2	55.11	19.54	0.02
3	110.22	19.58	0.06
4	165.33	19.62	0.10
5	220.44	19.67	0.15
6	275.55	19.72	0.20
7	330.66	19.78	0.26
8	385.77	19.83	0.31
9	440.88	19.85	0.33
10	495.99	19.91	0.39
11	551.1	19.96	0.44

Benda Uji	: B ½ - B		
Tanggal Pengujian	: 1/14/2015		
Letak LVDT	: ½ B		
No	Beban	Bacaan	Defleksi
	Kg	MVD	mm
1	2	3	4
12	606.21	20.01	0.49
13	661.32	20.07	0.55
14	716.43	20.11	0.59
15	771.54	20.16	0.64
16	826.65	20.23	0.71
17	881.76	20.25	0.73
18	936.87	20.30	0.78
19	991.98	20.37	0.85
20	1047.09	20.39	0.87
21	1102.2	20.43	0.91
22	1157.31	20.48	0.96
23	1212.42	20.53	1.01
24	1267.53	20.58	1.06
25	1322.64	20.63	1.11
26	1377.75	20.70	1.18
27	1432.86	20.75	1.23
28	1487.97	20.81	1.29
29	1543.08	20.86	1.34
30	1598.19	20.92	1.40
31	1653.3	20.99	1.47
32	1708.41	21.07	1.55
33	1763.52	21.18	1.66
34	1818.63	21.25	1.73
35	1873.74	21.31	1.79
36	1928.85	21.44	1.92
37	1983.96	21.55	2.03
38	2039.07	21.69	2.17
39	2094.18	21.92	2.40
40	2149.29	22.04	2.52
41	2204.4	22.16	2.64
42	2259.51	22.31	2.79
43	2314.62	22.37	2.85

44	2369.73	22.48	2.96
45	2424.84	22.56	3.04
46	2479.95	22.75	3.23
47	2535.06	22.93	3.41
48	2590.17	23.07	3.55
49	2645.28	23.27	3.75
50	2700.39	23.43	3.91
51	2755.5	23.65	4.13
52	2810.61	23.78	4.26
53	2865.72	23.90	4.38
54	2920.83	24.07	4.55
55	2975.94	24.25	4.73
56	3031.05	24.47	4.95
57	3086.16	24.61	5.09
58	3141.27	24.93	5.41
59	3196.38	25.2	5.68
60	3251.49	25.96	6.44
61	3196.38	25.98	6.46
62	3141.27	26.02	6.50

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 (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 62)

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

lendutan nomor urut 1.

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

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.7 diketahui terjadi retak awal pada balok T $\frac{1}{2}$ bentang dengan beban sebesar $P = 1873.74$ Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.79 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 3251.49 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 6.44 mm. Sedangkan Balok T $\frac{1}{2}$ bentang mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 3141.27 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 6.50 mm.

Grafik 4.7. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) B

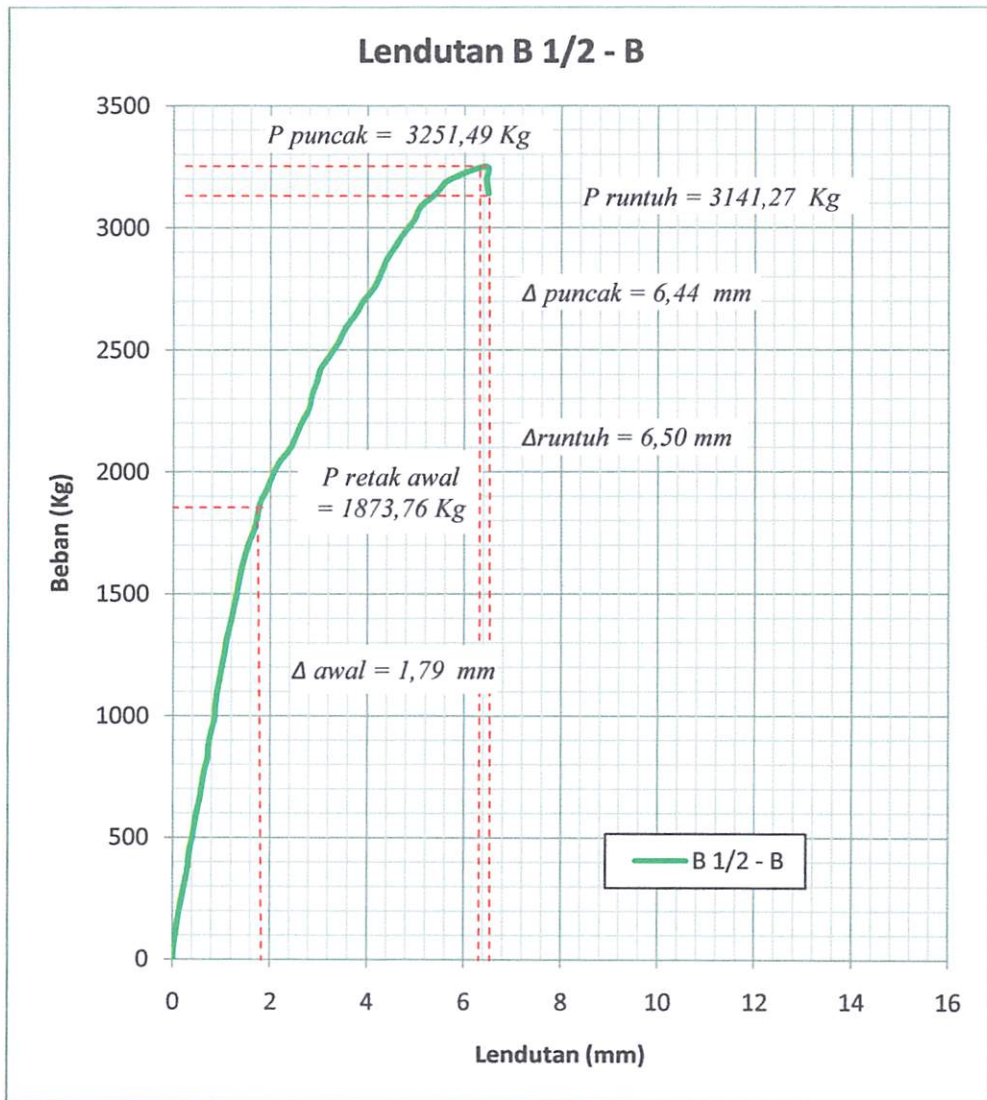




Foto 4.9 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) B

Kondisi fisik balok T $\frac{1}{2}$ bentang pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya ± 0.5 mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok T baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.

Retak yang terjadi pada benda uji balok T $\frac{1}{2}$ bentang 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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

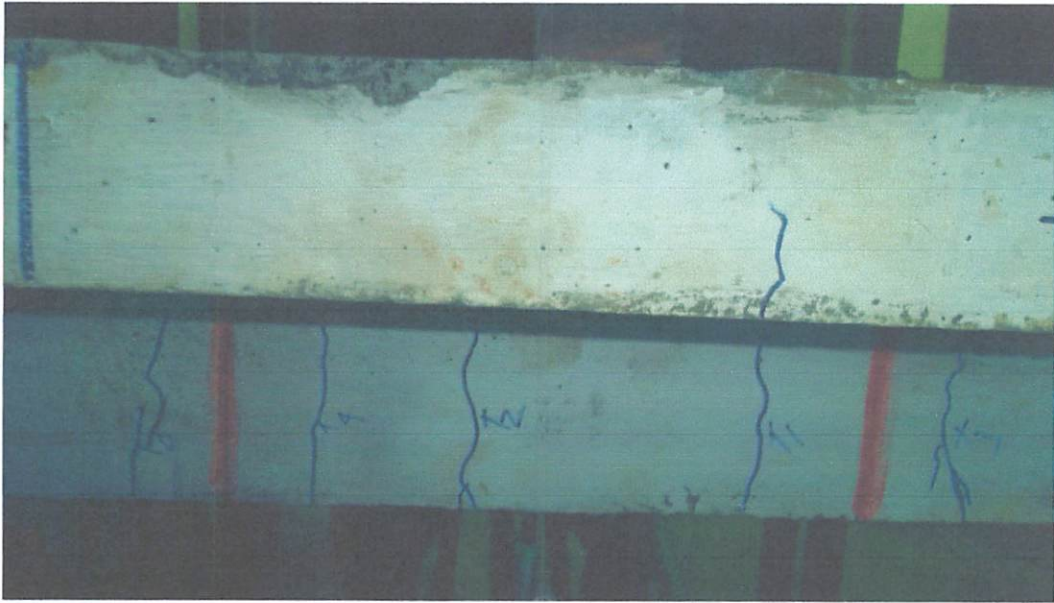


Foto 4.10 Retak balok T dengan jarak sambungan $\frac{1}{2}$ bentang B ($\frac{1}{2} - B$)

3. Balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang C

Mekanisme keruntuhan balok sambungan beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – duabentang ($\frac{1}{2} - C$) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal pada tengah balok pada saat beban mencapai $P = 1928.85 \text{ Kg}$ dengan besar lendutan $\Delta = 1.80 \text{ mm}$, kemudian lebar dan jumlah retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 3416.82 \text{ Kg}$ dengan besar lendutan $\Delta = 9.16 \text{ mm}$. 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 dengan jarak sambungan tulangan $\frac{1}{2} C$

Benda uji : B 1/2 – C Tanggal pengujian : 1/15/2015 Letak LVDT : 1/2 B			
No.	Beban	Bacaan	Defleksi
	(Kg)	MVD	(mm)
1	2	3	4
1	0	18.74	0.00
2	55.11	18.77	0.03
3	110.22	18.82	0.08
4	165.33	18.87	0.13
5	220.44	18.94	0.20
6	275.55	19.00	0.26
7	330.66	19.07	0.33
8	385.77	19.13	0.39
9	440.88	19.18	0.44
10	495.99	19.24	0.50
11	551.1	19.30	0.56
12	606.21	19.35	0.61
13	661.32	19.40	0.66
14	716.43	19.44	0.70
15	771.54	19.51	0.77
16	826.65	19.55	0.81
17	881.76	19.60	0.86
18	936.87	19.64	0.90
19	991.98	19.70	0.96
20	1047.09	19.73	0.99
21	1102.2	19.78	1.04
22	1157.31	19.84	1.10
23	1212.42	19.90	1.16
24	1267.53	19.93	1.19
25	1322.64	19.98	1.24
26	1377.75	20.02	1.28

Benda Uji B ½ - C			
Tanggal Letak	Uji pengujian LVDT	1/14/2015	
No	Beban	Bacaan	Defleksi
	Kg	MVD	mm
1	2	3	4
27	1432.86	20.06	1.32
28	1487.97	20.11	1.37
29	1543.08	20.16	1.42
30	1598.19	20.21	1.47
31	1653.3	20.24	1.50
32	1708.41	20.29	1.55
33	1763.52	20.33	1.59
34	1818.63	20.38	1.64
35	1873.74	20.44	1.70
36	1928.85	20.54	1.80
37	1983.96	20.69	1.95
38	2039.07	20.74	2.00
39	2094.18	21.07	2.33
40	2149.29	21.17	2.43
41	2204.4	21.44	2.70
42	2259.51	21.53	2.79
43	2314.62	21.61	2.87
44	2369.73	21.87	3.13
45	2424.84	22.44	3.70
46	2479.95	22.59	3.85
47	2535.06	22.70	3.96
48	2590.17	22.74	4.00
49	2645.28	22.85	4.11
50	2700.39	22.97	4.23
51	2755.5	23.10	4.36
52	2810.61	23.31	4.57
53	2865.72	23.48	4.74
54	2920.83	23.65	4.91
55	2975.94	23.77	5.03
56	3031.05	24.05	5.31
57	3086.16	24.2	5.46

58	3141.27	24.57	5.83
59	3196.38	24.79	6.05
60	3251.49	24.91	6.17
61	3306.6	25.21	6.47
62	3361.71	25.8	7.06
63	3416.82	27.9	9.16
64	3361.71	28.43	9.69

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 (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 64)
$$\Delta = ((\text{Bacaan MVD nomor urut 2} - \text{Bacaan MVD nomor urut 1}) \times 0.01) +$$

lendutan nomor urut 1.

Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan $\frac{1}{2}$ bentang ($\frac{1}{2} - C$) yang terlihat pada Grafik 4.6 di bawah adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.5 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Seperti yang terlihat pada Grafik 4.7 diketahui terjadi retak awal pada balok T $\frac{1}{2}$ bentang dengan beban sebesar $P = 1928.85$ Kg dan lendutan yang terjadi pada awal retak = 1.80 mm. Nilai pada saat beban puncak atau P puncak = 3416.82 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat P puncak = 9.16 mm. Sedangkan Balok T $\frac{1}{2}$ bentang mengalami runtuh pada saat beban sebesar = 3361.71 Kg dan lendutan yang terjadi pada saat balok T mengalami runtuh = 9.69 mm.

Grafik 4.7. Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) C

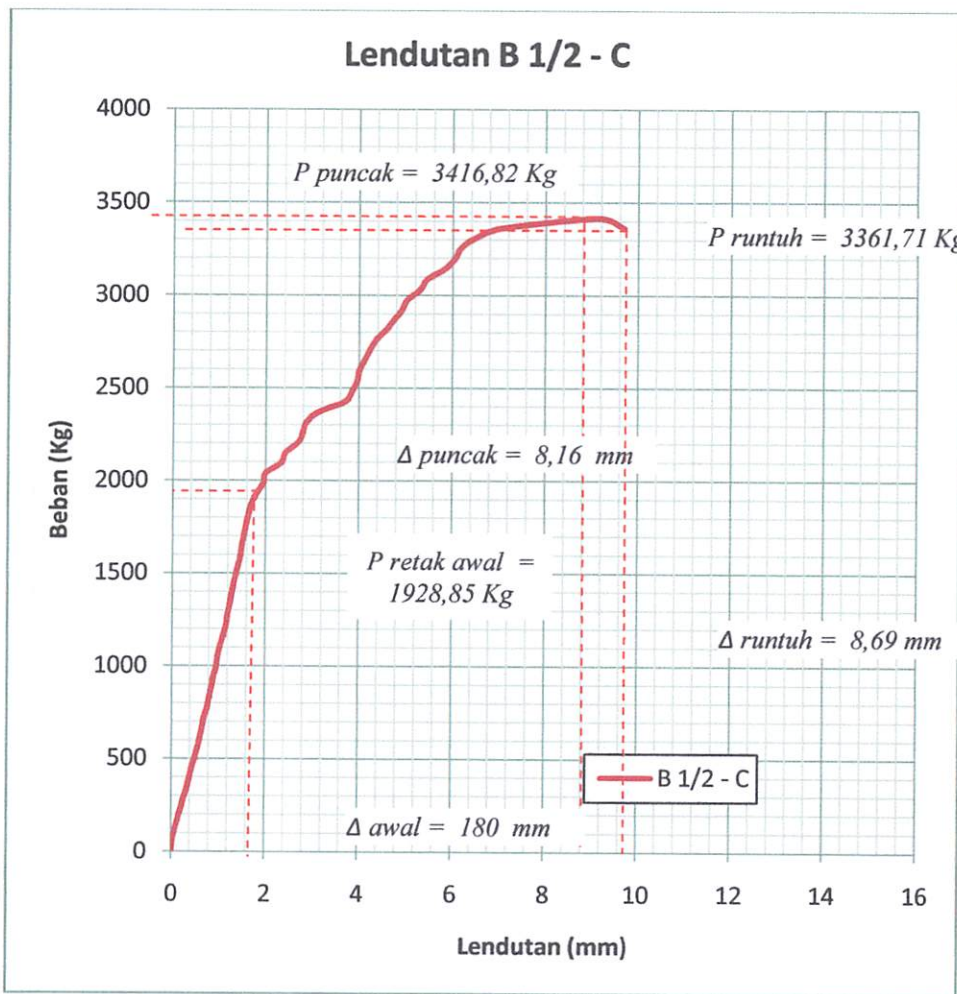




Foto 4.11 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan ($\frac{1}{2}$) C

Kondisi fisik balok T $\frac{1}{2}$ bentang pada keadaan ini bila dilihat secara visual, terjadi retak akhir pada tengah balok yang lebarnya ± 1.15 mm, dan retak-retak lain yang terjadi pada sisi balok T baik dari tumpuan kiri maupun tumpuan kanan.

Retak yang terjadi pada benda uji balok T $\frac{1}{2}$ bentang 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 besar yang dapat digunakan sebagai pertanda.

Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur, semua elemen harus didesain sedemikian agar kekuatan gesernya lebih besar dari yang diperlukan sehingga dapat dijamin bahwa keruntuhan lentur akan terjadi terlebih dahulu.

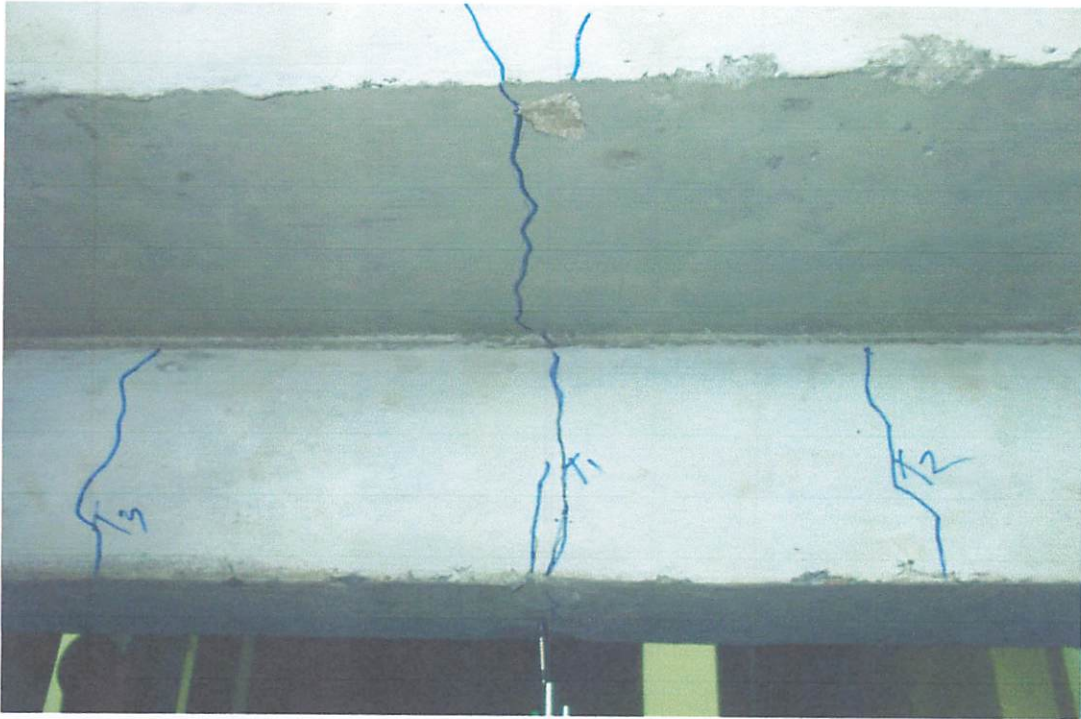


Foto 4.12 pola retak balok T dengan jarak sambungan seper – dua bentang C

4. Rata –rata sambungan balok beton dan tulangan dengan jarak sambungan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang

Tabel 4.7. di bawah ini merupakan gabungan dari hubungan beban dan lendutan Balok Tanpa Sambungan (B-1/2) A, B, dan C. Dan kemudian dari hasil ketiga benda uji ini, diambil nilai beban dan lendutan rata – ratanya.

Tabel 4.7 hubungan beban – lendutan Balok $\frac{1}{2}$ A,B,C, dan rata-rata

Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
Balok 1/2 A	Balok 1/2 B	Balok 1/2 B	Balok 1/2 A	Balok 1/2 B	Balok 1/2 B	Beban (Kg)	Lendutan (mm)
2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0
55.11	55.11	55.11	0.04	0.02	0	55.11	0.03
110.22	110.22	110.22	0.05	0.06	0.08	110.22	0.06
165.33	165.33	165.33	0.08	0.10	0.13	165.33	0.10
220.44	220.44	220.44	0.15	0.15	0.20	220.44	0.17
275.55	275.55	275.55	0.10	0.20	0.26	275.55	0.19
330.66	330.66	330.66	0.07	0.26	0.33	330.66	0.22
385.77	385.77	385.77	0.13	0.31	0.39	385.77	0.28
440.88	440.88	440.88	0.21	0.33	0.44	440.88	0.33
495.99	495.99	495.99	0.18	0.39	0.50	495.99	0.36
551.1	551.1	551.1	0.28	0.44	0.56	551.1	0.43
606.21	606.21	606.21	0.28	0.49	0.61	606.21	0.46
661.32	661.32	661.32	0.32	0.55	0.66	661.32	0.51
716.43	716.43	716.43	0.33	0.59	0.70	716.43	0.54
771.54	771.54	771.54	0.27	0.64	0.77	771.54	0.56
826.65	826.65	826.65	0.35	0.71	0.81	826.65	0.62
881.76	881.76	881.76	0.41	0.73	0.86	881.76	0.67
936.87	936.87	936.87	0.40	0.78	0.90	936.87	0.69
991.98	991.98	991.98	0.43	0.85	0.96	991.98	0.75
1047.09	1047.09	1047.09	0.43	0.87	0.99	1047.09	0.76
1102.2	1102.2	1102.2	0.48	0.91	1.04	1102.2	0.81
1157.31	1157.31	1157.31	0.45	0.96	1.10	1157.31	0.84
1212.42	1212.42	1212.42	0.51	1.01	1.16	1212.42	0.89
1267.53	1267.53	1267.53	0.51	1.06	1.19	1267.53	0.92
1322.64	1322.64	1322.64	0.58	1.11	1.24	1322.64	0.98
1377.75	1377.75	1377.75	0.58	1.18	1.28	1377.75	1.01
1432.86	1432.86	1432.86	0.59	1.23	1.32	1432.86	1.05
1487.97	1487.97	1487.97	0.58	1.29	1.37	1487.97	1.08
1543.08	1543.08	1543.08	0.57	1.34	1.42	1543.08	1.11
1598.19	1598.19	1598.19	0.61	1.40	1.47	1598.19	1.16
1653.3	1653.3	1653.3	0.73	1.47	1.50	1653.3	1.23
1708.41	1708.41	1708.41	0.74	1.55	1.55	1708.41	1.28
1763.52	1763.52	1763.52	0.76	1.66	1.59	1763.52	1.34

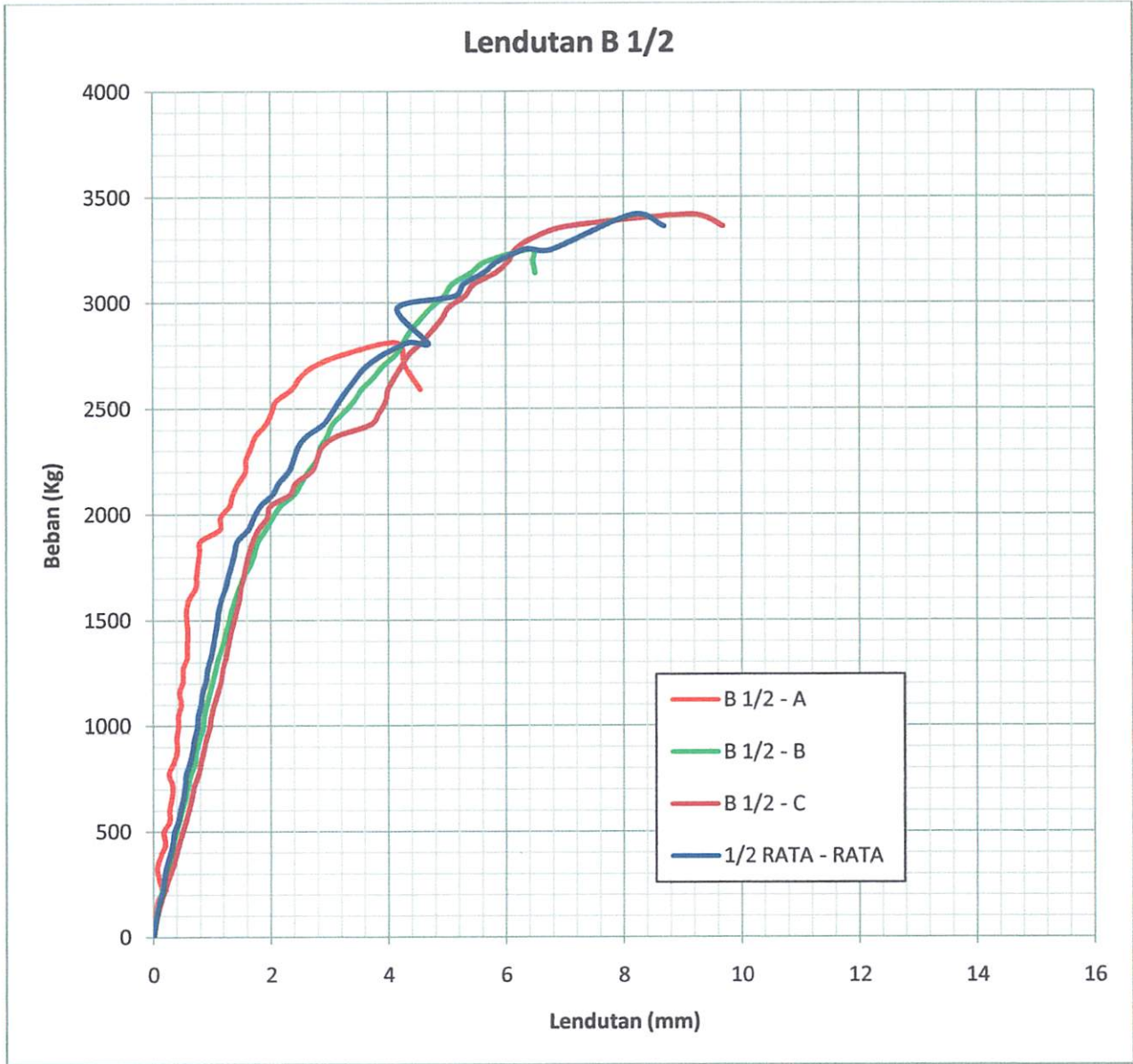
Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata – rata	
Balok ½ A	Balok ½ B	Balok ½ C	Balok ½ A	Balok ½ B	Balok ½ C	Beban (Kg)	Lendutan (mm)
2	3	4	5	6	7	8	9
1818.63	1818.63	1818.63	0.79	1.73	1.64	1818.63	1.39
1873.74	1873.74	1873.74	0.81	1.79	1.70	1873.74	1.43
1928.85	1928.85	1928.85	1.14	1.92	1.80	1928.85	1.62
1983.96	1983.96	1983.96	1.15	2.03	1.95	1983.96	1.71
2039.07	2039.07	2039.07	1.31	2.17	2.00	2039.07	1.83
2094.18	2094.18	2094.18	1.36	2.40	2.33	2094.18	2.03
2149.29	2149.29	2149.29	1.46	2.52	2.43	2149.29	2.14
2204.4	2204.4	2204.4	1.58	2.64	2.70	2204.4	2.31
2259.51	2259.51	2259.51	1.59	2.79	2.79	2259.51	2.39
2314.62	2314.62	2314.62	1.67	2.85	2.87	2314.62	2.46
2369.73	2369.73	2369.73	1.75	2.96	3.13	2369.73	2.61
2424.84	2424.84	2424.84	1.92	3.04	3.70	2424.84	2.89
2479.95	2479.95	2479.95	2.02	3.23	3.85	2479.95	3.03
2535.06	2535.06	2535.06	2.10	3.41	3.96	2535.06	3.16
2590.17	2590.17	2590.17	2.36	3.55	4.00	2590.17	3.30
2645.28	2645.28	2645.28	2.50	3.75	4.11	2645.28	3.45
2700.39	2700.39	2700.39	2.74	3.91	4.23	2700.39	3.63
2755.5	2755.5	2755.5	3.24	4.13	4.36	2755.5	3.91
2810.61	2810.61	2810.61	4.14	4.26	4.57	2810.61	4.32
2700.39	2865.72	2865.72	4.29	4.38	4.74	2810.61	4.47
2590.17	2920.83	2920.83	4.55	4.55	4.91	2810.61	4.67
	2975.94	2975.94		4.73	5.03	2975.94	4.16
	3031.05	3031.05		4.95	5.31	3031.05	5.13
	3086.16	3086.16		5.09	5.46	3086.16	5.28
	3141.27	3141.27		5.41	5.83	3141.27	5.62
	3196.38	3196.38		5.68	6.05	3196.38	5.87
	3251.49	3251.49		6.44	6.17	3251.49	6.31
	3196.38	3306.6		6.46	6.47	3251.49	6.47
	3141.27	3361.71		6.5	7.06	3251.49	6.78
		3416.82			8.16	3416.82	8.16
		3361.71			8.69	3361.71	8.69

Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar lendutan yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai lendutan menggunakan alat MVD amplifier. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.7 di atas.

Grafik hubungan beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/2 bentang A,B dan C yang terlihat pada Grafik 4.8 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.7 yaitu angka-angka pada kolom 7 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 6 untuk arah vertikal (Beban rata-rata). Berdasarkan bentuk grafik 4.8 di bawah, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/2 bentang sehingga rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Grafik hasil analisa eksperimen Balok 1/2 A mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 2700.39 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 2590.17 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 4.55 mm.
2. Grafik hasil analisa eksperimen Balok 1/2 B mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 3251.49 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 3141.27 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 6.5 mm.
3. Grafik hasil analisa eksperimen Balok 1/2 C mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 3416.82 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 3361.71 Kg, dengan nilai lendutan maksimum sebesar 8.69 mm.

Grafik 4.8 Hubungan beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan 1/2 bentang A, B, C dan 1/2 rata-rata



Grafik 4.9. Hubungan Beban-Lendutan BTS rata-rata, 1/2 rata-rata dan teoritis.



Hubungan beban-lendutan Balok tanpa sambungan rata-rata, 1/2 rata-rata dan teoritis pada grafik 4.9 di atas terjadi perbedaan, dimana balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/2 bentang rata-rata mengalami retak awal pada beban (P)1708,41 Kg dengan besar lendutan (Δ) 1.28 mm. Beban puncak terjadi pada P = 3416,82 Kg dengan besar lendutan Δ = 8.16 mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 3361,71 Kg dengan besar lendutan Δ 8,69 mm.

Grafik balok tanpa sambungan mengalami retak awal pada beban (P) 1763,52 Kg dengan besar lendutan (Δ) 2,34 mm. Beban puncak terjadi pada P =

2865,72 Kg dengan besar lendutan $\Delta = 8.11$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 2810,61 Kg dengan besar lendutan $\Delta 9,41$ mm.

Grafik balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 1500 Kg dengan besar lendutan (Δ) 0.384 mm. Beban puncak terjadi pada P = 5059,4589 Kg dengan besar lendutan $\Delta = 4,389$ mm.

5. Perbandingan Lendutan BTS dan B-1/2

Berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium, didapat perbedaan nilai beban maksimum dan lendutan maksimum pada balok T tanpa sambungan (BTS) dengan balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/2 bentang (B-1/2). Perbedaannya kami tampilkan dalam bentuk persentase seperti pada tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.8. Perbandingan Beban –lendutan BTS dan B-1/2 bentang

Parameter	BTS	1/2B	Presentase BTS-1/2B (%)
Beban Puncak (Kg)	2645.28	3251.49	0.813559322
Lendutan puncak (mm)	6.53	6.31	1.035685964
Beban runtuh (Kg)	2443.21	3361.71	0.726775956
Lendutan runtuh (mm)	9.82	8.69	1.130034522

Persentase perbedaan nilai beban maksimum dan lendutan maksimum antara balok T tanpa sambungan (BTS) dan balok T dengan jarak sambungan ½ bentang

(B-1/2) seperti terlihat pada tabel 4.8 di atas, terlihat persentase P_{maks} 0.813 % dan Δ_{maks} 1.035 % sedangkan P_{runtuh} 0.726 % dan Δ_{runtuh} 1.130 %. Jadi dapat disimpulkan bahwa jarak sambungan 1/2 bentang tidak aman dan efektif bila diaplikasikan pada balok tanpa sambungan atau pada pembangunan sebuah konstruksi beton bertulang, khususnya pada balok beton karena persentase keruntuhan lendutannya lebih besar dari persentase p_{max} .

1.2 Perhitungan Kekuatan Lentur Eksperimen

1.2.1 Balok tanpa sambungan (BTS)

$$\begin{aligned}
 \text{Data perencanaan : } \quad l &= 2200 \text{ mm} \\
 q &= 1.78331 \text{ N/mm} \\
 E_c &= 29879.322 \text{ Mpa} \\
 I_e &= 337127368.106 \text{ N/mm} \\
 \Delta &= 0,01 \\
 P \text{ eksperimen} &= 55.11 \text{ kg} = 551.1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka momennya :

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{8} q l^2 + \frac{1}{4} p l \\
 M &= \frac{1}{8} \times 1.78331 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 5.11 \times 2200 \\
 M &= 1380005.00 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8. Kuat Lentur Eksperimen Balok Tanpa Sambungan rata – rata

Beban eksperimen (Kg)	Beban eksperimen (N)	Beban merata (q) (N/mm)	Panjang (L) (mm)	Lendutan (Δ) 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	25718.0	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 4.8

➤ Kolom 1

Beban eksperimen (P) Kg

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 3

Beban (q) didapat dari presentasi beban P dan lendutan eksperimen

➤ Kolom 4

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 5

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

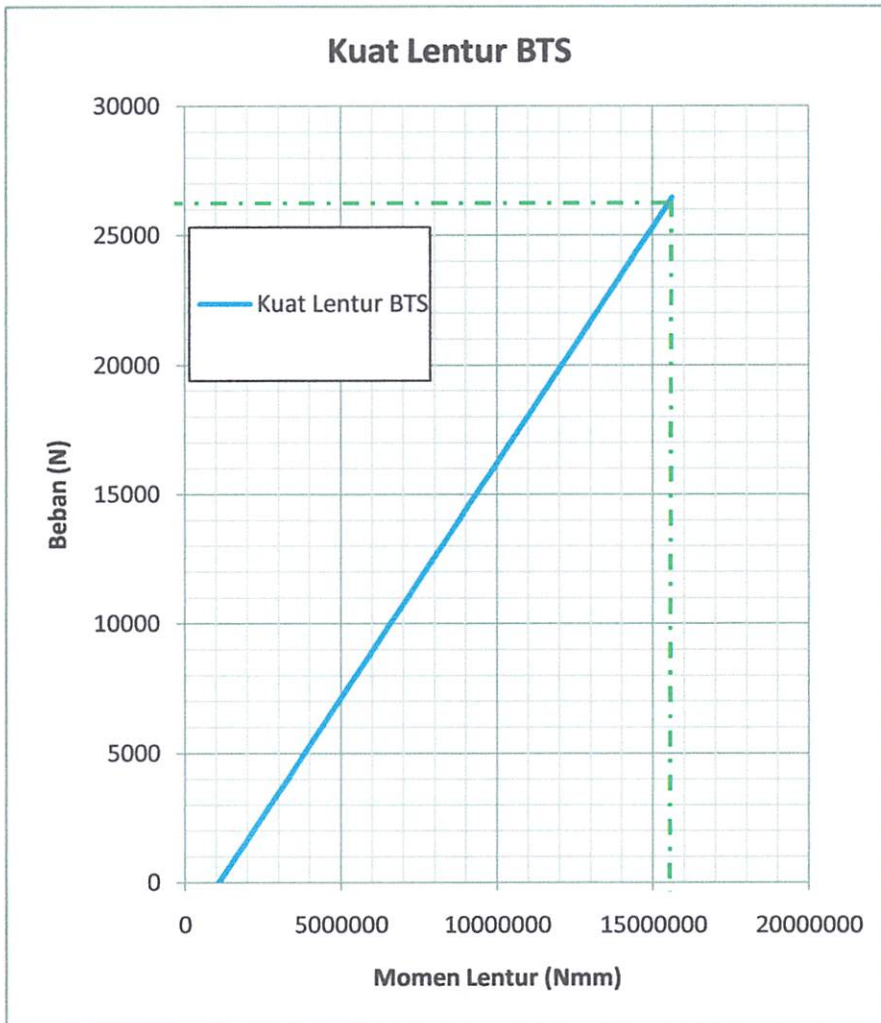
➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Nmm

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

Hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada grafik 4.10 dibawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka – angka pada tabel 4.8 yaitu angka – angka pada kolom 6 untuk arah horizontal (kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis).

Grafik 4.11. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok tanpa sambungan rata – rata



Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data hasil eksperimen lendutan rata – rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai P eksperimen dari beban q dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban P eksperimen.

4.2.2 Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan

seper – dua bentang ($\frac{1}{2} L$)

$$\begin{aligned} \text{Data perencanaan : } l &= 2200 \text{ mm} \\ q &= 1.78331 \text{ N/mm} \\ E_c &= 29879.322 \text{ Mpa} \\ I_e &= 337127368.106 \text{ N/mm} \\ \Delta &= 0,01 \\ P \text{ eksperimen} &= 55.11 \text{ kg} = 551.1 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka momennya :

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

$$M = \frac{1}{8} \times 1.78331 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 5.11 \times 2200$$

$$M = 1380005.00 \text{ Nmm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada tabel 4.9

Tabel 4.9. Kuat Lentur Eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang rata – rata

Beban eksperimen (Kg)	Beban eksperimen (N)	Beban merata (q) (N/mm)	Panjang (L) (mm)	Lendutan (Δ) rata-rata (mm)	Kuat lentur (Nmm)
1	2	3	4	5	6
0	0	1.78	2200	0	1076900
55.11	551.1	1.78	2200	0.03	1380005.00
110.22	1102.2	1.78	2200	0.06	1683110.00
165.33	1653.3	1.78	2200	0.1	1986215.00
220.44	2204.4	1.78	2200	0.17	2289320.00
275.55	2755.5	1.78	2200	0.19	2592425.00
330.66	3306.6	1.78	2200	0.22	2895530.00
385.77	3857.7	1.78	2200	0.28	3198635.00
440.88	4408.8	1.78	2200	0.33	3501740.00
495.99	4959.9	1.78	2200	0.36	3804845.00
551.10	5511	1.78	2200	0.43	4107950.00
606.21	6062.1	1.78	2200	0.46	4411055.00
661.32	6613.2	1.78	2200	0.51	4714160.00
716.43	7164.3	1.78	2200	0.54	5017265.00
771.54	7715.4	1.78	2200	0.56	5320370.00
826.65	8266.5	1.78	2200	0.62	5623475.00
881.76	8817.6	1.78	2200	0.67	5926580.00
936.87	9368.7	1.78	2200	0.69	6229685.00
991.98	9919.8	1.78	2200	0.75	6532790.00
1047.09	10470.9	1.78	2200	0.76	6835895.00
1102.20	11022	1.78	2200	0.81	7139000.00
1157.31	11573.1	1.78	2200	0.84	7442105.00
1212.42	12124.2	1.78	2200	0.89	7745210.00
1267.53	12675.3	1.78	2200	0.92	8048315.00
1322.64	13226.4	1.78	2200	0.98	8351420.00
1377.75	13777.5	1.78	2200	1.01	8654525.00
1432.86	14328.6	1.78	2200	1.05	8957630.00
1487.97	14879.7	1.78	2200	1.08	9260735.00
1543.08	15430.8	1.78	2200	1.11	9563840.00

Beban Eksperimen Kg	Beban Ekperimen N	Beban Merata q N/mm	Panjang L mm	Lendutan Δ rata - Rata mm	Kuat lentur Nmm
1	2	3	4	5	6
1598.19	15981.9	1.78	2200	1.16	9866945.00
1653.30	16533	1.78	2200	1.23	10170050.00
1708.41	17084.1	1.78	2200	1.28	10473155.00
1763.52	17635.2	1.78	2200	1.34	10776260.00
1818.63	18186.3	1.78	2200	1.39	11079365.00
1873.74	18737.4	1.78	2200	1.43	11382470.00
1928.85	19288.5	1.78	2200	1.62	11685575.00
1983.96	19839.6	1.78	2200	1.71	11988680.00
2039.07	20390.7	1.78	2200	1.83	12291785.00
2094.18	20941.8	1.78	2200	2.03	12594890.00
2149.29	21492.9	1.78	2200	2.14	12897995.00
2204.40	22044	1.78	2200	2.31	13201100.00
2259.51	22595.1	1.78	2200	2.39	13504205.00
2314.62	23146.2	1.78	2200	2.46	13807310.00
2369.73	23697.3	1.78	2200	2.61	14110415.00
2424.84	24248.4	1.78	2200	2.89	14413520.00
2479.95	24799.5	1.78	2200	3.03	14716625.00
2535.06	25350.6	1.78	2200	3.16	15019730.00
2590.17	25901.7	1.78	2200	3.3	15322835.00
2645.28	26452.8	1.78	2200	3.45	15625940.00
2700.39	27003.9	1.78	2200	3.63	15929045.00
2755.50	27555	1.78	2200	3.91	16232150.00
2810.61	28106.1	1.78	2200	4.32	16535255.00
2810.61	28106.1	1.78	2200	4.47	16535255.00
2810.61	28106.1	1.78	2200	4.67	16535255.00
2975.94	29759.4	1.78	2200	4.16	17444570.00
3031.05	30310.5	1.78	2200	5.13	17747675.00
3086.16	30861.6	1.78	2200	5.28	18050780.00
3141.27	31412.7	1.78	2200	5.62	18353885.00
3196.38	31963.8	1.78	2200	5.87	18656990.00

3251.49	32514.9	1.78	2200	6.31	18960095.00
3251.49	32514.9	1.78	2200	6.47	18960095.00
3251.49	32514.9	1.78	2200	6.78	18960095.00
3416.82	34168.2	1.78	2200	8.16	19869410.00
3361.71	33617.1	1.78	2200	8.69	19566305.00

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.9

➤ Kolom 1

Beban eksperimen (P) Kg

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 3

Beban (q) didapat dari presentasi beban P dan lendutan eksperimen

➤ Kolom 4

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 5

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

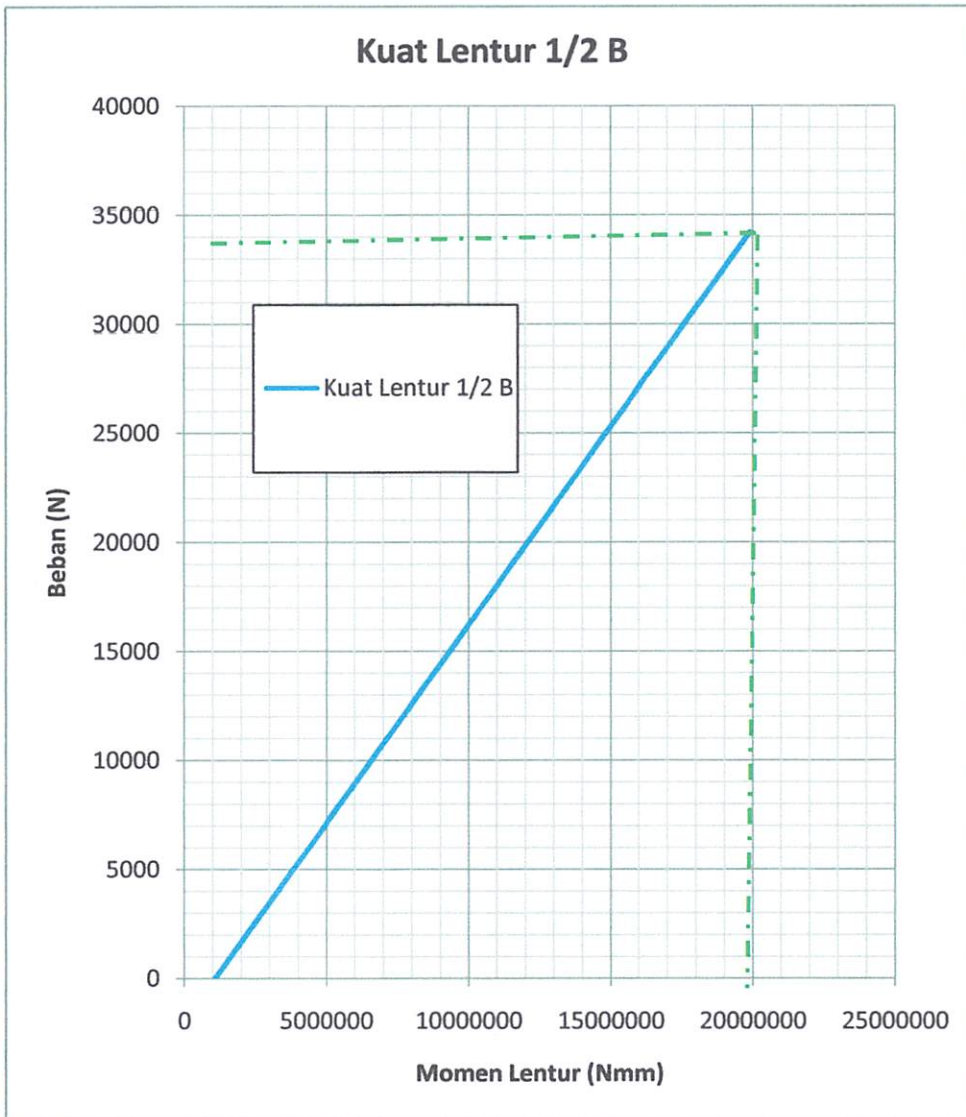
➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Nmm

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

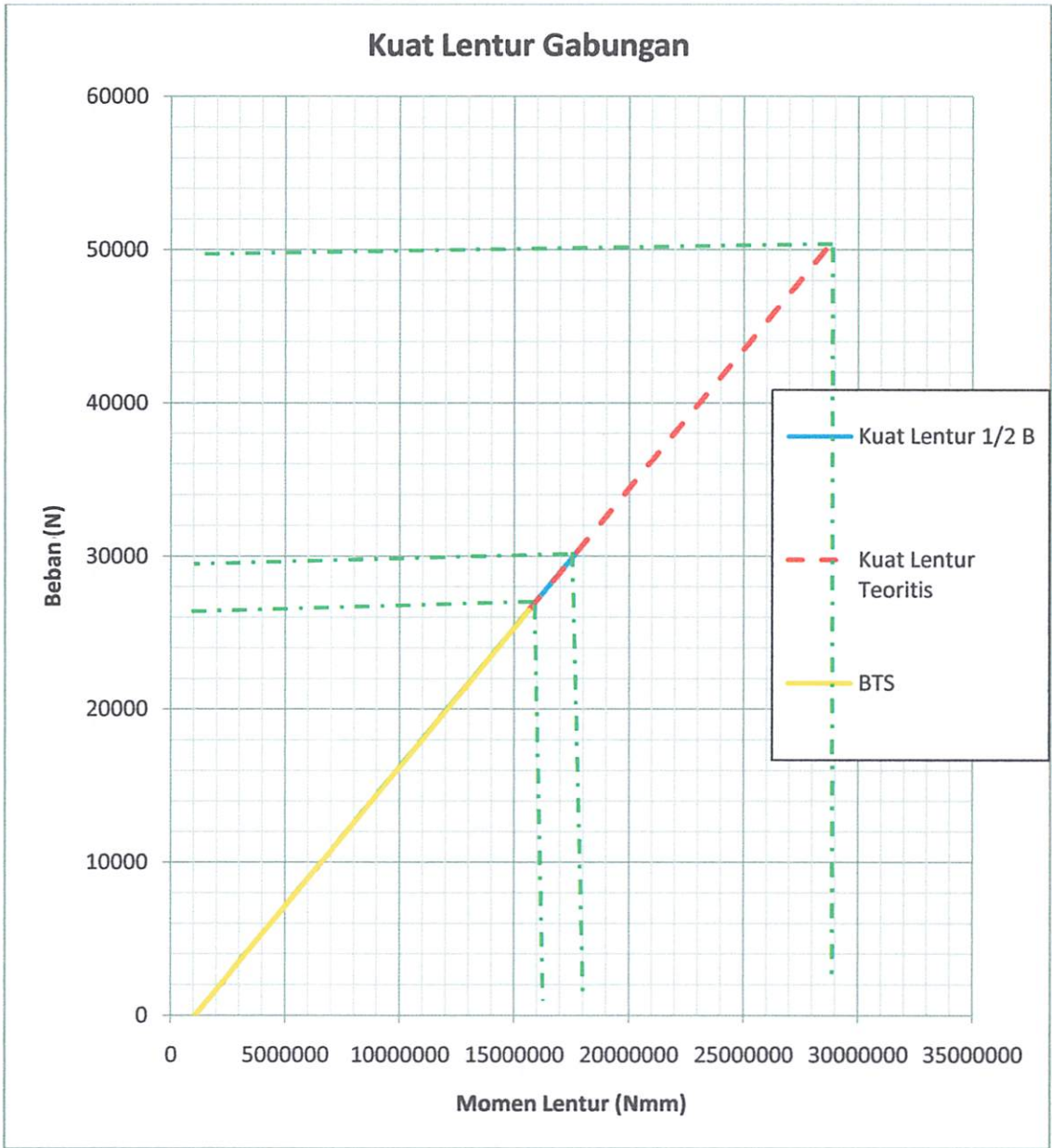
Hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada grafik 4.12 dibawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka – angka pada tabel 4.9 yaitu angka – angka pada kolom 6 untuk arah horizontal (kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis).

Grafik 4.12 Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang



Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data hasil eksperimen lendutan rata – rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai P eksperimen dari beban q dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban P eksperimen.

Grafik 4.11. Hubungan Beban – Kuat Lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua (½) bentang



Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar balok beton tanpa sambungan rata-rata, sambungan balok beton dan tulangan seper – dua (½) bentang rata-rata dan teoritis yaitu,memiliki sudut yang hampir sama,tetapi pada Momen dan

lendutan terjadi perbedaan yaitu balok tanpa sambungan rata- rata lebih besar karena terjadi penambahan beban puncak dan seiring bertambahnya beban P sampai terjadi penurunan,sehingga mengakibatkan lendutan yang lebih besar dan terjadi daktilitas yang tinggi jika dibandingkan dengan. sambungan balok beton dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang rata-rata dan teoritis.

Tabel 4.10 Perbandingan Beban P dan Kuat Lentur hasil analisa eksperimen balok tanpa sambungan (BTS) dan sambungan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang

Parameter	BTS	1/2B	Presentase BTS- 1/2B (%)
Beban Puncak (Kg)	2645.28	3251.49	0.813559322
Lendutan puncak (mm)	6.53	6.31	1.034865293
Beban runtuh (Kg)	2443.21	3361.71	0.726775956
Lendutan runtuh (mm)	9.82	8.69	1.130034522

Berdasarkan tabel 4.10. hasil perbandingan nilai kuat lentur balok T tanpa sambungan dan balok T sambungan $\frac{1}{2}$ bentang diperoleh variasi nilai kuat lentur pada balok. Untuk kuat lentur pada saat beban Pmax terjadi perbedaan sebesar 0.81 %. Ini menandakan nilai kuat lentur pada balok sambungan $\frac{1}{2}$ bentang semakin kecil karena akibat adanya sambungan $\frac{1}{2}$ bentang pada balok T.

4.3 Perhitungan Kuat Geser Eksperimen

4.3.1 Balok tanpa sambungan (BTS)

$$\begin{aligned} \text{Data perencanaan : } l &= 2200 \text{ mm} \\ q &= 1.78331 \text{ N/mm} \\ E_c &= 29879.322 \text{ Mpa} \\ I_e &= 337127368.106 \text{ N/mm} \\ \Delta &= 0,01 \\ P \text{ eksperimen} &= 55.11 \text{ kg} = 551.1 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka momennya :

$$M = \frac{1}{2} P + \frac{1}{2} q l$$

$$M = \frac{1}{2} \times 55.11 + \frac{1}{2} \times 1.78331 \times 2200$$

$$M = 223355 \text{ Nmm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada tabel 4.11

Tabel 4.11. Kuat Geser Eksperimen Balok Tanpa Sambungan rata – rata

Beban eksperimen (Kg)	Beban eksperimen (N)	Beban merata (q) (N/mm)	Panjang (L) (mm)	Lendutan (Δ) rata-rata (mm)	Kuat Geser (N)
1	2	3	4	5	6
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

Beban Eksperimen Kg	Beban Eksperimen N	Beban Merata q N/mm	Panjang L mm	Lendutan Δ rata - Rata mm	Kuat Geser Nmm
1	2	3	4	5	6
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 4.11

➤ Kolom 1

Beban eksperimen (P) Kg

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 3

Beban (q) didapat dari presentasi beban P dan lendutan eksperimen

➤ Kolom 4

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 5

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

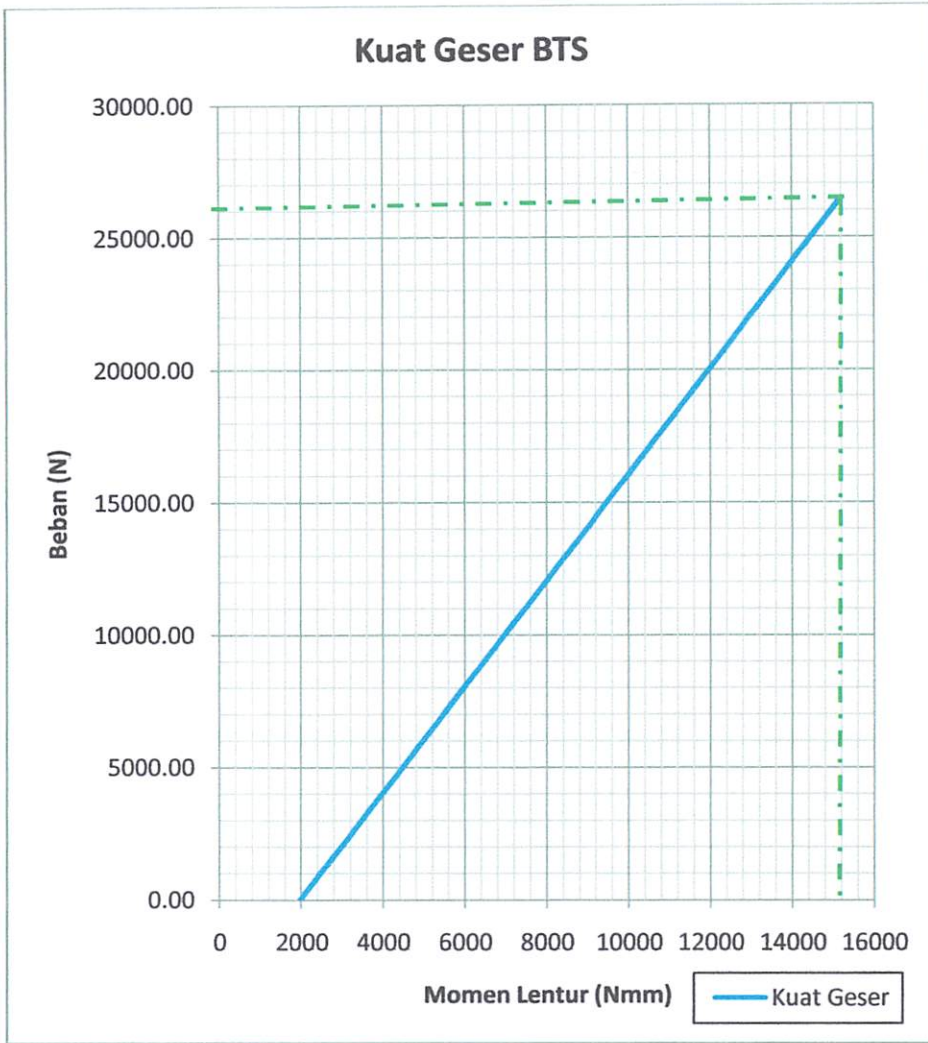
➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Nmm

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

Hubungan beban–Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan $\frac{1}{2}$ bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.30 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.31 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis).

Grafik 4.11. Hubungan Beban – Kuat Geser balok tanpa sambungan rata – rata



Analisa kuat lentur balok T tanpa sambungan didapat dengan mengolah data hasil eksperimen lendutan rata – rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai P eksperimen dari beban q dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat entur berdasarkan beban P eksperimen.

4.3.2 Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua bentang ($\frac{1}{2} L$)

$$\begin{aligned} \text{Data perencanaan : } l &= 2200 \text{ mm} \\ q &= 1.78331 \text{ N/mm} \\ E_c &= 29879.322 \text{ Mpa} \\ I_e &= 337127368.106 \text{ N/mm} \\ \Delta &= 0,01 \\ P \text{ eksperimen} &= 55.11 \text{ kg} = 551.1 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka momennya :

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

$$V_u = \frac{1}{8} \times 1.78331 \times 2200^2 + \frac{1}{4} \times 5.11 \times 2200$$

$$V_u = 1380005.00 \text{ Nmm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada tabel 4.12

***Tabel 4.12. Kuat Geser Eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton
dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang rata – rata***

Beban eksperimen (Kg)	Beban eksperimen (N)	Beban merata (q) (N/mm)	Panjang (L) (mm)	Lendutan (Δ) rata-rata (mm)	Kuat Geser (N)
3	4	5	6	7	8
0	0	1.78	2200.00	0	1958.00
55.11	551.1	1.78	2200.00	0.03	2233.55
110.22	1102.2	1.78	2200.00	0.06	2509.10
165.33	1653.3	1.78	2200.00	0.1	2784.65
220.44	2204.4	1.78	2200.00	0.17	3060.20
275.55	2755.5	1.78	2200.00	0.19	3335.75
330.66	3306.6	1.78	2200.00	0.22	3611.30
385.77	3857.7	1.78	2200.00	0.28	3886.85
440.88	4408.8	1.78	2200.00	0.33	4162.40
495.99	4959.9	1.78	2200.00	0.36	4437.95
551.10	5511	1.78	2200.00	0.43	4713.50
606.21	6062.1	1.78	2200.00	0.46	4989.05
661.32	6613.2	1.78	2200.00	0.51	5264.60
716.43	7164.3	1.78	2200.00	0.54	5540.15
771.54	7715.4	1.78	2200.00	0.56	5815.70
826.65	8266.5	1.78	2200.00	0.62	6091.25
881.76	8817.6	1.78	2200.00	0.67	6366.80
936.87	9368.7	1.78	2200.00	0.69	6642.35
991.98	9919.8	1.78	2200.00	0.75	6917.90
1047.09	10470.9	1.78	2200.00	0.76	7193.45
1102.20	11022	1.78	2200.00	0.81	7469.00
1157.31	11573.1	1.78	2200.00	0.84	7744.55
1212.42	12124.2	1.78	2200.00	0.89	8020.10
1267.53	12675.3	1.78	2200.00	0.92	8295.65
1322.64	13226.4	1.78	2200.00	0.98	8571.20
1377.75	13777.5	1.78	2200.00	1.01	8846.75
1432.86	14328.6	1.78	2200.00	1.05	9122.30
1487.97	14879.7	1.78	2200.00	1.08	9397.85
1543.08	15430.8	1.78	2200.00	1.11	9673.40

Beban Eksperimen Kg	Beban Eksperimen N	Beban Merata Q Mm	Panjang L mm	Lendutan Δ rata - rata mm	Kuat Geser Nmm
1	2	3	4	5	6
1598.19	15981.9	1.78	2200.00	1.16	9948.95
1653.30	16533	1.78	2200.00	1.23	10224.50
1708.41	17084.1	1.78	2200.00	1.28	10500.05
1763.52	17635.2	1.78	2200.00	1.34	10775.60
1818.63	18186.3	1.78	2200.00	1.39	11051.15
1873.74	18737.4	1.78	2200.00	1.43	11326.70
1928.85	19288.5	1.78	2200.00	1.62	11602.25
1983.96	19839.6	1.78	2200.00	1.71	11877.80
2039.07	20390.7	1.78	2200.00	1.83	12153.35
2094.18	20941.8	1.78	2200.00	2.03	12428.90
2149.29	21492.9	1.78	2200.00	2.14	12704.45
2204.40	22044	1.78	2200.00	2.31	12980.00
2259.51	22595.1	1.78	2200.00	2.39	13255.55
2314.62	23146.2	1.78	2200.00	2.46	13531.10
2369.73	23697.3	1.78	2200.00	2.61	13806.65
2424.84	24248.4	1.78	2200.00	2.89	14082.20
2479.95	24799.5	1.78	2200.00	3.03	14357.75
2535.06	25350.6	1.78	2200.00	3.16	14633.30
2590.17	25901.7	1.78	2200.00	3.3	14908.85
2645.28	26452.8	1.78	2200.00	3.45	15184.40
2700.39	27003.9	1.78	2200.00	3.63	15459.95
2755.50	27555	1.78	2200.00	3.91	15735.50
2810.61	28106.1	1.78	2200.00	4.32	16011.05
2810.61	28106.1	1.78	2200.00	4.47	16011.05
2810.61	28106.1	1.78	2200.00	4.67	16011.05
2975.94	29759.4	1.78	2200.00	4.16	16837.70
3031.05	30310.5	1.78	2200.00	5.13	17113.25
3086.16	30861.6	1.78	2200.00	5.28	17388.80
3141.27	31412.7	1.78	2200.00	5.62	17664.35
3196.38	31963.8	1.78	2200.00	5.87	17939.90

3251.49	32514.9	1.78	2200.00	6.31	18215.45
3251.49	32514.9	1.78	2200.00	6.47	18215.45
3251.49	32514.9	1.78	2200.00	6.78	18215.45
3416.82	34168.2	1.78	2200.00	8.16	19042.10
3361.71	33617.1	1.78	2200.00	8.69	18766.55

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.11

➤ Kolom 1

Beban eksperimen (P) Kg

➤ Kolom 2

Beban eksperimen (P) N

➤ Kolom 3

Beban (q) didapat dari presentasi beban P dan lendutan eksperimen

➤ Kolom 4

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 5

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

➤ Kolom 6

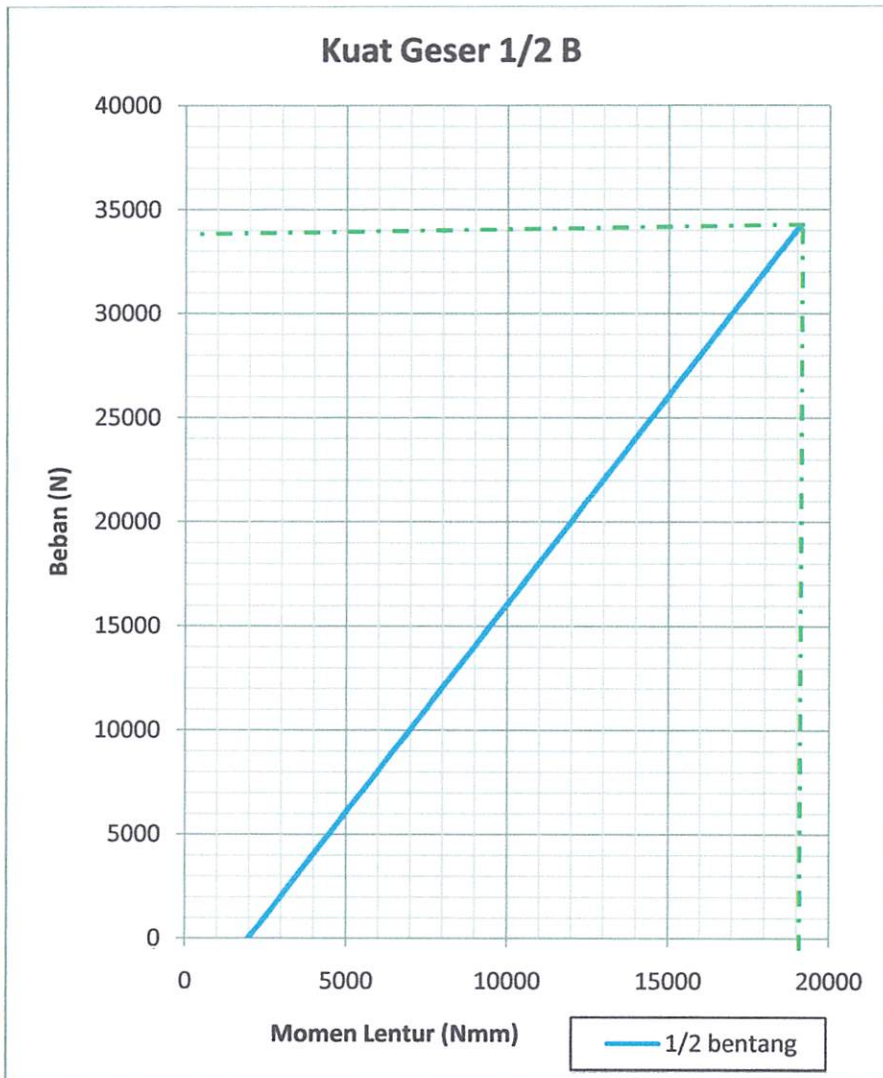
Kuat Lentur (M) Nmm

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

Hubungan beban–Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan ½ bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.12 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada

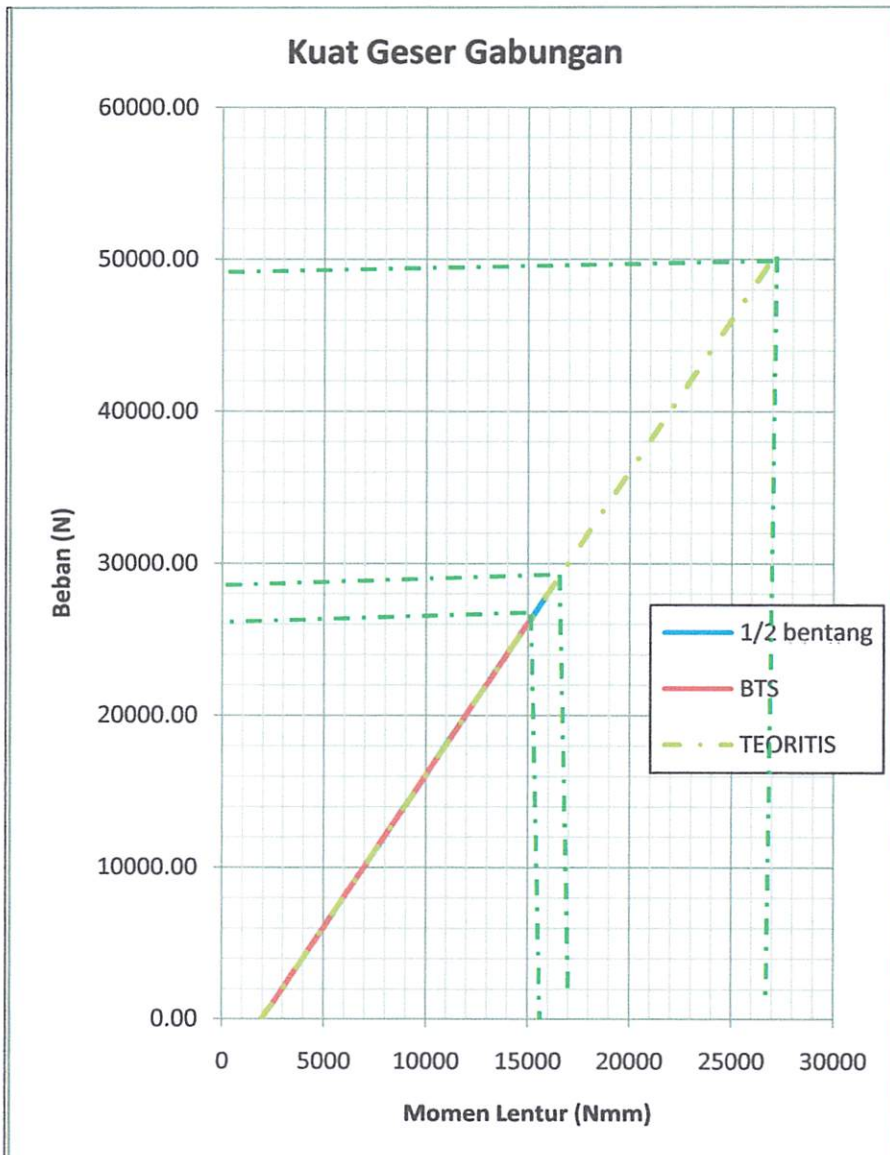
Tabel 4.11 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis).

Grafik 4.12. Hubungan Beban – Kuat Geser balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang



Analisa kuat lentur balok T tanpa sambungan didapat dengan mengolah data hasil eksperimen lendutan rata – rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai P eksperimen dari beban q dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban P eksperimen.

Grafik 4.13 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper-dua bentang (1/2) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis



Tabel 4.13 Perbandingan Beban P dan Kuat geser hasil analisa eksperimen balok tanpa sambungan (BTS) dan sambungan seper – dua (½) bentang

Parameter	BTS	1/2B	Presentase BTS-1/2B (%)
Beban Puncak (Kg)	2590.17	3251.49	0.796610169
Lendutan puncak (mm)	8.82	6.31	1.3977813
Beban runtuh (Kg)	2443.21	3361.71	0.726775956
Lendutan runtuh (mm)	9.82	8.69	1.130034522

Berdasarkan tabel 4.12. hasil perbandingan nilai kuat lentur balok tanpa sambungan dan balok sambungan ½ bentang diperoleh variasi nilai kuat lentur pada balok. Untuk kuat lentur pada saat beban Pmax terjadi perbedaan sebesar 0.79 %. Ini menandakan nilai kuat lentur pada balok sambungan ½ bentang semakin kecil karena akibat adanya sambungan ½ bentang pada balok T.

4.4 Mekanisme Pola Retak

1. Balok Tanpa Sambungan (BTS) A

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinyu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1543.08$ Kg. Kemudian lendutan 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 1.2 mm, seperti terlihat pada gambar 4.13 di bawah ini.



Foto 4.13 Pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) A

2. Balok Tanpa Sambungan (BTS) B

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1212.42 \text{ Kg}$. Kemudian lendutan 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 , seperti terlihat pada gambar 4.14 di bawah ini.



Foto 4.14 Pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) B

3. Balok Tanpa Sambungan (BTS) C

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinyu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1708.41$ Kg. Kemudian lendutan 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 1.90 mm, seperti terlihat pada gambar 4.15 di bawah ini.



Foto 4.15 Pola retak balok T tanpa sambungan (BTS) C

**4. Balok dengan jarak Sambungan beton dan tulangan seper –
dua ($\frac{1}{2}$) bentang A**

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua bentang A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1928.85$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 2810.61 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.3 mm, seperti terlihat pada gambar 4.16 di bawah ini.



*Foto 4.16 Pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan
seper – dua ($\frac{1}{2}$) A bentang*

5. Balok dengan jarak Sambungan beton dan tulangan seper – dua ($\frac{1}{2}$) bentang B

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinyu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua bentang B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1928.85$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 3251.49 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 0.5 mm, seperti terlihat pada gambar 4.17 di bawah ini.

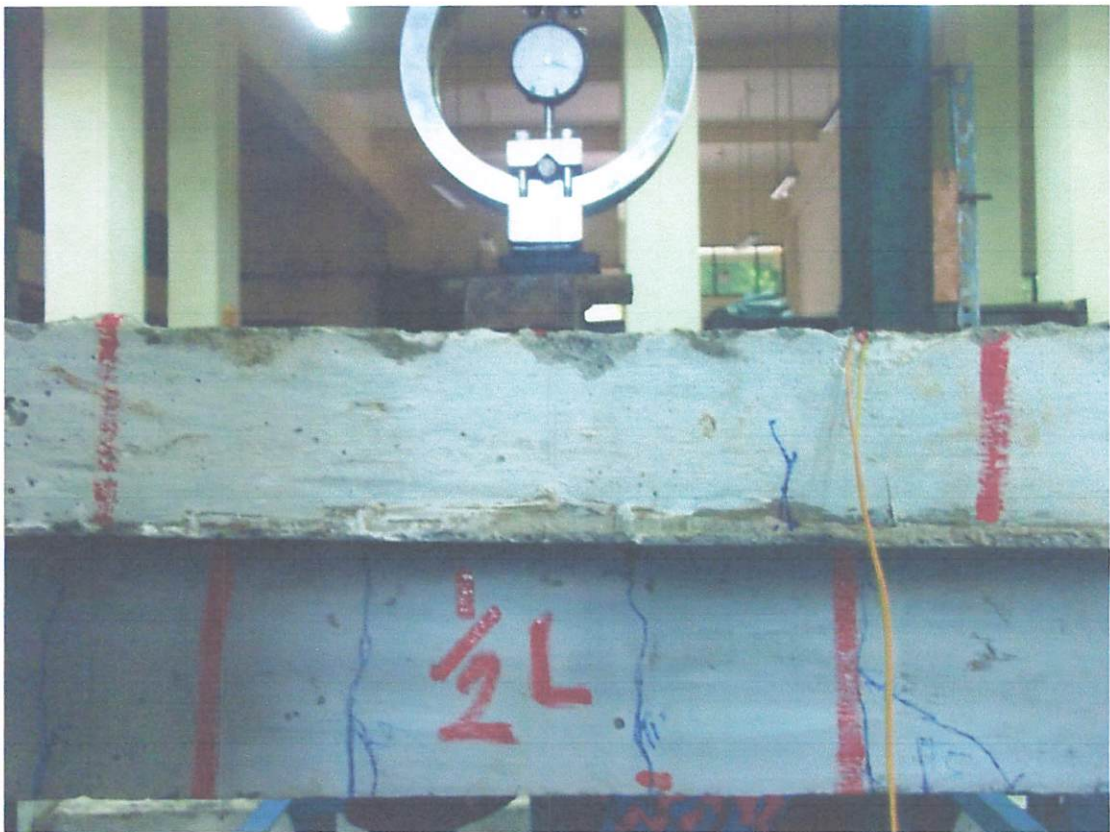


*Foto 4.17 Pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan
seper – dua ($\frac{1}{2}$) B bentang*

**6. Balok dengan jarak Sambungan beton dan tulangan seper –
dua ($\frac{1}{2}$) bentang C**

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok T, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok T diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 1 m. kemudian balok T diberikan beban terpusat (P) secara kontinu hingga balok T mengalami lenturan maksimum akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper – dua bentang C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok T pada posisi tengah balok T dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 1928.85$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 3416.82 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.15 mm, seperti terlihat pada gambar 4.18 di bawah ini.



*Foto 4.18 Pola retak balok T dengan jarak sambungan beton dan tulangan
seper – dua ($\frac{1}{2}$) C bentang*

Tabel 4.14 perbandingan balok T teoritis, blok T tanpa sambungan, rata – rata balok T tanpa sambungan, balok T ½ bentang, rata – rata balok T ½ 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
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
	Balok T tanpa sambungan Rata-rata	1487.97	1.82	2645.28	6.53	2443.21	9.82	-
	Balok T jarak sambungan 1/2 B (A)	1928.85	1.14	2810.61	4.14	2590.17	4.55	1.3
	Balok T jarak sambungan 1/2 B (B)	1487.97	1.79	3251.49	6.44	3141.27	6.50	0.5
	Balok T jarak sambungan 1/2 B (C)	1873.74	1.80	3416.82	9.16	3361.71	9.69	1.15
	Balok T jarak sambungan 1/2 B Rata-rata	1928.85	1.62	3251.49	6.31	3361.71	8.69	-

Tabel 4.15 Persentase balok T tanpa sambungan dan balok T sambungan ½ bentang

Parameter	BTS	1/2B	Presentase BTS-1/2B (%)
Beban Puncak (Kg)	2645.28	3251.49	0.813559322
Lendutan puncak (mm)	6.53	6.31	1.035685964
Beban runtuh (Kg)	2443.21	3361.71	0.726775956
Lendutan runtuh (mm)	9.82	8.69	1.130034522

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 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 1/3 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	-

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil yang kami teliti antara pengaruh sambungan balok T pada jarak sambungan $\frac{1}{2}$ bentang dan balok T tanpa sambungan (BTS) terhadap kekuatan balok dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil nilai beban - kuat lentur (M) 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 $\frac{1}{2}$ bentang dengan nilai beban eksperimen (P) 34168.2 N dan nilai momen yang terjadi adalah 19869410.00 Nmm. Jadi perbandingan nilai kuat lentur antara balok T tanpa sambungan dan balok T dengan jarak sambungan $\frac{1}{2}$ bentang dapat dipresentasikan dengan nilai kuat lentur adalah 82.415% sedangkan beban puncak adalah 77.419%.
2. Berdasarkan hasil nilai beban-kuat geser balok tanpa sambungan (BTS) diketahui beban eksperimen (P) = 26452.8 N dengan nilai kuat geser (Vu) = 1518440 Nmm dan balok T dengan jarak sambungan $\frac{1}{2}$ bentang diketahui beban puncak (P) mengalami kenaikan yaitu 34168.2 N dan nilai kuat geser (Vu) = 18215.45 Nmm. Presentase perbandingan antara balok T tanpa sambungan dan balok T dengan jarak sambungan $\frac{1}{2}$ bentang adalah 77.419% untuk beban puncak dan 83.360% untuk nilai kuat geser.

3. Berdasarkan nilai beban – lendutan dimana untuk balok T tanpa sambungan (BTS) dapat menerima beban maksimum (P) = 2645,28 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 6.53$ mm dan balok T dengan sambungan $\frac{1}{2}$ bentang diketahui beban puncak (P) = 3416.82 Kg dengan defleksi $\Delta = 8.16$ mm. Jadi dapat di presentasikan bahwa perbedaan antara BTS dan balok T sambungan jarak $\frac{1}{2}$ bentang pada tengah bentang adalah untuk lendutan puncak 77.419 % dan untuk lendutan runtuh 79.828 %.
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 $\frac{1}{2}$ bentang retak awal berada di tengah bentang atau di daerah posisi pemberian beban dan retak tidak berpengaruh pada sambungan $\frac{1}{2}$ bentang.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kami dapat memberikan saran-saran untuk penelitian tingkat lanjut sebagai berikut;

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan bengan menggunakan lebih banyak lagi variasi letak sambungan misalkan $\frac{1}{6}$ bentang, $\frac{1}{5}$ bentang.
2. Perlu dilakuakan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi diameter tulangan yang lebih banyak lagi, serta bisa dengan menggunakan tulangan baja ulir dan polos.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dimensi balok yang berbeda dan variasi panjang bentang yang berbeda.

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. Sebaiknya rencanakan benda uji yang bisa dijangkau sehingga tidak kewalahan dalam mengangkat dan menurunkan benda uji pada saat pengetesan.
7. Perlu diperhatikan pada tumpuan pada saat melakukan pengujian dilaboratorium. Apakah tumpuan sesuai yang telah direncanakan supaya tidak terjadi perbedaan yang sangat jauh dari apa yang diperhitungkan.

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. 2013, *Pengaruh Sambungan Beton dan Tulangan Longitudinal Terhadap Kekuatan Balok SRPMK, laporan hasil penelitian*.
- Nawy, E.G.Tanpa Tahun . *Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar (Jilid 1)*. Terjemahan Tawio & 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



PERKUMPULAN PENGELGA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

nomor : ITN-0611.01/21/B/TA/I/Gjl 2014-2015

06 November 2014

keperluan : -
tentang : **Bimbingan Skripsi**

kepada Yth : **Bpk/ Ibu. Ir. Tigo H Nainggolan, MS.**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Di -

MALANG

Dengan Hormat,

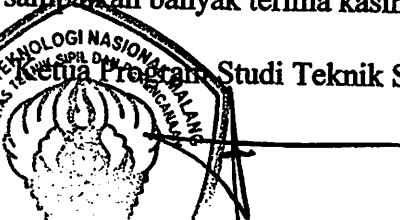
Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

Nama : **Chrisensiana Laka Asa**
Nim : **1021035**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Pengaruh Letak Sambungan Beton dan Tulangan Longitudinal pada jarak Seperdua Bentang Terhadap Kekuatan Balok "T".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi. Waktu penyelesaian skripsi tersebut selama 6 (Enam) bulan terhitung mulai tanggal : **06 November 2014 s/d 06 April 2015**. Apabila melebihi batas waktu yang telah ditentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.

Ketua Program Studi Teknik Sipil (S-1)

I. A. Agus Santosa, MT
NIP. Y. 101 87 00 155

in Kepada Yth :
Wakil Dekan I FTSP.
Arsip.



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

nomor : ITN-0611.01/21/B/TA/I/Gjl 2014-2015
keperluan : -
jenis surat : **Bimbingan Skripsi**

06 November 2014

kepada Yth : **Bpk/ Ibu. Lila Ayu Ratna W. ST, MT.**
Dosen Institut Teknologi Nasional Malang

Di -

MALANG

Dengan Hormat,

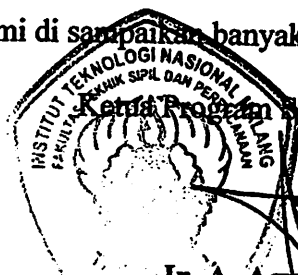
Bersama ini kami beritahukan, bahwa sesuai dengan kesediaan saudara/i. atas permohonan dari Mahasiswa :

Nama : **Chrisensiana Laka Asa**
Nim : **1021035**
Prodi : **Teknik Sipil (S-1)**

Untuk dapat Membimbing Skripsi dan mendampingi Seminar Skripsi dengan judul :
"Pengaruh Letak Sambungan Beton dan Tulangan Longitudinal pada jarak Seperdua Bentang Terhadap Kekuatan Balok "T".

Maka dengan ini kami menugaskan Saudara sebagai dosen pembimbing Skripsi. Waktu penyelesaian skripsi tersebut selama 6 (Enam) bulan terhitung mulai tanggal : **06 November 2014** s/d **06 April 2015**. Apabila melebihi batas waktu yang telah ditentukan tetapi belum selesai, maka mahasiswa yang bersangkutan wajib memperpanjang masa bimbingannya.

Demikian atas perhatiannya kami di sampaikan banyak terima kasih.



Ir. A. Agus Santosa, MT

NIP. Y. 101 87 00 155

in Kepada Yth :
Wakil Dekan I FTSP.
Arsip.



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
Jl Bendungan Sigura-gura No 2 Malang Jawa Timur

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : CHRISSENSIANA LAKA ASA

NIM : 10.21.035

DOSEN PEMBIMBING : Ir. TOGI H. NAINGGOLAN, MS.

JUDUL SKRIPSI : PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN
TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-TIGA
BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK "T"

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	18/11-14	ulet kekuatan Skripsi	NSP
	11/12-14	Loguthean	NSP
	22/1-14	Loguthean Analisis hasil pengujian	NSP
	27/1-15	Loguthean	NSP
	30/1-15	ulet kekuatan, D-teori dll	NSP
	31/1-15	Ace Review hasil	NSP



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
Jl Bendungan Sigura-gura No 2 Malang Jawa Timur

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

NAMA : CHRISENSIANA LAKA ASA

NIM : 10.21.035

DOSEN PEMBIMBING : LILA AYU RATNA W. ST, MT.

JUDUL SKRIPSI : PENGARUH LETAK SAMBUNGAN BETON DAN
TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPER-DUA
BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK "T"

No	Tanggal	Keterangan	Tanda Tangan
	7/12/14	Sebelum pengujian	afk
		Hasil pengujian	afk
		Hasil analisis perbandingan	afk
		Hasil perhitungan	afk
		Perhitungan - vs - hasil	afk
		Analisis	afk
		Perhitungan	afk
		Hasil perhitungan	afk



INSTITUT
TEKNOLOGI
NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-
gura 2
Jl. Raya Karanglo Km. 2
Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI II PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG Penelitian Struktur

Nama : _____

NIM : 1021035

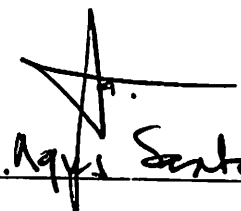
Hari / tanggal : Jum'at/21-11-2014

Perbaikan materi Seminar Hasil Skripsi I meliputi :

- Tulisan yg salah telah betulkan.
- Lembari gbr perampang pd kontrol retak.
- Notoi gbr lembaran
- Gambar diagram tegangan lembaran
- Tulisan Rumus yg salah betulkan.

Malang, 21 - 11 - 2014

Dosen Pembahas


(A. Agus Santoso)



INSTITUT
TEKNOLOGI
NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-
gura 2
Jl. Raya Karanglo Km. 2
Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI I PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG Penelitian struktur

Nama : _____

NIM : 10 21 017.

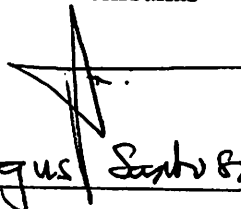
Hari / tanggal : Jum'at, 28-11-2014.

Perbaiki materi Seminar Hasil Skripsi I meliputi :

- Tulisan yg sudah ketile betulkan
- Rangkap qbr peromp. pl. kontrol ritak.
- Notasi qbr. lufny
- Gambar diagram teg. lufny
- Tulisan rumus yg sudah betulkan.

Malang, 28 - 11 - 2014

Dosen Pembahas


(A. Agus Santoso)



INSTITUT
TEKNOLOGI
NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-
gura 2
Jl. Raya Karanglo Km. 2
Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI I PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN BIDANG STRUKTUR / PENELITIAN

Nama : CHRISSENSIANA LAFA - A.
NIM : 10.21.035
Hari / tanggal : Jumat / 28 - 8 - 2014

Perbaikan materi Seminar Hasil Skripsi I meliputi :

- Rumus q_s dicantumkan dibenteng feteraga masing² laotasi (bdo)
- gambar² dilengkapi. sesuai penjuruan. q_s dicantumkan.

Malang, _____ 2014

Dosen Pembahas



INSTITUT
TEKNOLOGI
NASIONAL
Jl. Bendungan Sigura-
gura 2
Jl. Raya Karanglo Km. 2
Malang

SEMINAR HASIL SKRIPSI I PRODI TEKNIK SIPIL S-1

FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG PEHELIITAN

Nama : CHRISGISIANA L. A

NIM : 10.21.035

Hari / tanggal : JUMAT 1 28 - 11 - 2014

Perbaikan materi Seminar Hasil Skripsi I meliputi :

- + Perubahan nomor Rumus
- = Gambar di-teruh atas
- Rumus 2 baru gambar
- Perubahan Rumus cel.

Malang, 28 - 11 - 2014

Dosen Pembahas

()



FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG

Nama : CHRISSENSIANA LAKA ASA

NIM : 621035

Hari / tanggal : Jum'at, 17 - 10 - 14

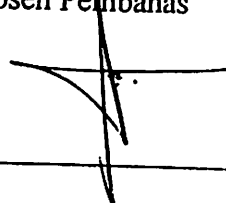
Perbaikan materi Proposal Skripsi meliputi :

- Latar belakang dan permasalahan masalah Angkasa
- Pada latar belakang bahas daletilitas sdgkan pd remunerasi masalah tele oda.
- jelaskan perbedaan penelitian sdr dgn penelitian tsd hulu apa?
- hal ~~26~~ 26 → betulkan (3.1.e).
- Diagram alir bal ed betulkan
- Analisa persampeng : perhitungakan juga pengaruh tal organ pd plat
- ksi dan tulisan perbaiki sesuai dgn persepsi mosip² (hindari plagiat).

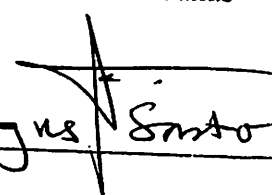
Perbaikan Proposal Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar Proposal Skripsi dilaksanakan

Proposal telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 31 - 10 - 2014
Dosen Pembahas



Malang, 17 - 10 - 2014
Dosen Pembahas


(A. Agus Sintono)



FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG _____

Nama : Christiana Lapa

NIM : 10.21.035

Hari / tanggal : Jumat , 17 desember 2014

Perbaikan materi Proposal Skripsi meliputi :

- Judul & pendahuluan
- Isi
- Metode penelitian
- hasil.

Perbaikan Proposal Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar Proposal Skripsi dilaksanakan

Proposal telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 20

Dosen Pembahas

Malang, _____ 20

Dosen Pembahas



FORM REVISI / PERBAIKAN

BIDANG PENEHITAPAN

Nama : CHRISSENSIANA L.A

NIM : 10.21.035

Hari / tanggal : JUMMAT 17 - 10 - 2014

Perbaiki materi Proposal Skripsi meliputi :

daftar pustaka
margin alur

Perbaikan Proposal Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar Proposal Skripsi dilaksanakan

Proposal telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 3 - 11 - 2014
 Dosen Pembahas

Malang, 17 - 10 - 2014
 Dosen Pembahas



**FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG _____**

Nama : Chrisensiana Laka Asa

NIM : 16.21.035

Hari / tanggal : Senin / 9 - Februari - 2015

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

Kempr

13
02 *611*

Perbaikan Seminar Hasil Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Seminar. **Bila melebihi 14 hari, maka tidak dapat diikuti Ujian Skripsi.**

Pengumpulan berkas untuk ujian skripsi dengan menyertakan lembar pengesahan dari dosen pembahas dan kaprodi

Skripsi telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 20
Dosen Pembahas

AS

(_____)

Malang, _____ 20
Dosen Pembahas

AS

(_____)



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTUR

Nama : CHRISSENIANA LAKA
 NIM : 1021035
 Hari / tanggal : Senin, 16 Februari 2015

Perbaiki materi Skripsi meliputi :

Hal 142 → ket. qbr $\Delta = \dots$ kg → betulkan.

Hal 31 → $A_{s\text{mulus}} > A_{s\text{perlu}}$.

Untuk data balok normal dipakai 3 benda uji

Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian
 dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Das Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 25 - 2 - 2015.
 Dosen Penguji

Malang, 16 - 2 - 2015
 Dosen Penguji

(A. Agus Santosa.)



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG _____

Nama : _____
 NIM : _____
 Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- BTS. di perbaiki.
 - sama. ?

Ace

Ujian Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian
 dilaksanakan. **Bila melebihi** masa 14 hari, maka **tidak dapat diikutkan Yudisium.**

s Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 20____
 Dosen Penguji

Malang, _____ 20____
 Dosen Penguji

[Signature]

[Signature]

(_____)

(_____)

**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 + Caping
 DITERIMA DI LAB. : 28 Desember 2014

Tanggal		Umur (hari)	Jenis Konstruksi	Berat (kg)	Tekanan Hancur (kN)	Teg. Hancur Silinder (kg/cm ²)	Teg. Hancur Kubus (kg/cm ²)	K E T.
Buat	Tes							
07-Okt-14	28-Des-14	45	V44 - Pile Cap	12,7	770	435,95	525,24	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V61 - Pile Cap	12,5	890	503,89	607,10	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V25 - Pile Cap	12,5	1020	577,49	695,78	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V67 - Pile Cap	12,5	900	509,55	613,92	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V59 - Pile Cap	12,5	815	461,43	555,94	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V3 - Pile Cap	12,4	865	489,74	590,05	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V16 - Pile Cap	12,4	880	498,23	600,28	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V53 - Pile Cap	12,6	825	467,09	562,76	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V61 - Pile Cap	12,5	865	489,74	590,05	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V22 - Pile Cap	12,6	785	444,44	535,48	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V34 - Pile Cap	12,6	700	396,32	477,49	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V34 - Pile Cap	12,6	600	339,70	409,28	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V28 - Pile Cap	12,5	635	359,52	433,16	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V7 - Pile Cap	12,4	765	433,12	521,83	K 350
07-Okt-14	28-Des-14	45	V64 - Pile Cap	12,5	765	433,12	521,83	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V25 - Kolom Lantai 2	12,6	1035	585,99	706,01	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V2 - Kolom Lantai 2	12,4	450	340,34	410,05	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V15 - Kolom Lantai 2	12,5	630	498,38	600,45	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V9 - Kolom Lantai 2	12,5	560	443,00	533,74	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V3 - Kolom Lantai 2	12,7	665	526,06	633,81	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V7 - Kolom Lantai 2	12,5	520	411,36	495,61	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V9 - Kolom Lantai 2	12,5	560	443,00	533,74	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V7 - Plat Lantai 2	12,7	550	435,09	524,21	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V21 - Plat Lantai 2	12,5	610	482,55	581,39	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V5 - Plat Lantai 2	12,5	710	561,66	676,70	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V21 - Plat Lantai 2	12,3	555	439,05	528,97	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V19 - Plat Lantai 2	12,5	605	478,60	576,63	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V13 - Plat Lantai 2	12,8	650	514,20	619,52	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V1 - Plat Lantai 2	12,5	680	537,93	648,11	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V11 - Plat Lantai 2	12,5	585	462,78	557,56	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V17 - Plat Lantai 2	12,5	510	403,45	486,08	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V5 - Plat Lantai 2	12,6	610	482,55	581,39	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V15 - Plat Lantai 2	12,8	570	450,91	543,27	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V1 - Plat Lantai 2	12,7	640	506,29	609,98	K 350
30-Nov-14	28-Des-14	28	V13 - Plat Lantai 2	12,6	765	605,17	729,12	K 350

a. Tegangan Hancur Silinder / Kubus Beton (kg/cm²)
 dihitung / dikonversikan pada umur 28 hari.

b. Tegangan Hancur Silinder Beton rerata = 469,93 kg/cm²
 Tegangan Hancur Kubus Beton rerata (hasil konversi) = 566,19 kg/cm²

c. Nilai tegangan tekan tersebut pada point b di atas adalah **TEGANGAN TEKAN BETON RATA-RATA**,
 bukan nilai tegangan beton karakteristik ataupun f'c.



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.poltek-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. : 25 Desember 2014

Tanggal		Umur (hari)	Jenis Konstruksi	Berat (kg)	Tekanan Hancur (kN)	Teg. Hancur Silinder (kg/cm ²)	Teg. Hancur Kubus (kg/cm ²)	K E T.
Buat	Tes							
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,3	660	354,25	426,80	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,6	610	327,41	394,47	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,5	740	413,63	498,35	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,7	800	447,17	538,76	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,1	380	275,33	331,73	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,0	395	286,20	344,82	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,8	455	359,94	433,66	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,5	400	316,43	381,24	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,1	440	348,07	419,36	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,4	425	336,21	405,07	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,6	440	348,07	419,36	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,5	470	371,80	447,96	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,7	405	320,38	386,01	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,4	470	409,39	493,24	K 350
27-Okt-14	25-Des-14	28	Plat Lantai 2	12,3	460	400,68	482,74	K 350

Tegangan Hancur Silinder / Kubus Beton (kg/cm²)

dihitung / dikonversikan pada umur 28 hari.

Tegangan Hancur Silinder Beton rerata = 354,33 kg/cm²

Tegangan Hancur Kubus Beton rerata (hasil konversi) = 426,90 kg/cm²

Nilai tegangan tekan tersebut pada point b di atas adalah **TEGANGAN TEKAN BETON RATA-RATA**,
bukan nilai tegangan beton karakteristik ataupun f'c.

Malang, 25 Desember 2014
Kepala Laboratorium

Damariah, BS., MT
Nip. 196204241993032001



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

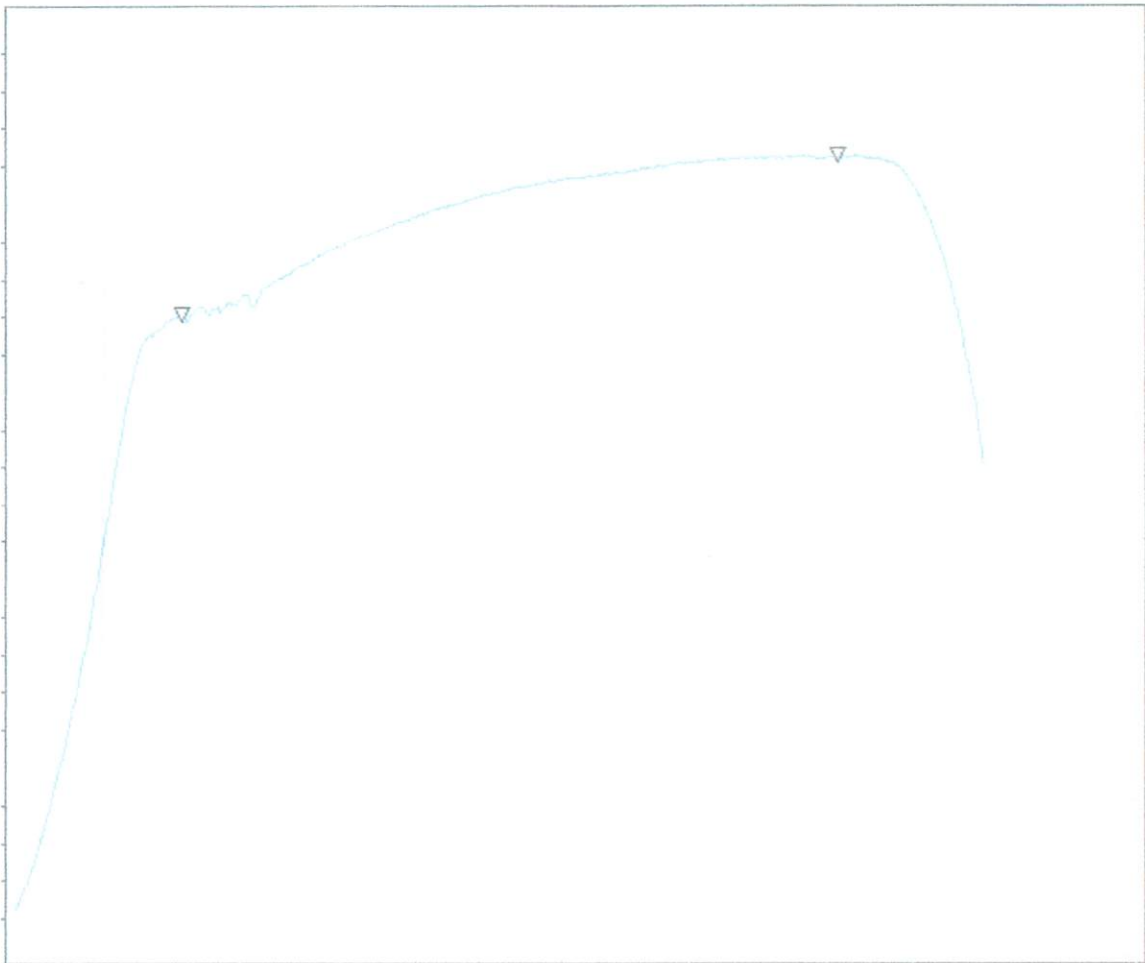
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	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

3953-01



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

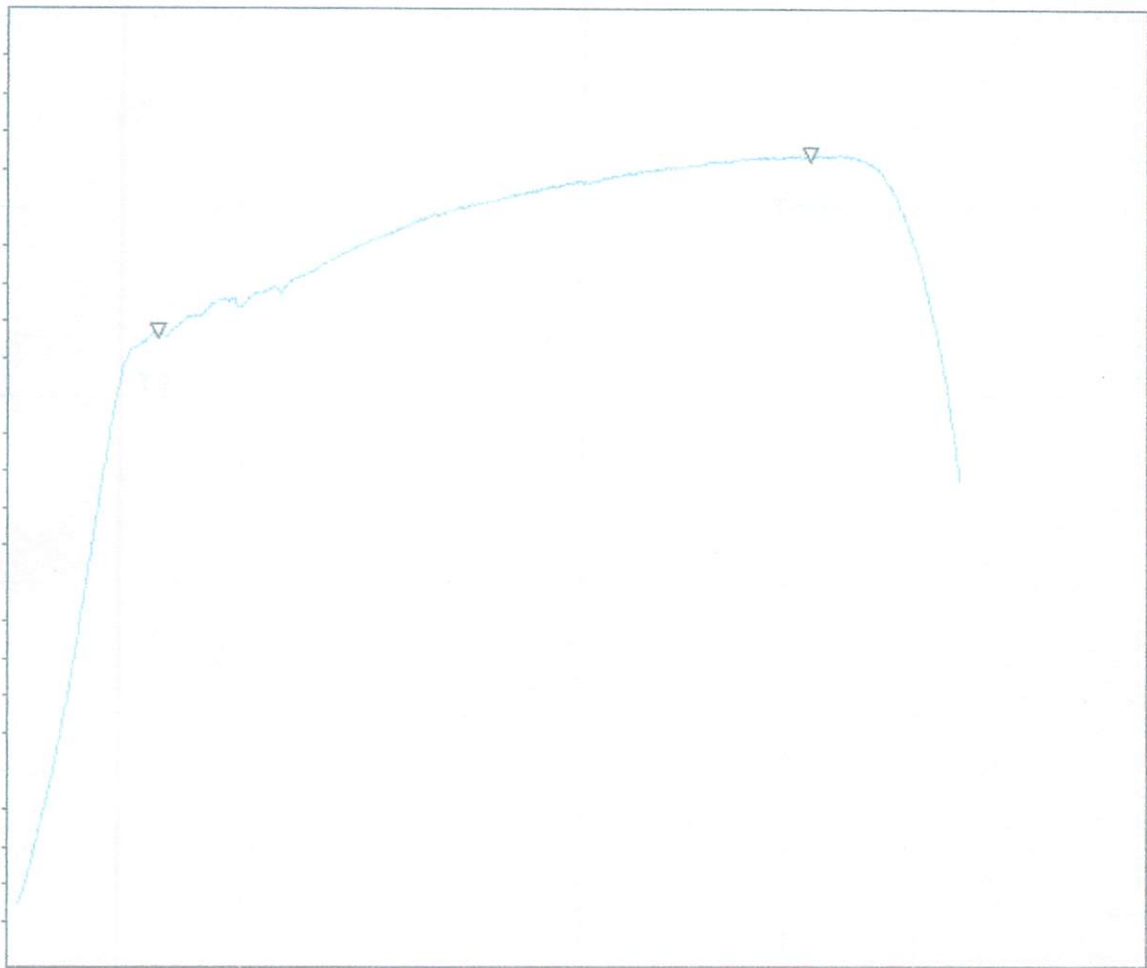
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	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

3952-01



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 : 3954

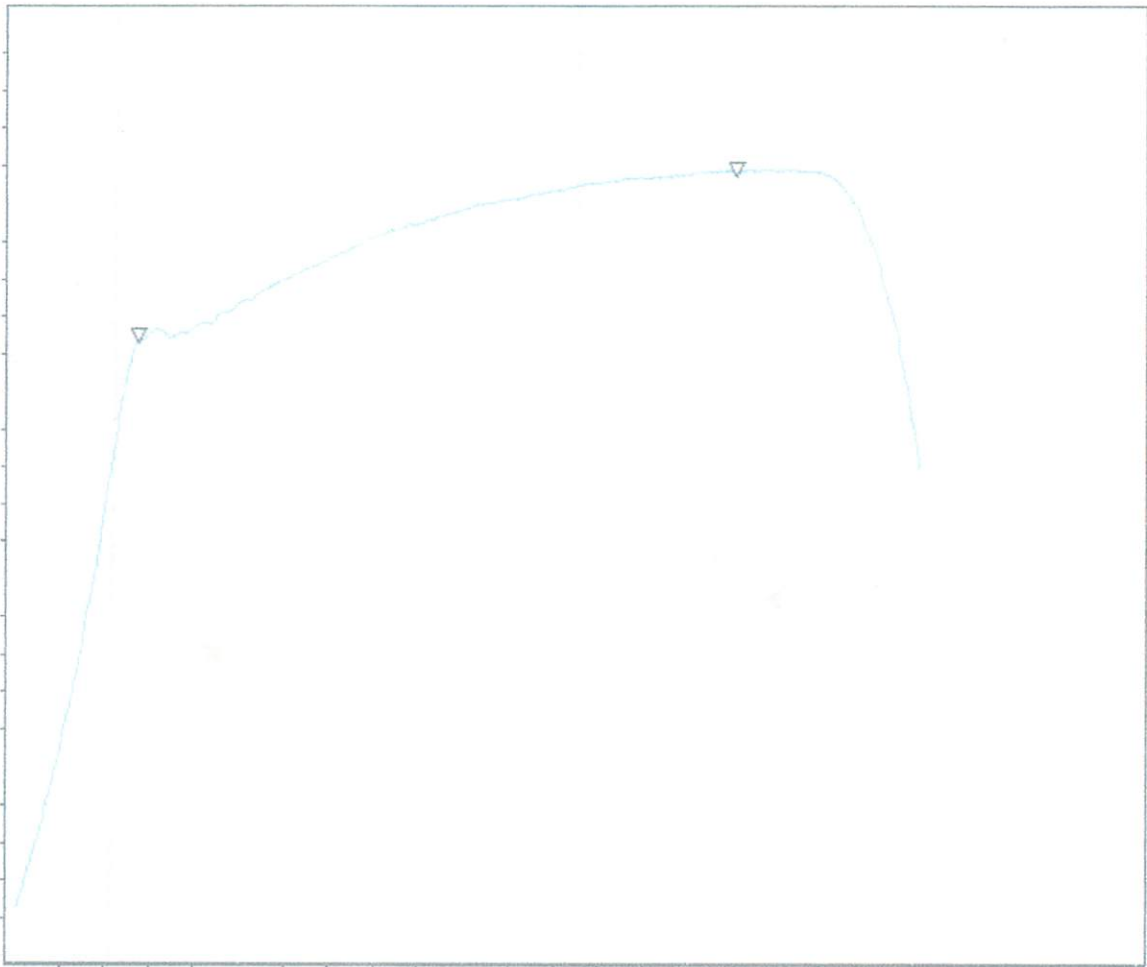
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 01/06/2015

NO.	SPECIMEN	Area mm ²	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

3954-01



Kepala Laboratorium :



Ir. Teguh Rahardjo, MT

NIP 195706011992021001



SURAT KETERANGAN

No : 016 /LBK.FT/2015

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UB, menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

N a m a : Chrisensiana Laka Asa
NIM : 10.21.035/ S-1 Teknik Sipil
Lembaga : ITN Malang

Untuk melengkapi data penelitiannya, telah melakukan pengujian di laboratorium struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Malang, 20 Januari 2015
Kepala Laboratorium



Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP. 195112111981032001

LAMPIRAN
DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN

- Pembuatan Begisting



- **Pembesian**



- Pengecoran



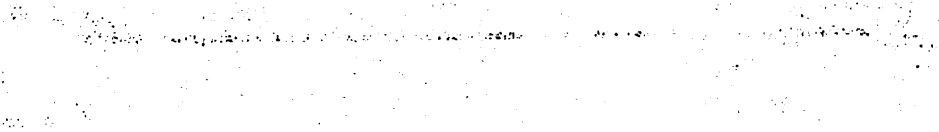
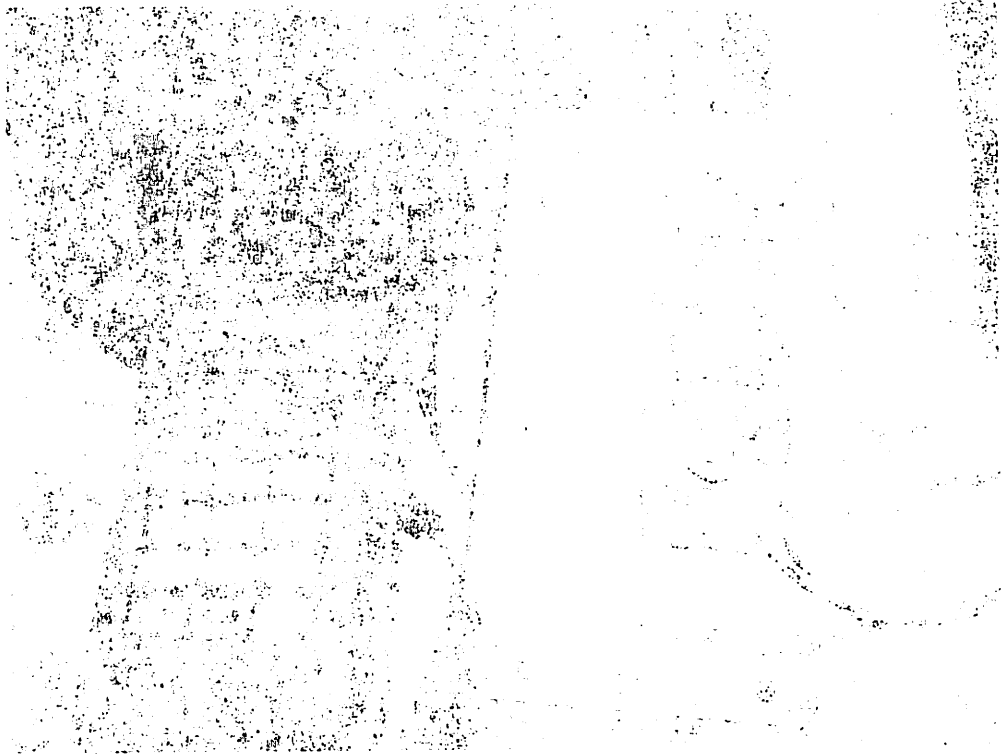
Dear Mr. [Name obscured]

[The following text is extremely faint and illegible due to heavy noise and low contrast. It appears to be a letter or report.]

[The following text is extremely faint and illegible due to heavy noise and low contrast. It appears to be a letter or report.]

[The following text is extremely faint and illegible due to heavy noise and low contrast. It appears to be a signature or name.]





- **Pengujian Benda Uji**



