

SKRIPSI

PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK



Oleh :

Lucky Cahya Permana

07.21.076

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

2013

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK**

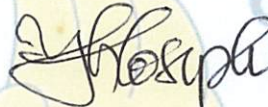
*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :
LUCKY CAHYA PERMANA
0721076

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. Togi H. Nainggolan, MS)

(Yosimson P. Manaha, ST, MT.)

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



Ir. H. Hirijanto, MT

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

2013

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN
TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG
TERHADAP KEKUATAN BALOK**

SKRIPSI

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang

Strata Satu (S -1)

Pada Hari : rabu

Tanggal : 21 Agustus 2013

**Dan diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Disusun Oleh :

LUCKY CAHYA PERMANA

0721076

Disahkan Oleh :

Ketua



Ir. H. Hirijanto, MT

Sekretaris



Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT

Anggota Penguji :

Penguji I



Ir. A. Agus Santosa, MT

Penguji II



Ir. Ester Priskasari, MT.

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2013**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : LUCKY CAHYA PERMANA

NIM : 07.21.076

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul:

**PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL
PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG TERHADAP KEKUATAN
BALOK**

Adalah asli karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur hasil karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber asli dan tercantum dalam daftar pustaka.

Malang, Agustus 2013

Yang membuat pernyataan



Lucky Cahya Permana

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji kami panjatkan ke-hadirat Tuhan yang Maha Esa, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Proposal Skripsi dengan judul “PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK”

Laporan Skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. H. Hirijanto, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
2. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST,MT. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil .
3. Bapak Ir. Togi H. Nainggolan, MS selaku Koordinator Bidang Penelitian.
4. Orang tua yang selalu mendoakan dan membantu baik secara moril maupun materi.
5. Saudara-saudari serta mamanya adek dirumah yang selalu menyemangati dan mendoakan.
6. Serta teman-teman yang ikut membantu dalam penyelesaian Skripsi ini.

Penyusun berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk kami serta rekan- rekan Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil S1.

Akhir kata penyusun mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dalam penyempurnaan Skripsi berikutnya.

Malang, September 2013

Penyusun

ABSTRAK

PENGARUH SAMBUNGAN BETON DAN TULANGAN LONGITUDINAL PADA JARAK SEPEREMPAT BENTANG TERHADAP KEKUATAN BALOK. Oleh : Lucky Cahya Permana, Program studi teknik sipil S-1, Insitut Teknologi Nasional Malang.

Dosen : Ir. Togi H. Nainggolan, MS dan Yosimson P. Manaha, ST, MT.

Pada pembangunan proyek besar yang dibangun serta direncanakan dengan desain yang indah serta kuat. Proyek-proyek tersebut biasanya membutuhkan suplai kebutuhan cor beton yang tidak sedikit dan terus-menerus agar pengecoran dapat diselesaikan tanpa hambatan, namun banyak juga pengecoran proyek dihentikan ditengah jalan entah karena kurangnya suplai beton cor, karena keterlambatan bahan ke lapangan, keterbatasan waktu, dana, atau alasan lain, sehingga menimbulkan sambungan antar beton lama dan beton baru. Sambungan tersebut dapat berakibat fatal jika tidak diperhatikan pemberhentiannya. Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah defleksi. Defleksi disini adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya vertikal dalam hal ini elemen struktur tersebut adalah balok yang diberikan beban terpusat, dan diuji kekuatan lenturnya.

Untuk mengetahui jarak sambungan yang aman pada balok, maka dilakukan pengujian eksperimen. Untuk melakukan pengujian eksperimen tersebut dipakai balok dimensi 100mm x 150mm x 2000mm dengan variasi 2 benda uji balok tanpa sambungan dan balok yang disambung. Masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak sambungan 1/4 bentang berpengaruh terhadap lendutan, kuat lentur, kuat geser dan perilaku retak. Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah meneliti efektifitas sambungan beton lama dan beton baru.

Berdasarkan hasil pengujian eksperimen di dapat P_{max} pada masing-masing benda uji, untuk balok tanpa sambungan dapat menerima beban P_{max} sebesar 1090Kg, lendutan 9,19mm, kuat lentur 6150119,30Nmm, kuat geser 6330,5N. Untuk balok sambungan 1/4 bentang beban P_{max} sebesar 970Kg, lendutan 7,87mm, kuat lentur 5276289,9Nmm, kuat geser 5456,3N. Adapun perbedaan antara balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang dengan nilai persentase lendutan sebesar 14,45%, kuat lentur 14,21 % dan kuat geser 13,80 %.

Kata kunci : Beban, kuat geser, kuat lentur, lendutan, sambungan.

DAFTAR ISI

<i>HALAMAN JUDUL</i>	<i>i</i>
<i>LEMBAR PERSETUJUAN</i>	<i>ii</i>
<i>LEMBAR PENGESAHAN</i>	<i>iii</i>
<i>LEMBAR KEASLIAN</i>	<i>iv</i>
<i>KATA PENGANTAR</i>	<i>v</i>
<i>ABSTRAK</i>	<i>vi</i>
<i>DAFTAR ISI</i>	<i>vii</i>
<i>DAFTAR TABEL</i>	<i>viii</i>
<i>DAFTAR GRAFIK</i>	<i>ix</i>
<i>DAFTAR NOTASI</i>	<i>x</i>
 <i>BAB I PENDAHULUAN</i>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Hipotesa penelitian	6
 <i>BAB II STUDI PUSTAKA</i>	
2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu.....	7
2.2. Pengekangan Pada Beton	8
2.3. Metoda Perencanaan.....	9
2.4. Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan	10

2.5. Baja Tulangan	11
2.6. Prinsip – Prinsip Perencanaan	12
2.7. Dasar Teori Analisa Lentur Penampang Persegi	16
2.8. Distribusi Tegangan Persegi Dari Whitney.....	16
2.9. Lentur Tulangan Tunggal.....	18
2.10. Lentur Tulangan Rangkap.....	20
2.11. Kekuatan Geser Dan Tulangan Geser	23
2.12. Perilaku Balok Akibat Gaya Geser	24
2.13. Persyaratan Perencanaan Tulangan Geser	27

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Parameter Penelitian.....	33
3.2. Model Analisa.....	34
3.3. Pengujian Di Laboratorium.....	34
3.3.1. Spesifikasi Material	34
3.3.2. Benda Uji.....	34
3.3.3. Tempat Pengujian Silinder dan Balok.....	35
3.3.4. Alat dan Bahan Pengujian	35
3.5. Populasi dan Sample	36
3.6. Umum	39
3.7. Analisa Hasil Laboratorium	39
3.7.1. Campuran beton	39
3.7.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder	40
3.7.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja	41
3.8. Analisa Teoritis	42

3.8.1. Kontrol Kuat Lentur	43
3.8.2. Penulangan Kuat Geser	47
3.8.3. Perhitungan Lendutan	49
3.8.4. Perhitungan Kekuatan Lentur	59
3.8.5. Perhitungan Kuat Geser teoritis	62
3.8.6. Retak Awal	65

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Eksperimen	68
4.1.1. Analisa Beban-Lendutan Balok Tanpa Sambungan	68
1. Balok Tanpa Sambungan A	68
2. Balok Tanpa Sambungan B	71
3. Balok Tanpa Sambungan C	75
4. Rata-rata beban-lendutan Balok Tanpa Sambungan.....	80
4.1.2. Analisa Beban-Lendutan Balok sambungan	85
1. Balok sambungan (1/4) A	85
2. Balok sambungan (1/4) B.....	89
3. Rata-rata hubungan beban-lendutan sambungan 1/4	94
4. Gabungan Teoritis dan rata-rata Balok Beton Bertulang dan jarak Sambungan 1/4 bentang	98
5. Perbedaan Lendutan Balok Tanpa Sambungan dan Balok Sambungan 1/4 Bentang	101
4.1.3. Perhitungan Kuat Lentur Eksperimen Menggunakan Nilai P Eksperimen	102
1. Balok tanpa sambungan.....	102

2. Balok sambungan (1/4).....	106
3. Perbedaan Kuat Lentur Balok Tanpa Sambungan dan Balok Sambungan 1/4 Bentang	111
4.1.4. Perhitungan Kuat Geser Eksperimen.....	112
1. Balok tanpa sambungan.....	112
2. Balok sambungan (1/4).....	116
3. Gabungan antara kuat geser teoritis.....	120
4. Perbedaan Kuat Geser Balok Tanpa Sambungan dan Balok Sambungan 1/4 Bentang	121
4.2. Mekanisme pola retak	122
1. Balok tanpa sambungan A.....	122
2. Balok tanpa sambungan B.....	123
3. Balok tanpa sambungan C.....	124
4. Balok sambungan (1/4) A.....	125
5. Balok sambungan (1/4) B.....	126

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	127
5.2. Saran	128

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Proporsi campuran beton hasil mix design.....	40
Tabel 3.2. Hasil pengujian kuat tekan beton.....	41
Tabel 3.3. Pemeriksaan mutu baja.....	41
Tabel 3.4. Hasil analisa teoritis untuk pembebanan maksimum.....	46
Tabel 3.5. Hasil analisa momen inersia penampang retak (I_{cr}).....	52
Tabel 3.6. Hasil analisa momen retak (M_{cr}).....	53
Tabel 3.7. Hasil analisa lendutan teoritis.....	57
Tabel 3.8. Kuat lentur teoritis.....	59
Tabel 3.9. Geser Teoritis.....	62
Tabel 4.1. Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan A	68
Tabel 4.2. Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan B	72
Tabel 4.3. Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan C	76
Tabel 4.4. Rata – rata beban – lendutan balok tanpa sambungan A,B dan C	80
Tabel 4.5. Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan $1/4$ A	86
Tabel 4.6. Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan $1/4$ B .	90
Tabel 4.7. Data rata-rata hasil eksperimen balok sambungan $1/4$ A dan $1/4$ B	94
Tabel 4.8. Data rata-rata hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan $1/4$ bentang dan teoritis	98
Tabel 4.9. Prosentase nilai Lendutan	101
Tabel 4.10. Kuat lentur eksperimen balok tanpa sambungan.....	103
Tabel 4.11. Kuat lentur eksperimen Balok dengan jarak sambungan $1/4$	107

Tabel 4.12. Prosentase nilai Lentur	111
Tabel 4.13. Kuat lentur eksperimen balok tanpa sambungan rata-rata.....	113
Tabel 4.14. Kuat Lentur Eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat bentang (1/4) rata-rata	117
Tabel 4.12. Prosentase nilai Kuat Geser	121

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1. Hubungan beban – lendutan teoritis.....	58
Grafik 3.2. Hubungan Beban – kuat lentur.....	61
Grafik 3.3. Hubungan Beban- Geser	64
Grafik 4.1. Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A	70
Grafik 4.2. Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan B	74
Grafik 4.3. Hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan C	78
Grafik 4.4. Rata – rata hubungan beban-lendutan balok tanpa sambungan	82
Grafik 4.5. Gabungan Hubungan Beban-Lendutan balok tanpa sambungan rata-rata dan beban-lendutan teoritis.....	84
Grafik 4.6. Hubungan beban – lendutan balok sambungan (1/4) A.....	88
Grafik 4.7. Hubungan beban – lendutan balok sambungan (1/4) B.....	92
Grafik 4.8. Gabungan hubungan beban – lendutan balok tulangan (1/4) A,(1/4) B dan rata-rata sambungan 1/4.....	96
Grafik 4.9. Hubungan Beban-Lendutan Teoritis, rata-rata balok tanpa sambungan dan rata-rata balok sambungan 1/4.....	99
Grafik 4.10. Hubungan beban – kuat lentur balok tanpa sambungan.....	95
Grafik 4.11. Hubungan beban-kuat lentur balok dengan jarak sambungan 1/4.....	109
Grafik 4.12. Gabungan kuat lentur teoritis dan rata-rata balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4.....	100
Grafik 4.13. Hubungan beban-geser balok tanpa sambungan.....	115
Grafik 4.14 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan 1/4.....	119
Grafik 4.15. Gabungan geser teoritis, geser balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4.....	120

DAFTAR NOTASI

a	Tinggi balok tegangan
A	Luas benda uji
A_s	Luas tulangan tarik
$A's$	Luas tulangan tekan
Z	Besaran pembatas distribusi tulangan lentur
V_u	Gaya geser
I_{cr}	Momen inersia penampang retak transformasi
I_g	Momen inersia penampang bruto beton terhadap sumbu pusat penampang, dengan mengabaikan tulangan
b	Lebar balok
h	Tinggi balok
d	Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tarik tulangan
d'	Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tekan
n	rasio modulus
y	Jarak sumbu netral penampang ke serat paling tertekan
C_c	Gaya tekan beton
C_s	Gaya tekan baja
Δ	Lendutan / defleksi
E_c	Modulus elastisitas beton
E_s	Modulus elastisitas baja
f'_c	Kuat tekan beton
f_y	Kuat leleh baja
I_e	Momen inersia

M	Momen
M_{cr}	Momen retak dari beton
M_n	Momen nominal
P	Gaya / beban
∅	Diameter tulangan baja

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dewasa ini banyak pembangunan dan proyek-proyek besar yang dibangun serta direncanakan dengan desain yang indah serta kuat. Proyek-proyek tersebut biasanya membutuhkan suplai kebutuhan cor beton yang tidak sedikit dan terus-menerus agar pengecoran dapat diselesaikan tanpa hambatan, namun banyak juga pengecoran proyek dihentikan ditengah jalan entah karena kurangnya suplai beton cor, karena keterlambatan bahan ke lapangan, keterbatasan waktu, dana, atau alasan lain, sehingga menimbulkan sambungan antar beton lama (beton yang mulai mengeras) dengan beton baru (pengecoran lanjutan). Sambungan tersebut dapat berakibat fatal jika tidak diperhatikan pemberhentiannya dan biasanya sambungan beton lama (yang sudah mulai mengeras) dengan beton baru hanya diberi air semen sebagai pengikat atau bahkan permukaan beton lama dikasarkan guna terjadinya pengikatan antara beton lama yang sudah mengeras dengan beton baru.

Perancangan struktur balok beton bertulang tahan gempa sesuai dengan SNI 03-2847-2002 mensyaratkan bahwa pemakaian tulangan pengekang dan tulangan longitudinal untuk mencapai daktilitas yang disyaratkan. Pendetailan khusus dalam bentuk pengekangan diberikan terutama di daerah yang mempunyai potensi terjadinya sendi plastis (pada semua ujung balok dan semua ujung

kolom), sesuai dengan konsep perancangan struktur tahan gempa saat ini, terutama pada bangunan yang didesain sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Yaitu sistem rangka ruang dalam, dimana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi yaitu di zona 5 hingga zona 6. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh.

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 menggunakan bahan perekat beton (*bond crete*), mengingat harga dari perekat beton tersebut cukup mahal dan masih langkahnya bahan perekat tersebut jika pembangunan dilaksanakan di luar jawa. Sambungan tulangan longitudinal perlu diperhatikan panjang penyaluran dan pengeangan pada daerah penyambungan tersebut serta yang terpenting adalah letak atau lokasi sambungan dari beton balok dan tulangan longitudinal di sepanjang balok tersebut.

Penelitian mengenai pengaruh letak penyambungan beton dan tulangan longitudinal balok 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, terutama balok beton bertulang yang dirancang sebagai Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di wilayah gempa kuat.

1.2. Perumusan Masalah

Masalah penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada balok jarak sambungan 1/4 bentang berpengaruh terhadap lendutan ?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada balok jarak sambungan 1/4 bentang berpengaruh terhadap kuat lentur ?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada balok jarak sambungan 1/4 bentang berpengaruh terhadap kuat geser ?
- Apakah letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada balok jarak sambungan 1/4 bentang berpengaruh terhadap perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang ?



1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada balok jarak sambungan 1/4 bentang terhadap lendutan.

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

1.4. Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup masalah dari penelitian ini yang bertujuan untuk memfokuskan pada permasalahan pokok, yaitu sebagai berikut :

- a. Balok persegi dengan penampang $b = 100$ mm dan $h = 150$ mm
- b. Panjang balok $L = 2000$ mm
- c. Selimut beton balok = 10 mm.
- d. Kuat tekan beton $f'_c = 18.38$ MPa.
- e. Tulangan geser balok $\varnothing 4,5$ mm
- f. Tulangan longitudinal balok $\varnothing 8$ mm
- g. Pengujian kuat lentur, kuat geser, dan lendutan yang dilakukan pada beton umur 28 hari.
- h. Jarak sengkang disesuaikan dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3 :

Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) $d/4$, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter bentang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti :

- Sebagai prasyarat penyusun untuk menempuh jenjang strata satu dan memperoleh kelulusan strata satu.
- Merupakan kesempatan yang baik untuk menerapkan teori yang ada, khususnya mengenai beton, guna menambah wawasan dan pengetahuan.
- Dapat memahami proses pembuatan beton dengan benda uji sesuai ketentuan yang berlaku.
- Memberikan gambaran umum tentang perilaku beton di lapangan jika nantinya menggunakan metode yang diteliti.

2. Bagi Lembaga Pendidikan :

Laporan hasil penelitian ini dapat menambah perbendaharaan kepustakaan, khususnya mengenai masalah beton, sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam proses akademik.

3. Bagi Perencana dan Pelaksana Proyek

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

1.6. Hipotesis penelitian

Hipotesis penelitian merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan yang diajukan dalam rumusan masalah. Jawaban sementara ini masih kurang lengkap, sehingga memerlukan pengujian berdasarkan fakta empirik yang dikumpulkan. Pada penelitian ini digunakan Hipotesis alternatif (H_a), sehingga rumusan hipotesisnya adalah :

“Keterkaitan besaran geser, lentur, lendutan dan pola retak pada sambungan balok 1/4 bentang”

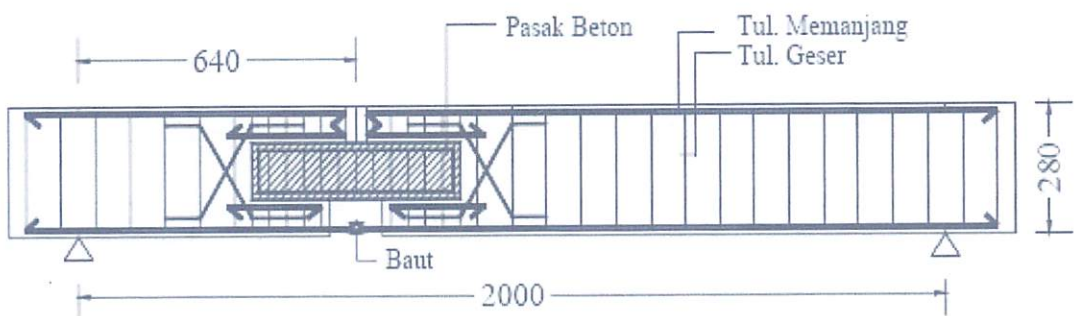
BAB II

STUDI PUSTAKA



2.1. Beberapa Penelitian Terdahulu

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



Gambar 2.1. Model Sambungan Balok

Penelitian tentang pengaruh bahan tambahan (bond crete) antara beton lama dan beton baru pernah dilakukan oleh Arif Nurcahyo (2003) dengan judul: Penelitian Tentang Pengaruh Bahan Tambahan (Bond Crete) Terhadap Elemen Lentur (Balok) Antara Beton Lama Dan Beton Baru Dengan Sambungan Miring, Institut Teknologi Nasional Malang, yang menganalisa tentang pengaruh penggunaan bahan tambahan (bond crete) untuk merekatkan antara beton lama dan beton baru.

Perbedaan penelitian ini dengan peneliti di atas adalah Penelitian ini menggunakan sambungan tulangan memanjang balok dan tulangan geser sesuai persyaratan seperti pada umumnya pelaksanaan penyambungan tulangan balok yang dilaksanakan di lapangan, tanpa menggunakan sambungan pasak kayu atau pasak beton. Penelitian ini juga menempatkan sambungan pada beberapa bagian sepanjang bentang balok yaitu 1/4 bentangan balok dengan panjang penyaluran tulangan memanjang mengikuti SNI 03-2847-2002. Serta pada daerah penyambungan beton tidak menggunakan perekat beton seperti bond crete dan fine mesh.

2.2. Pengekangan Pada Beton

Pengekangan pada beton perlu dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.3.3 agar elemen struktur balok tidak mengalami kegagalan akibat geser. Keruntuhan beton akibat beban tekan biasanya ditandai oleh adanya penambahan volume yang tidak terkontrol. Dengan adanya mekanisme pembatasan gerakan yang bekerja pada beton, proses keruntuhan yang terjadi dapat diperlambat/ dikontrol. Tulangan transversal sangat berperan dalam

mengekang pengembangan lateral yang terjadi akibat beban tekan aksial, mengurangi bahaya pecah (*splitting*) beton, mencegah terjadinya keruntuhan geser pada balok, dan mencegah *premature buckling* tulangan longitudinal yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas penampang balok beton bertulang. Semakin besar beban yang bekerja terhadap balok, semakin banyak pula kebutuhan tulangan transversal yang diperlukan agar struktur balok tersebut lebih kuat dan daktil.

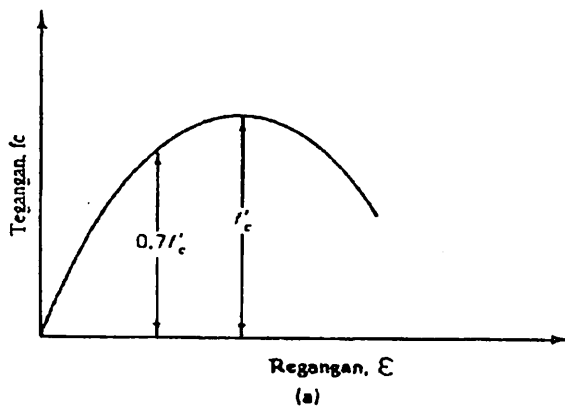
Sengkang persegi hanya memberikan gaya kekang di daerah sudut karena ditahan oleh tulangan longitudinal pada sudut-sudut sengkang. Sedangkan tekanan pada sisi sengkang cenderung membengkokkan bagian ujung sengkang ke arah luar. Sengkang persegi juga memberikan peningkatan kekuatan dan daktilitas pada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

2.3. Metoda Perencanaan

Setelah itu dikembangkan metode kekuatan batas (Metoda 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 kaitan terhadap metoda perencanaan sebenarnya adalah berkaitan dengan asumsi-asumsi yang dipergunakan sesuai dengan pembahasan diatas. Untuk bahan beton perhatian sebenarnya terutama dipusatkan kepada persoalan bagaimanakah perilaku komponen struktur beton bertulang pada waktu menahan berbagai beban diantaranya ialah gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntiran ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut tergantung pada hubungan tegangan regangan yang terjadi di dalam beton seperti tampak pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram tegangan regangan beton

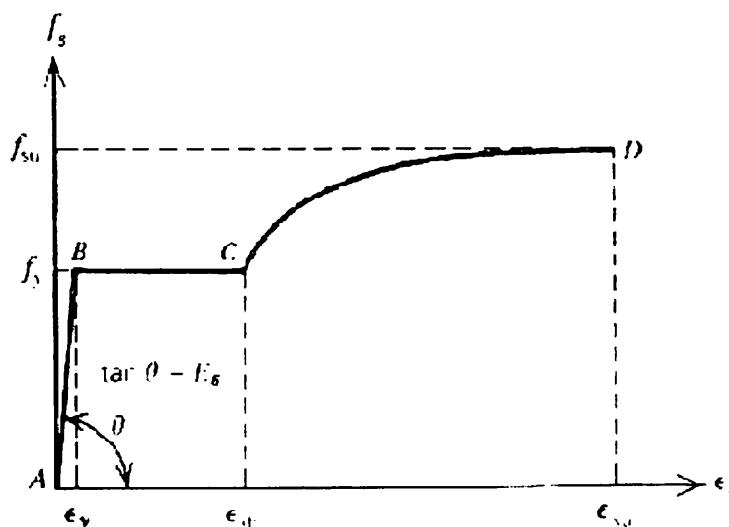
Karena sifat bahan beton yang hanya mempunyai nilai kuat tarik relatif rendah, maka pada umumnya hanya diperhitungkan bekerja dengan baik di daerah tekan pada penampangnya, dan hubungan tegangan regangan yang timbul karena pengaruh gaya tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan.(jelaskan dengan singkat untuk mutu beton)

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/mm^2 (MPa). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai 10-65 MPa. Untuk Struktur Beton Bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat

tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang dipergunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar 30-45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dengan pengawasan cukup ketat di laboratorium.

2.5. Baja Tulangan

Didalam kaitan dengan struktur beton bertulang maka sifat fisik baja tulangan yang paling penting untuk dipergunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan Modulus Elastisitas (E_s). Suatu hubungan tegangan regangan baja tulangan dapat dilihat pada gambar 2.3. Tegangan Leleh dalam hal ini didefinisikan sebagai tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Di dalam perencanaan atau analisis beton bertulang umumnya nilai tegangan leleh baja tulangan diketahui atau ditentukan pada awal perhitungan.

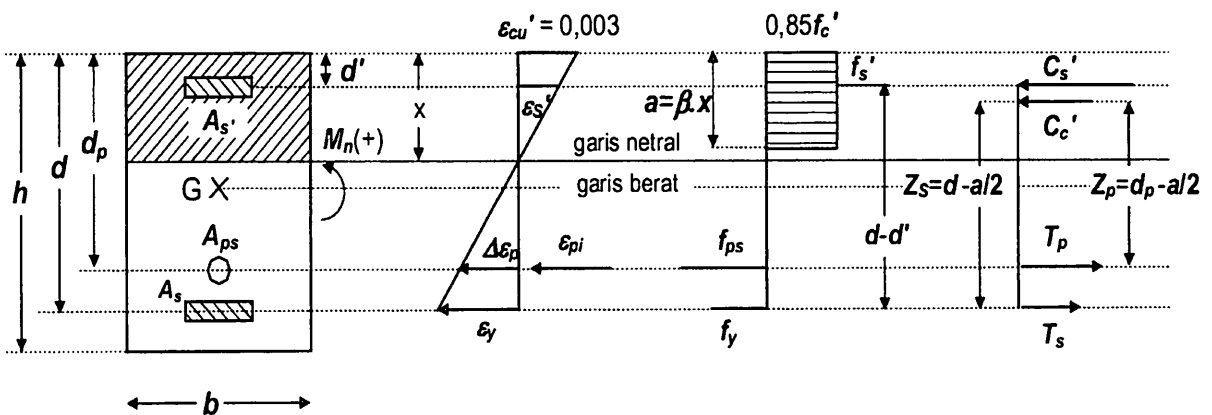


Gambar 2.3. Diagram tegangan regangan baja tulangan

2.6. Prinsip-Prinsip Perencanaan

1. Pada dasarnya didalam perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur atau aksial atau kombinasi beban lentur dan aksial harus dipenuhi ketentuan yang tertera di dalam SNI 03-2847-2002 pasal 20.

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



Gambar 2.4. Diagram tegangan regangan balok

2. Kondisi regangan seimbang terjadi pada penampang ketika tulangan tarik tepat mencapai regangan yang berhubungan dengan tegangan leleh yang ditentukan f_y pada saat yang bersamaan dengan bagian beton yang tertekan mencapai regangan batas asumsi 0,003
3. Untuk komponen struktur lentur, dan untuk komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan aksial tekan dimana kuat rencana ϕP_n kurang dari nilai yang terkecil antara $0,1.f_c'.A_g$ dan ρP_b rasio tulangan yang ada tidak boleh melampaui $0,75\rho_b$ yang menghasilkan kondisi regangan seimbang untuk

penampang yang mengalami lentur tanpa beban aksial. Untuk komponen struktur dengan tulangan tekan, bagian ρ_b yang disamakan dengan tulangan tekan tidak perlu direduksi dengan factor 0,75

4. Peningkatan kekuatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan.

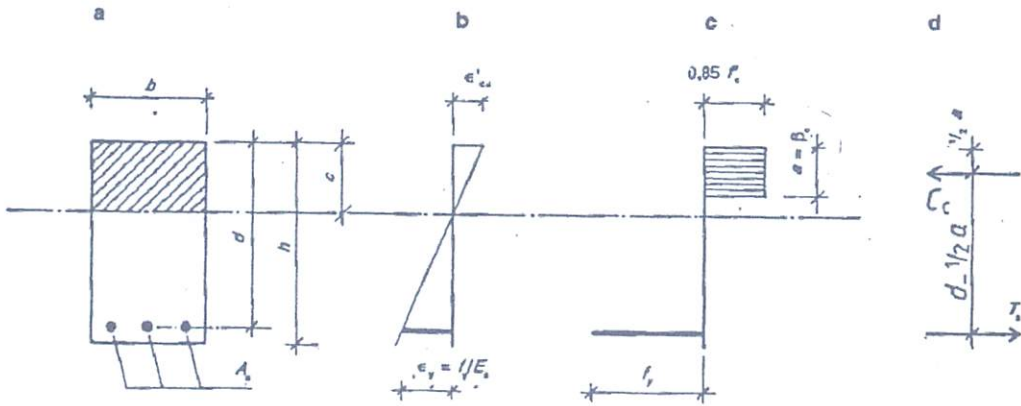
Kondisi perencanaan sendiri dibagi atas beberapa bagian :

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

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

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

$$xb = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{200.000}} \cdot (d) = \frac{600}{600 + f_y} (d)$$



Gambar 2.5. Diagram tegangan regangan pada kondisi balanced

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

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

$$\Leftrightarrow f_s = 600 \frac{(d - xb)}{xb}$$

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

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

$$\Leftrightarrow \frac{0,003d}{xb} = \epsilon_y + 0,003$$

$$\Leftrightarrow xb = \frac{0,003d}{\epsilon_y + 0,003} \cdot \frac{E_s}{E_s}$$



$$\Leftrightarrow xb = \frac{600}{f_y + 600} \cdot d$$

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot xb$$

$$\Leftrightarrow ab = \beta_1 \cdot \left\{ \frac{600}{600 + f_y} d \right\}$$

$$\Leftrightarrow 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot ab = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

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

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 precana lebih kecil dari pbalanced, dengan ρ pasang lebih kecil dari pbalanced 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)

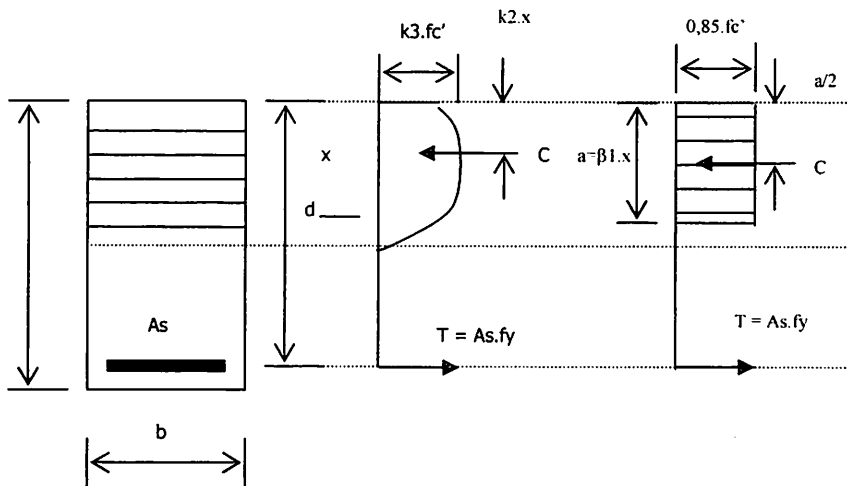
Pada kondisi ini tulangan terpasang relatif banyak yang akan menyebabkan tulangan untuk tetap berada pada kondisi elastis pada saat terjadinya kehancuran beton, yang menghasilkan ragam keruntuhan getas (brittle).

2.7. Dasar Teori Analisa Lentur Penampang Persegi

Sebagaimana diketahui bahwa metode perencanaan yang dipakai saat ini khususnya yang dituangkan didalam Peraturan beton (SNI 03-2847-2002). Secara mendasar metode kekuatan batas disini adalah dengan jalan mengalikan beban kerja dengan faktor tertentu (λ) untuk mencakup kemungkinan pelampauan beban dan variasi dari pemisalan yang digunakan didalam perencanaan. Kekuatan rencana (Kekuatan ultimit) dari suatu penampang diperoleh dengan jalan mengalikan kekuatan nominal dengan suatu faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk memperhitungkan variasi yang merugikan dari kekuatan bahan, pengerjaan, dimensi, pengendalian dan tingkat pengawasan, sekalipun semuanya masih dalam batas toleransi yang dapat diterima.

2.8. Distribusi Tegangan Persegi dari Whitney

Pada tahun 1930-an Whitney menyarankan penggunaan dari suatu distribusi tegangan tekan pengganti yang berbentuk persegi yang lebih sederhana dari distribusi tegangan sebelumnya yang berbentuk parabola.



(a) Balok (b) Kondisi tegangan (c) Distribusi tegangan
 sebenarnya persegi dari whitney

Gambar 2.6. Distribusi tegangan whitney

Seperti tercantum pada gambar 2.7 dipakai tegangan persegi dengan besar rata-rata $0,85 \cdot f_c'$ dengan tinggi $a = \beta_1 \cdot x$, sedemikian hingga $a/2 = k_2 \cdot x$. Menurut ACI 318-83M besarnya β_1 ditetapkan sebagai berikut :

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

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7} \cdot (f_c' - 30) \quad \text{untuk } f_c' > 30 \text{ MPa}$$

tetapi nilai β_1 tidak boleh diambil kurang dari pada 0,65 (ACI 10.2.7.3)

Dengan menggunakan tegangan persegi ekivalen, kekuatan lentur M_n dapat diperoleh dengan menggunakan gambar 6 sebagai berikut :

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

dengan menggunakan prinsip keseimbangan dengan memisalkan tulangan mencapai leleh ebelum hancurnya beton maka didapatkan

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = As \cdot fy \cdot \left(d - 0,59 \frac{As \cdot fy}{fc' \cdot b} \right)$$

2.9. Lentur Tulangan Tunggal

Pada dasarnya lentur tulangan tunggal memiliki pengertian tulangan terpasang hanya pada daerah yang mengalami tarik sedangkan pada daerah yang mengalami tekan hanya dipasang tulangan praktis. Penerapan lentur tulangan tunggal bisa pada elemen balok bisa juga untuk elemen pelat.

Persamaan kekuatan momen tulangan tunggal mengacu terhadap gambar 2.8 adalah sebagai berikut :

$$Cc' = 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b$$

$$T = As \cdot fy$$

$$Cc' = T$$

$$Mn = T \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b = \rho \cdot b \cdot d \cdot fy$$

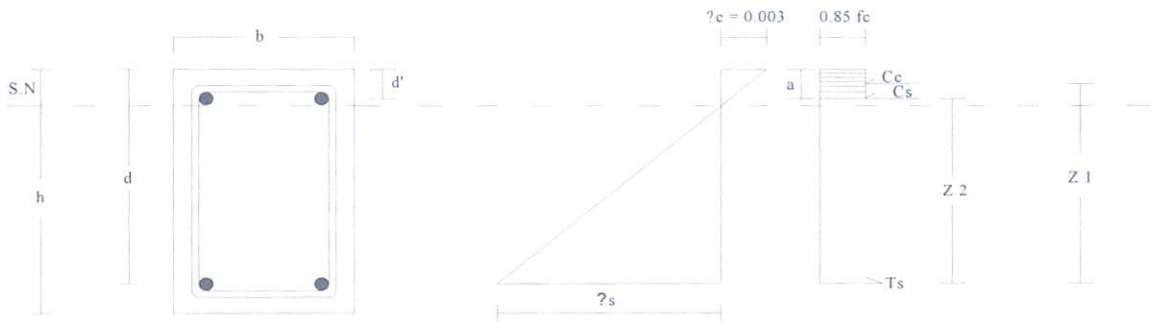
$$a = \rho \cdot \left(\frac{fy}{0,85 \cdot fc'} \right) \cdot d$$

$$Mn = \rho \cdot b \cdot d \cdot fy \cdot \left(d - \frac{\rho}{2} \cdot \left(\frac{fy}{0,85 \cdot fc'} \right) \cdot d \right)$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \rho \cdot fy \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m \right)$$

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



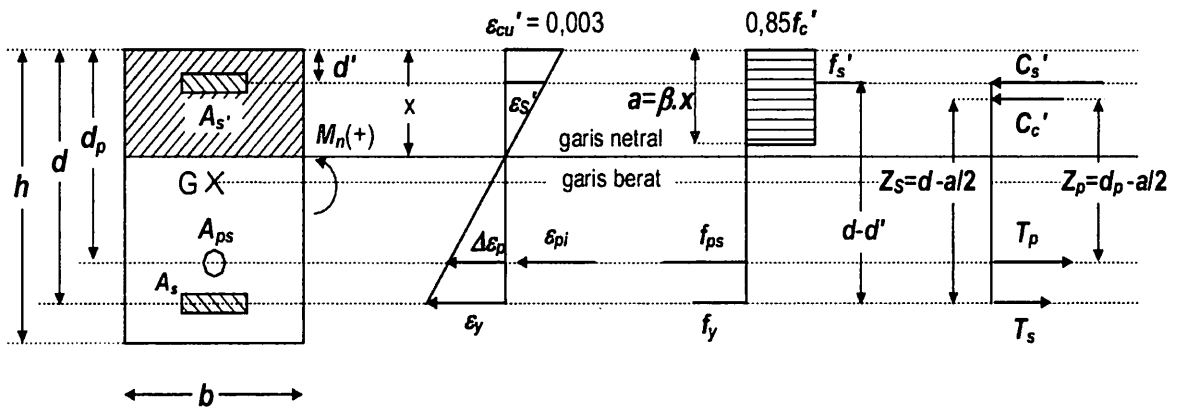
Gambar 2.8. Lentur tulangan tunggal

Cc' dalam hal ini merupakan gaya yang disebabkan oleh bagian beton yang mengalami tekan, T adalah gaya yang ditimbulkan akibat adanya tulangan tarik terpasang sedangkan a merupakan tinggi blok tertekan untuk elemen beton yang mengalami tekan.

2.10. Lentur Tulangan Rangkap

Definisi : Lentur tulangan rangkap merupakan salah satu metoda atau cara perencanaan tulangan lentur yang mana kemampuan penampang untuk memikul lentur merupakan kombinasi dari tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s') dikalikan lengannya.

Adapun langkahnya bisa dilakukan dengan melakukan coba-coba garis netral (x) sampai dengan tulangan tarik sudah tidak mampu lagi untuk memikul momen akibat beban luar, sehingga diperlukan adanya tulangan tekan.



(a) Penampang tulangan rangkap (b) Diagram regangan (c) Diagram tegangan (d) Diagram tegangan

Gambar 2.9. Diagram tegangan regangan lentur tulangan rangkap

Di dalam perencanaan tulangan rangkap ini pada prinsipnya penampang beton yang tertekan dibuat sekecil mungkin dengan cara membuat posisi garis netral yang letaknya lebih mendekati pada tulangan tekan atau A_s' dengan tetap memperhatikan komposisi tulangan tarik (A_s) dan tulangan tekan (A_s')

Seperti terlihat pada gambar 2.9. (c) sebenarnya merupakan komponen tegangan tulangan tunggal dengan komponen beton tertekan Cc' dan komponen tulangan tarik $T1$ dengan tetap memperhatikan prinsip keseimbangan bahwa Cc' sama dengan $T1$ atau dalam arti lain dapat dituliskan persamaannya matematikanya sebagai berikut :

$$Cc' = T_1$$

$$0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b = Asc \cdot fy$$

adapun kemampuan penampang untuk memikul momen tulangan tunggal

$$Mn_1 = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Apabila ternyata kemampuan penampang tulangan tunggal tidak mampu memikul momen yang terjadi yang diakibatkan beban luar dan beban dirinya sendiri maka diperlukan bantuan tulangan tekan seperti terlihat pada gambar 2.9 (d). Dalam hal ini juga berlaku prinsip keseimbangan yang mana Cs' sama dengan $T2$ atau dapat dituliskan

$$Cs' = T_2$$

apabila tulangan tekan leleh maka,

$$As' \cdot fy = Ass \cdot fy$$

kemampuan pikul momen bila tulangan tekan leleh,

$$Mn_2 = Ass \cdot fy (d - d'')$$

apabila tulangan tekan tidak leleh maka,

$$As' \cdot fs' = Ass \cdot fy$$

kemampuan pikul terhadap momen bila tulangan tekan tidak leleh,

$$Mn_2 = Ass \cdot fs' (d - d'')$$

Kemampuan total penampang yang direncanakan tulangan rangkap untuk memikul momen merupakan penjumlahan kemampuan momen akibat penampang beton tertekan Cc' dengan akibat tulangan tekan Cs' sehingga,

$$Mn = Mn_1 + Mn_2$$

Adapun tinggi blok beton tertekan bisa diperoleh dengan,

$$C = T$$

$$C = Cc' + Cs'$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$a = \frac{(As - As')fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

atau,

$$a = \frac{As \cdot fy - As' \cdot fs'}{0,85 \cdot fc' \cdot b}$$

Adapun langkah perencanaan tulangan rangkap sebagai berikut:

1. Ambil suatu harga $x \leq 0,75 Xb$

$$xb = \frac{600}{600 + fy} \cdot d$$

2. Ambil Asc berdasarkan x Rencana

$$Asc = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc' \cdot b \cdot x}{fy}$$

3. Hitung Mnc

$$Mnc = Asc \cdot fy \left(d - \frac{\beta_1 \cdot x}{2} \right)$$

4. Hitung $M_n - M_{nc}$

Apabila : $M_n - M_{nc} > 0$ Perlu tulangan tekan

$M_n - M_{nc} \leq 0$ Tidak perlu tulangan tekan

5. Bila perlu tulangan tekan maka

$$C_s' = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d'')}$$

6. Kontrol tulangan tekan leleh

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 \geq f_y \quad \text{leleh } f_s' = f_y$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{d''}{x}\right) 600 < f_y \quad \text{tidak leleh } f_s' = f_s'$$

7. Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

$$A_s' = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')} \quad A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

8. Tulangan perlu

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$A_s' = A_s'$$

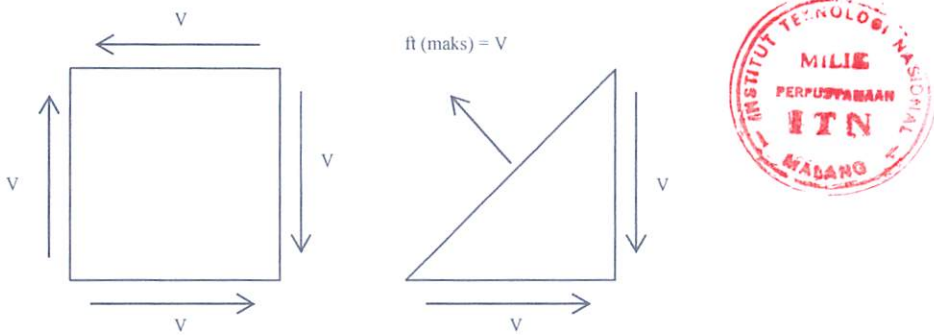
9. Kontrol kekuatan

$$\phi \cdot M_n \geq M_u$$

2.11. Kekuatan Geser Dan Tulangan Geser

Salah satu jenis keruntuhan yang kemungkinan terjadi pada elemen struktur adalah keruntuhan geser (*Shear Failure*) yang dalam hal ini keruntuhan geser didefinisikan sebagai keruntuhan tarik di arah retak miring. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser dan pembentukan dari retak miring adalah

begitu banyak dan rumit sehingga suatu kesimpulan yang pasti mengenai mekanisme yang betul dari retak miring akibat geser yang tinggi, sangat sukar untuk ditetapkan. Bresler dan MagGregor memperkenalkan hubungan yang sistematis mengenai konsep geser vertikal dan horisontal dan kemungkinan terjadinya retak miring dan variable-variabel yang mempengaruhi geser

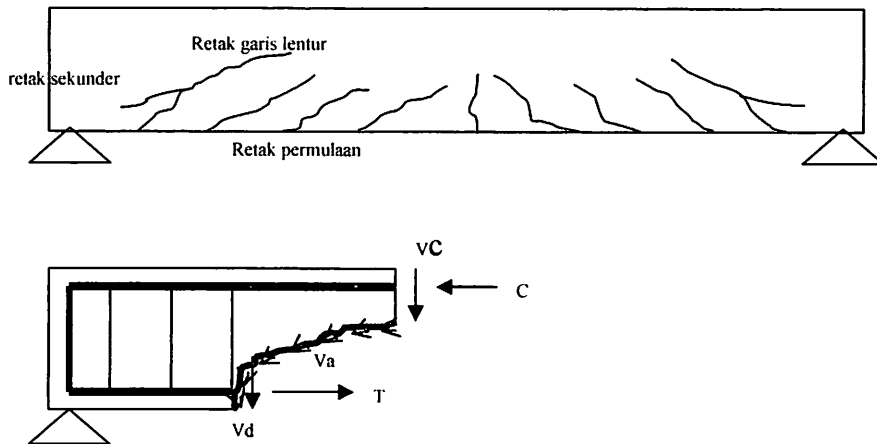


Gambar 2.10. Keadaan geser murni

(yakni tidak ada tegangan tekan atau tarik pada muka elemen).

2.12. Perilaku balok akibat gaya geser

Untuk kasus balok akibat adanya tegangan geser yang tinggi akan mengakibatkan terjadinya retak miring. Untuk mencegah pembentukan retak miring digunakan penulangan transversal yang dikenal dengan penulangan geser, yang berbentuk sengkang tertutup atau yang berbentuk U di arah vertikal atau miring untuk menutupi penulangan memanjang utama di sekeliling muka balok.



V_{cz} = tahanan geser

V_a = gaya saling ikat agregat (geser permukaan)

V_d = gaya pasak

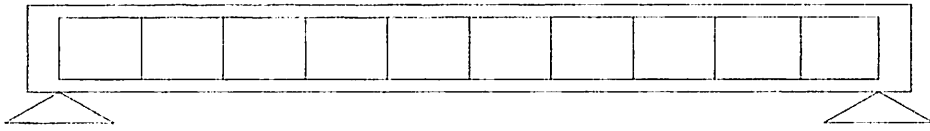
Gambar 2.11 Perilaku geser pada elemen lentur

Perlawanan geser setelah terjadi retak miring :

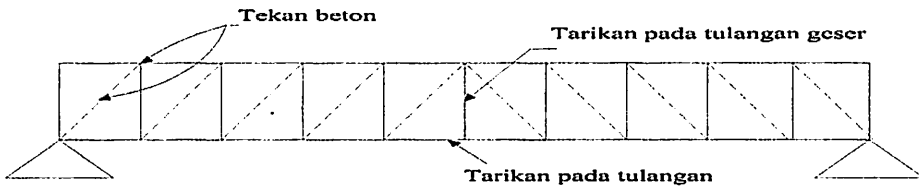
1. Perlawanan geser beton yang belum retak, V_{cz}
2. Gaya ikat (interlock) antara agregat atau transfer geser antar permukaan
3. Aksi pasak (dowel action), V_d
4. Aksi pelengkung (arch action) -> Khusus balok tinggi
5. Perlawanan tulangan geser, V_s (bila ada)

Adapun fungsi tulangan geser (sengkang/begel) adalah :

1. Memikul sebagian gaya geser, V_s
2. Melawan pertumbuhan geser miring dan ikut menjaga terpeliharanya lekatan/geseran antara agregat
3. Mengikat batang tulangan memanjang untuk tetap di posisinya
4. Aksi pasak pada beton dan aksi ikan (confinement) sengkang meningkatkan kekuatan.



(a) Balok dengan sengkang



(b) Aksi rangka batang dalam beton

Gambar 2.12. Filosofi tulangan geser

Kekuatan geser Nominal beton bertulang V_n pada dasarnya merupakan kombinasi kekuatan antara geser yang mampu dipikul beton V_c dengan kekuatan geser yang mampu dipikul oleh baja tulangan V_s atau dalam persamaan dapat dituliskan :

$$V_n = V_c + V_s$$

dalam hal ini besarnya V_c adalah,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b w d$$

bila dihitung lebih rinci nilai V_c ,

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \right] b w d \leq 0,3 \sqrt{f_c'} b w d$$

dimana :

$$\rho_w = \frac{A_s}{b d} ; \quad \frac{V_u d}{M_u} \leq 1$$

apabila pada suatu elemen struktur bekerja gaya geser, lentur dan tekan atau dengan kata lain disebut balok kemampuan geser yang mampu dipikul beton balok adalah,

$$V_c = 2 \left(1 + \frac{Nu}{14.A_g} \right) \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} . b_w . d$$

bila dihitung lebih rinci nilai V_c ,

$$V_c = \left[\frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \cdot \frac{V_u d}{M_m} \right) \right] b_w . d \leq 0.3 \sqrt{f'_c} b_w . d \sqrt{1 + \frac{0.3 . Nu}{A_g}}$$



dimana :

$$M_m = M_u - Nu \cdot \left(\frac{4h - d}{8} \right)$$

Adapun tulangan geser minimum yang harus terpasang,

$$A_v(\min) = \frac{b_w . S}{3 . f_y}$$

sedangkan gaya geser minimum yang harus dimiliki oleh tulangan geser,

$$V_s(\min) = \frac{1}{3} . b_w . d$$

2.13. Persyaratan perencanaan tulangan geser

Perencanaan tulangan geser pada dasarnya dibagi atas beberapa kondisi sebagai berikut :

1. $V_u \leq 0.5 . \phi . V_c$ (Tidak perlu tulangan geser)
2. $0.5 . \phi . V_c < V_u \leq \phi . V_c$ (Tulangan geser minimum)

$$A_v(\min) = \frac{b_w . S}{3 . f_y} ; V_s(\min) = \frac{1}{3} . b_w . d$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

3. $\phi.V_c < V_u \leq \phi(V_c + V_s \text{ min})$ (Tulangan geser minimum)

$$A_v(\text{min}) = \frac{b_w S}{3.f_y} ; V_s(\text{min}) = \frac{1}{3}.b_w.d$$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

4. $\phi(V_c + V_s \text{ min}) < V_u \leq \phi\left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right)$ (Perlu tulangan geser)

5. $\phi.V_{s\text{perlu}} = V_u - \phi.V_c ; V_s = \frac{A_v.f_y.d}{S}$

$$S_{maks} \leq \frac{d}{2} \text{ dan } S_{maks} \leq 600 \text{ mm}$$

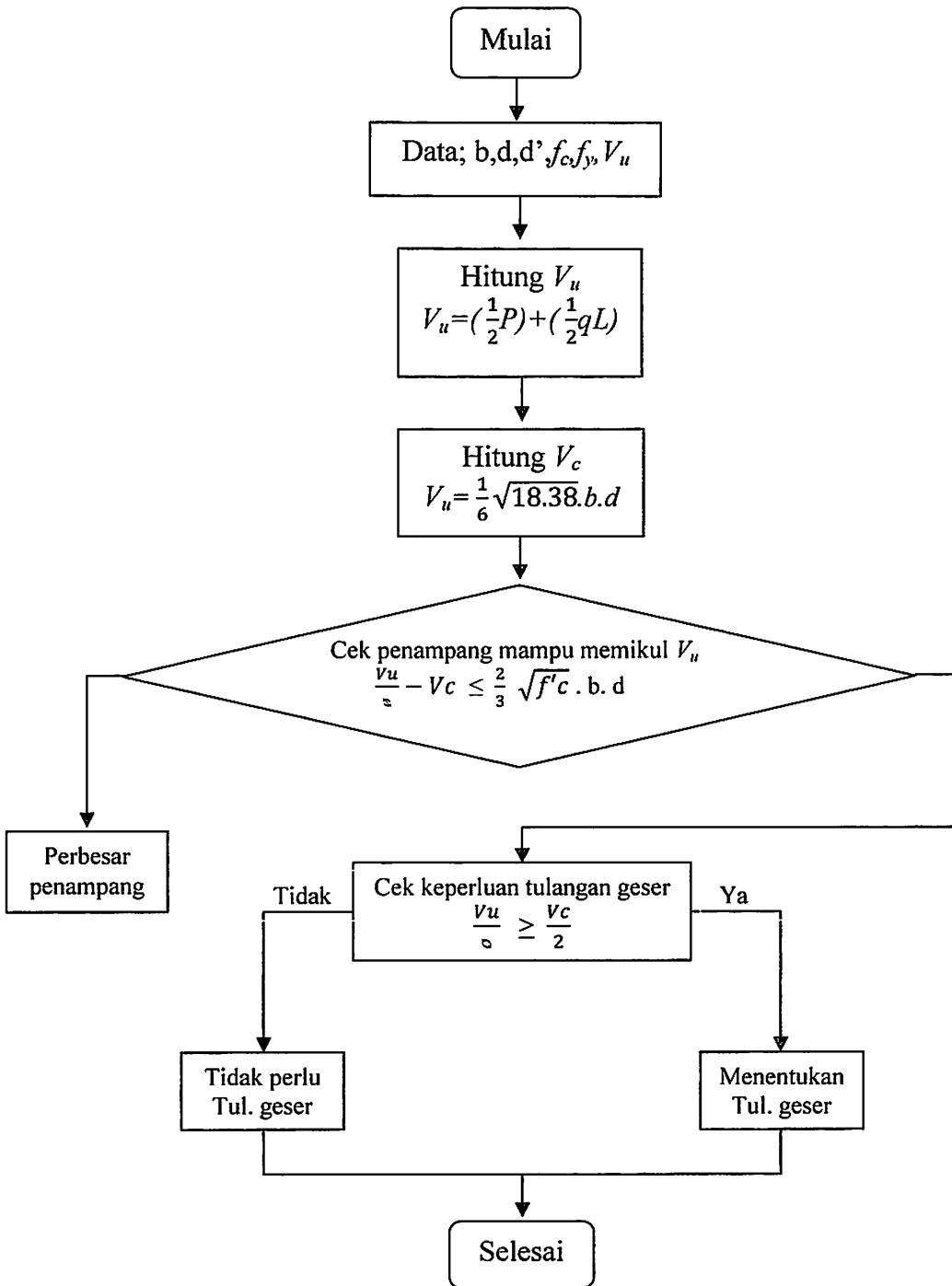
6. $\phi\left(V_c + \frac{1}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right) < V_u \leq \phi\left(V_c + \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d\right)$ (Perlu tulangan geser)

$$\phi.V_{s\text{perlu}} = V_u - \phi.V_c ; V_s = \frac{A_v.f_y.d}{S}$$

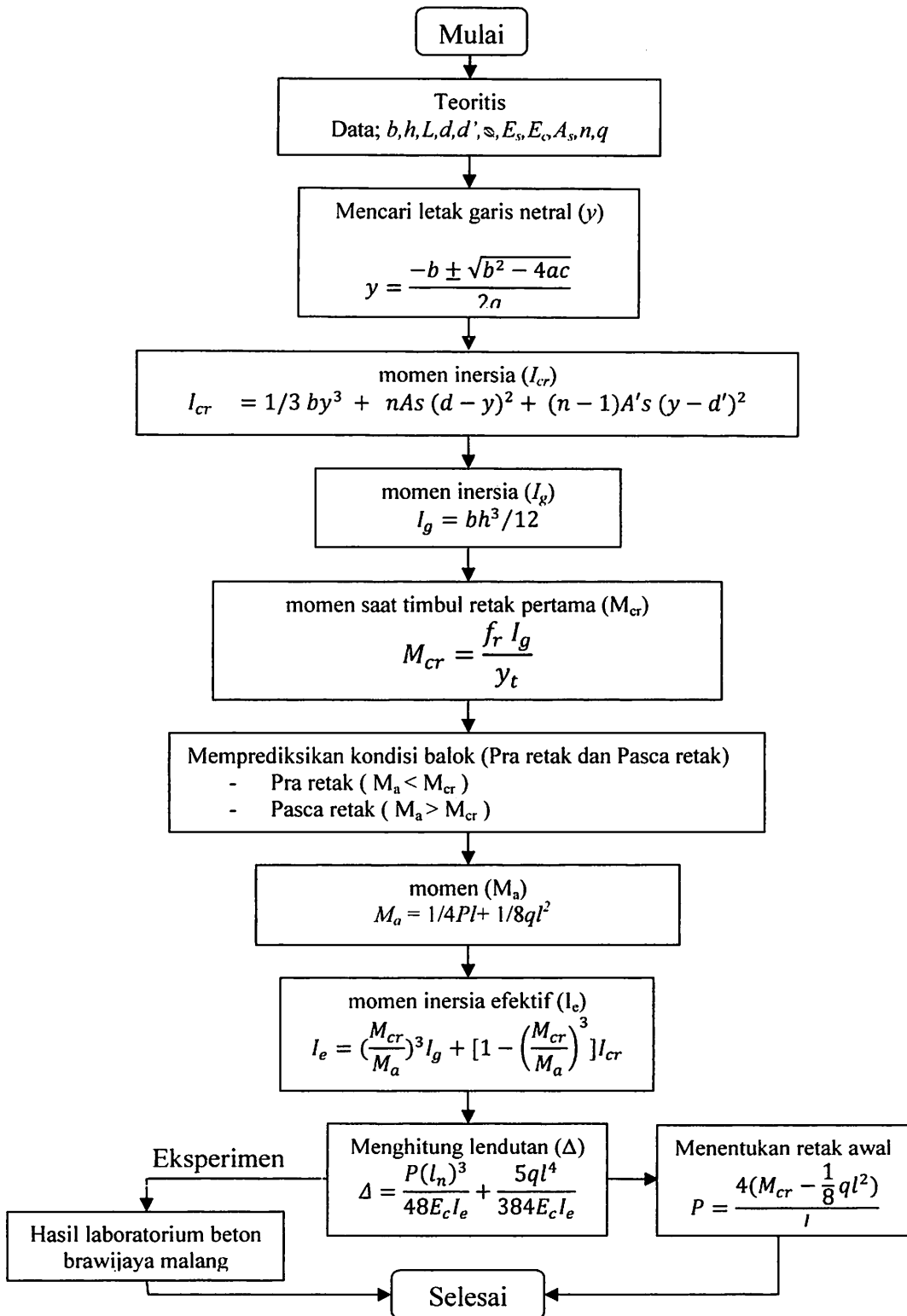
$$S_{maks} \leq \frac{d}{4} ; S_{maks} \leq 300 \text{ mm}$$

7. $V_s > \frac{2}{3}\sqrt{f_c'}.b_w.d$ (Perbesar penampang)

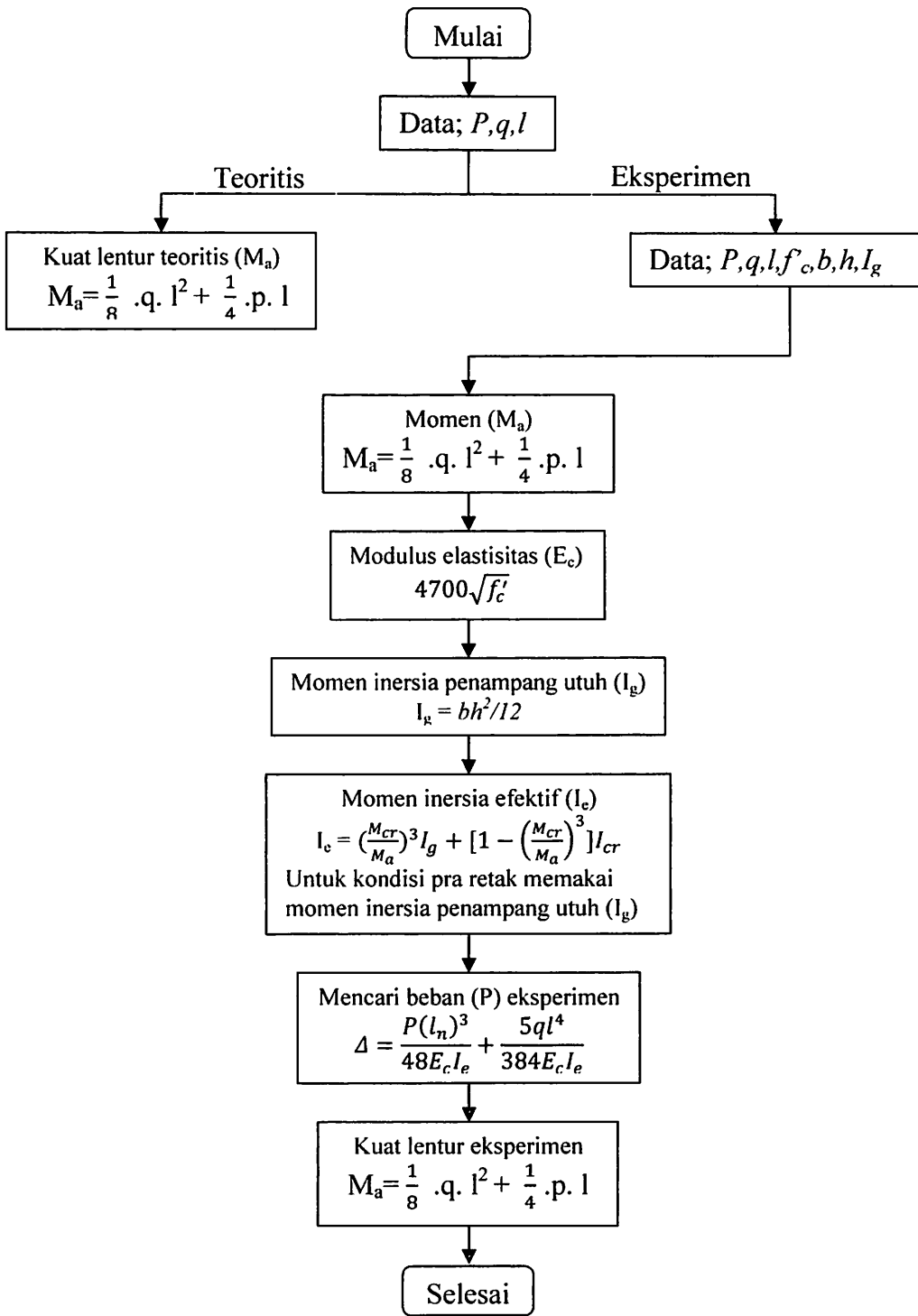
Gambar 2.12. Flow chart perhitungan penulangan geser



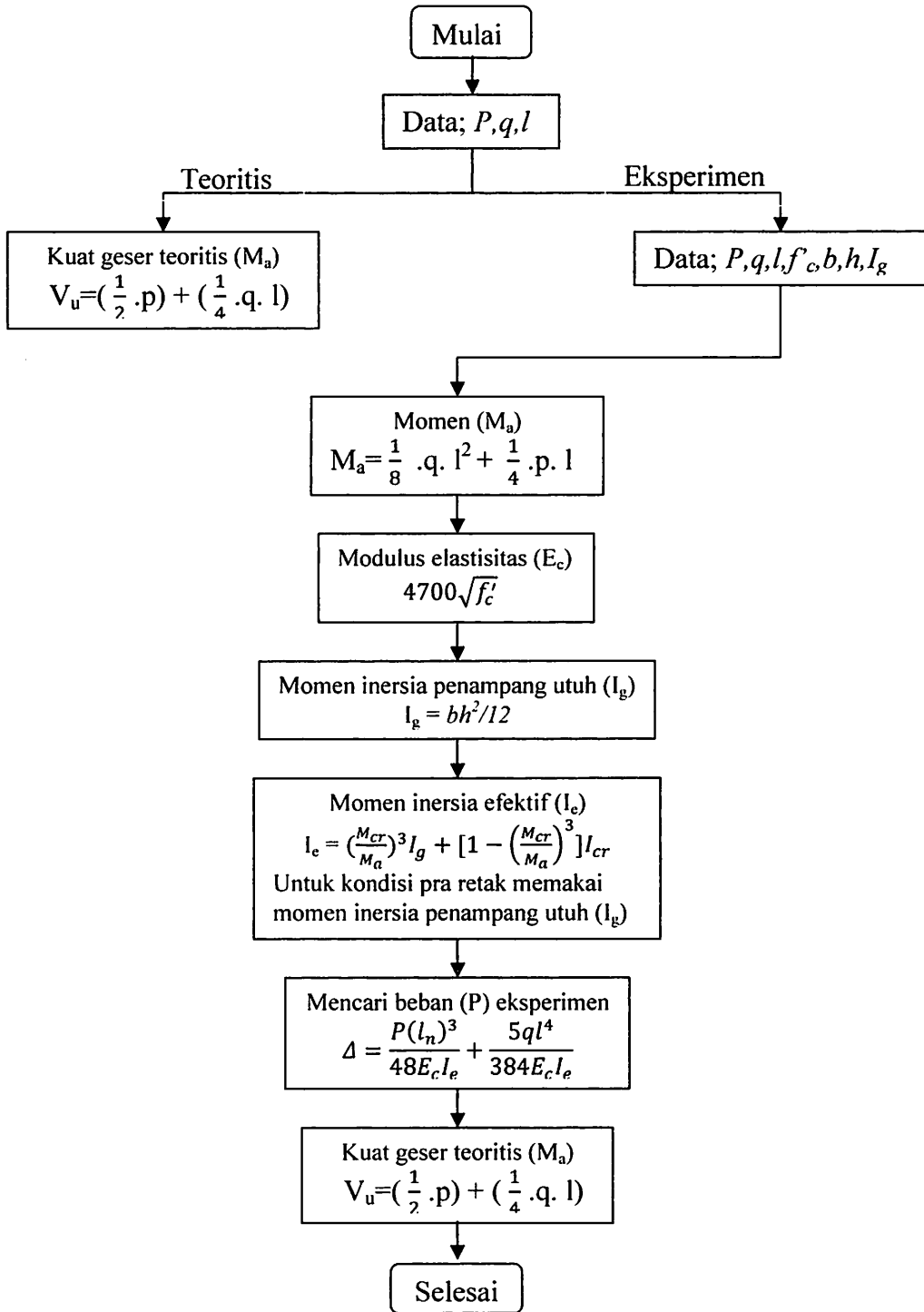
Gambar 2.13. flow chart perhitungan lendutan



Gambar 2.14. flow chart perhitungan kuat lentur



Gambar 2.15. flow chart perhitungan kuat geser



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Parameter Penelitian

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

- a. Balok persegi dengan penampang $b = 100$ mm dan $h = 150$ mm
- b. Panjang balok $L = 2000$ mm
- c. Selimut beton balok = 10 mm.
- d. Kuat tekan beton $f'_c = 18.38$ MPa.
- e. Tulangan geser balok $\varnothing 4.5$ mm
- f. Tulangan longitudinal balok $\varnothing 8$ mm
- g. Pengujian kuat lentur, kuat geser, dan lendutan yang dilakukan pada beton umur 28 hari.
- h. Jarak sengkang disesuaikan dengan SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3.3 :
Sengkang tertutup pertama harus dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka tumpuan. Jarak maksimum antara sengkang tertutup tidak boleh melebihi (a) $d/4$, (b) delapan kali diameter terkecil tulangan memanjang, (c) 24 kali diameter bentang tulangan sengkang tertutup, dan (d) 300 mm.

3.2. Model Analisa

Model analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. Analisa perilaku balok beton bertulang yang tidak disambung.
- b. Analisa perilaku pola retak dan jenis keruntuhan balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/4 bentang" balok dari tumpuan kiri.
- c. Analisa kuat lentur balok beton bertulang yang tidak disambung.
- d. Analisa kuat lentur balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/4 bentang" balok dari tumpuan kiri.
- e. Analisa kuat geser balok beton bertulang yang tidak disambung.
- f. Analisa kuat geser balok beton bertulang yang disambung pada jarak "1/4 bentang" balok dari tumpuan kiri.

3.3. Pengujian di Laboratorium



3.3.1. Spesifikasi Material

Kuat tekan beton diperoleh dengan melakukan pengujian silinder beton berukuran 150 x 300 mm sebanyak 25 buah yang telah berumur 28 hari.

3.3.2. Benda Uji

Pengujian yang telah dilakukan adalah pengujian benda uji silinder beton berukuran 150 x 300 mm, berumur 28 hari dan jumlah benda uji silinder beton sebanyak 25 buah. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat lentur balok dan kuat geser balok berukuran 100 x 150 x 2000 mm sebanyak 15 buah.

3.3.3. Tempat Pengujian Silinder dan Balok

Untuk menguji kuat lentur dan geser balok menggunakan alat pengujian kuat lentur yang ada di laboratorium beton program studi teknik sipil ITN Malang dan laboratorium beton program studi teknik sipil Universitas Brawijaya.

3.3.4. Alat dan Bahan Pengujian

Untuk keperluan penelitian baik analisa pendahuluan maupun percobaan secara keseluruhan diperlukan peralatan dan bahan:

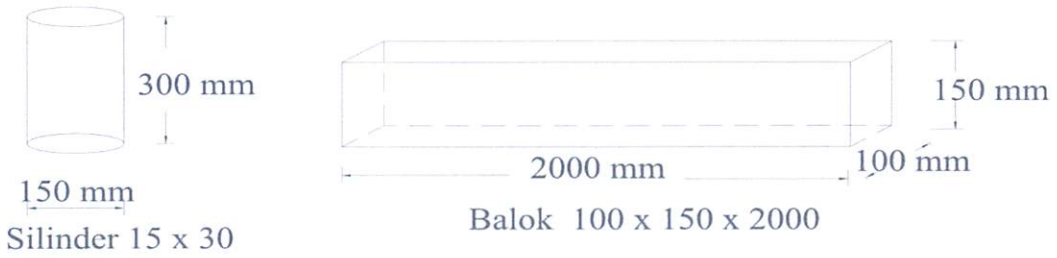
- a. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Semen: Semen Gresik
 2. Agregat halus (pasir): Pasir Lumajang
 3. Agregat kasar (kerikil): batu pecah
 4. Air: PDAM kota Malang.
- b. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Seperangkat saringan.
 2. Peralatan slump tes.
 3. Timbangan kapasitas 20 kg dengan ketelitian 0,1 gram (heavy duty solution balance).
 4. Timbangan kapasitas 2610 gram dengan ketelitian 0,1 gram (triple beam balance).
 5. Neraca.
 6. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
 7. Cetakan persegi panjang dengan ukuran 100x150x2000 mm.

8. Cetakan cilinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300mm.
9. Sekop.
10. Talam dan cawan logam.
11. Gelas ukur 1000 ml.
12. Mesin abrasi los angeles.
13. Mesin pengaduk beton dengan kapasitas 0,05 m³
14. Alat uji tekan beton dengan kapasitas 2000 kN (compressive machine test).
15. Alat uji tarik lentur.
16. Mistar perata (stright edge).
17. Piknometer kapasitas 500 ml.
18. Bak air untuk perendaman perawatan beton (moist curing)
19. Sikat baja halus.
20. Termometer.

3.5. Populasi dan Sample

Populasi dan jumlah sample penelitian terdiri ;

1. Untuk benda uji silinder dibuat 5 buah saat pengecoran balok.
2. Benda uji balok bertulang tanpa disambung dibuat 2 buah benda uji dengan ukuran 100 x 150 mm
3. Ukuran sambungan balok 1/4 bentang dibuat sebanyak 2 buah benda uji.



Gambar 3.1 sketsa pengujian balok dan Selinder

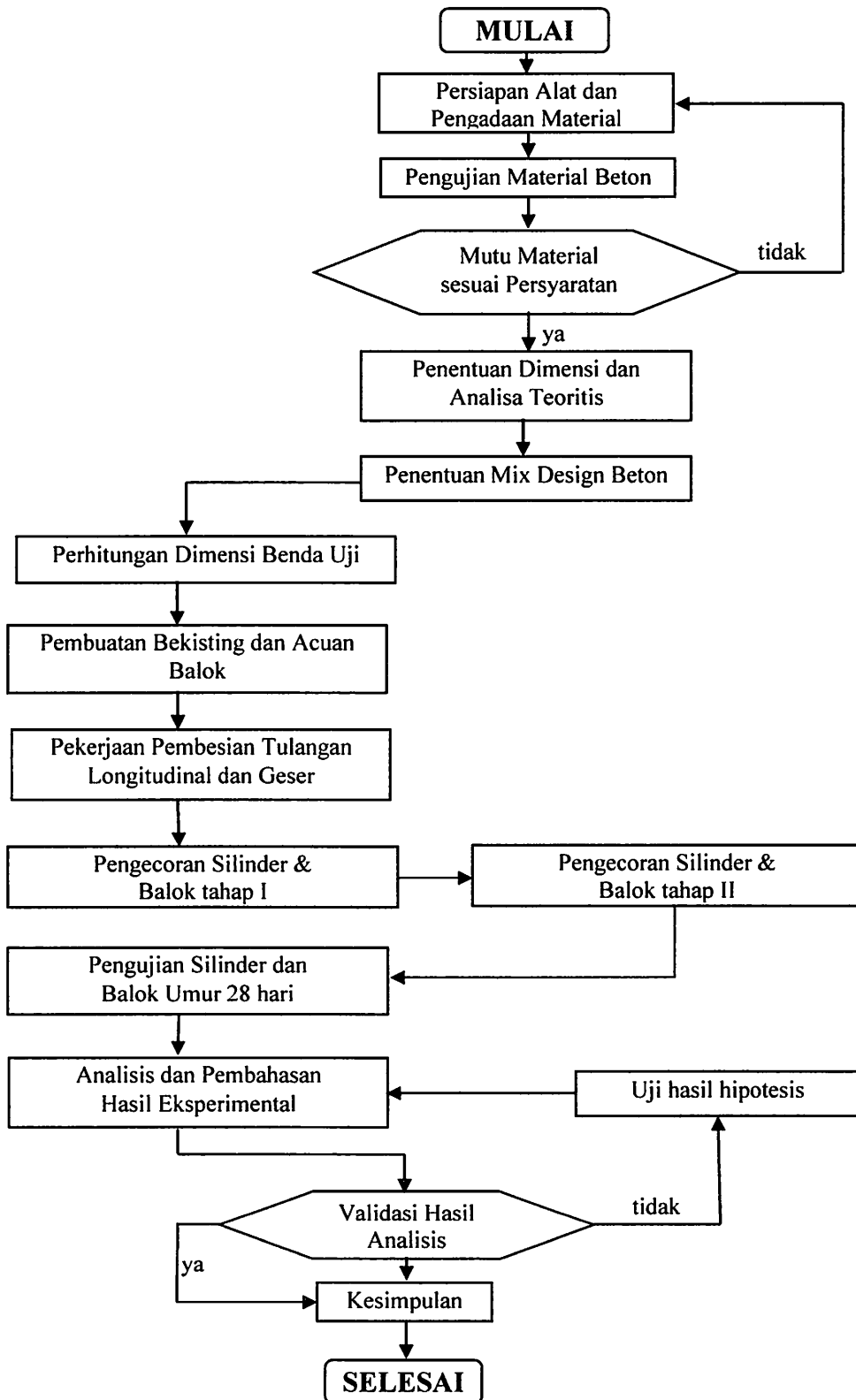


Gambar 3.2 Penulangan pada seperempat jarak sambungan beton



Gambar 3.3 Sketsa proses pengujian lendutan

Gambar 3.4 Bagan alir rencana penelitian



3.6. Umum

Data hasil penelitian dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut :

1. Analisis hasil laboratorium.

Yang terdiri dari ;

- a. Campuran beton
- b. Kuat tekan beton
- c. Kuat tarik baja

2. Analisis teoritis

Yang terdiri dari ;

- a. Kontrol momen
- b. Perhitungan beban

3. Analisis eksperimen

- a. Perilaku retak dan keruntuhan balok beton bertulang.
- b. Kekuatan lentur
- c. Kekuatan geser
- d. Lendutan



3.7. Analisis Hasil Laboratorium

3.7.1. Campuran beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'c = 18$ Mpa dengan pengadukan menggunakan molen. Mix desain diperhitungkan menggunakan SNI 03-2847-2002, S-2002, SNI DT-91-0008-2007 dan ACI - MCP 211.1-91 – 2005 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal.

Dengan menggunakan material Semen Gresik tipe PPC, pasir dari lumajang, kerikil, dan air. Hasil perancangan campuran beton untuk 1 m^3 dengan

komposisi material seperti terlihat pada tabel 4.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

Tabel 3.1 Proporsi campuran beton hasil mix design

No	Material	Volume	Satuan
1	Air	193	Kg/m ³
2	Semen	332,8	Kg/m ³
3	Agregat Kasar	953,4	Kg/m ³
4	Agregat halus	900,8	Kg/m ³

3.7.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standar SNI 03-1974-1990 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Alat uji yang digunakan adalah *Universal Testing Mechine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton ($f'c$) yang akan dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari, dengan rincian ; 1 silinder untuk 1 balok polos (*ada 3 balok polos*) dan 5 silinder untuk 2 balok sambungan. Total ada 8 buah silinder. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh dengan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Kode	Berat	Tinggi	Diameter	Luas silinder	Beban Max	Kuat tekan	
	silinder	(Kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(Mpa)	
1	BTS 1	12.33	300	150	17678.571	350000	19.80	
2	BTS 2	12.06	300	150	17678.571	320000	18.10	
3	BTS 3	12.66	300	150	17678.571	305000	17.25	
4	Rata – rata							18.38
No	Kode	Berat	Tinggi	Diameter	Luas silinder	Beban Max	Kuat tekan	
	silinder	(Kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(Mpa)	
1	1 per 4	12,41	300	150	17678,571	360000	20,36	
2	1 per 4	12,20	300	150	17678,571	315000	17,82	
3	1 per 4	12,25	300	150	17678,571	315000	17,82	
	Rata - rata							18,67

No	Kode	Berat	Tinggi	Diameter	Luas silinder	Beban Max	Kuat tekan	
	silinder	(Kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(Mpa)	
1	1 per 4	11,99	300	150	17678,571	330000	18,67	
2	1 per 4	12,82	300	150	17678,571	320000	18,10	
	Rata - rata							18,38

3.7.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

Berdasarkan pengujian kuat tarik baja yang telah dilakukan, diperoleh data

– data sebagai berikut :

Tabel 3.3 Pemeriksaan mutu baja

No	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 4.5	(mm ²)	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	4.5mm	15.9	8761.2	510.509	550.87	27.733
2	4.5mm	15.9	8903.3	540.394	559.804	17.689

No	Specimen	Luas	Beban max	Tegangan leleh	Tegangan Putus	Regangan
	Ø 8	(mm ²)	(Newton)	(fy) Mpa	(fs) Mpa	(%)
1	8mm	50.27	29591.1	408.256	588.696	144.533
2	8mm	50.27	25891.6	334.95	515.097	144

3.8. Analisis Teoritis

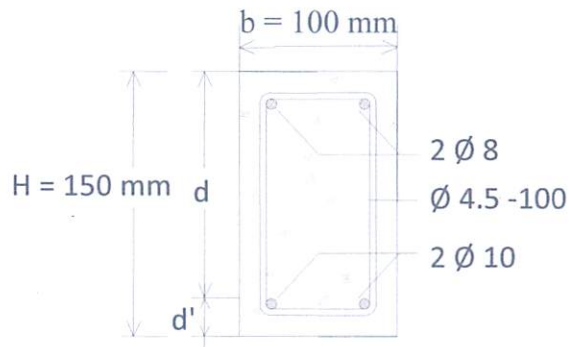
Data yang kami perhitungkan diperoleh dari hasil eksperimen awal yang berupa kuat tarik baja dan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji silinder setiap balok.

Data benda uji :

- Tipe : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 2000 mm
- Mutu beton (f_c') : 18.38 Mpa (hasil kuat tekan)
- Mutu baja $\varnothing 8$ (f_y) : 334,95 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Mutu baja $\varnothing 4.5$ (f_y) : 510,509 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Tulangan pokok : $\varnothing 8$ mm sket 8 mm
- Tulangan sengkang : $\varnothing 4$ mm sket 4.5 mm
- Selimut beton : 10 mm
- Modulus Elastisitas baja (E_s) :
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)

3.8.1. Kontrol Kuat Lentur

Gambar 3.5 Penampang balok normal



• Data perhitungan :

- Tinggi balok : 150 mm
- Lebar balok : 100 mm
- Panjang balok : 2000 mm
- Tebal selimut beton : 10 mm
- Mutu beton (f'_c) : 18.38 Mpa
- Tulangan pokok (f_y) : Ø 8 mm - 334,95 Mpa (hasil uji tarik baja)
- Tulangan sengkang (f_y) : Ø 4.5 mm - 510,509 Mpa (hasil uji tarik baja)
- β_1 : 0.85
- q (beban merata) : $b \times h \times \text{Berat jenis beton}$
 $= 0.1 \times 0.15 \times 2400$
 $= 36 \text{ KN/m}$
 $= 360 \text{ N/m}$
 $= 0.36 \text{ N/mm}$



- $d' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{diameter tulangan tarik}$
- $= 10 + 4.5 + 0.5 \times 8$
- $= 18.5 \text{ mm}$

...

...

...



...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

...

$$\triangleright d = h - d'$$

$$= 150 - 18.5$$

$$= 131.5 \text{ mm}$$

$$\triangleright A_s = A_s' = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 8^2$$

$$= 100.48$$

\triangleright Mencari nilai c

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \times 600$$

$$A_s \cdot f_y = (0.85 c) \cdot b \cdot 0.85 \cdot f_c' + A_s' \cdot \left(\frac{c-d'}{c} \cdot 600\right)$$

$$A_s \cdot f_y \cdot c = 0.85 \cdot c^2 \cdot b \cdot 0.85 \cdot f_c' + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600$$

$$100.48 \times 334.95 c = 0.85 c^2 \times 100 \times 0.85 \times 18.38 + 100.57 \times (c - 18.5) \times 600$$

$$33685.9215 \times c = 1327.955 c^2 + 600 c - 1115328$$

$$0 = 1327.955 c^2 + 33055.78 c - 1115328 : 1327.955$$

$$0 = c^2 + 24.892 c - 839.884$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-24.892 \pm \sqrt{24.892^2 - (4 \times 1 \times (-839.884))}}{2 \times 1}$$

$$c = 20.65 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -40.72 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

➤ Kontrol tulangan tekan

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{c}\right) \times 600$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{18.5}{20.65}\right) \times 600$$

$$= 62.47 \leq 334.95$$

belum leleh $f_s' \leq f_y$

➤ $a = \beta_1 \times c$

$$= 0.85 \times 20.65$$

$$= 17.55 \text{ mm}$$

➤ $C_c = a \times b \times (0.85 \times f_c')$

$$= 17.55 \times 100 \times (0.85 \times 18.38)$$

$$= 27422.494 \text{ N}$$

➤ $C_s = A_s' \times f_s'$

$$= 100.48 \times 62.47$$

$$= 6277.398 \text{ N}$$

➤ $T_s = A_s \times f_y$

$$= 100.48 \times 334.95$$

$$= 33655.776 \text{ N}$$

➤ $Z_1 = d - \frac{a}{2} = 131.5 - \frac{17.55}{2} = 122.724 \text{ mm}$

➤ $Z_2 = d - d' = 131.5 - 18.5 = 113 \text{ mm}$

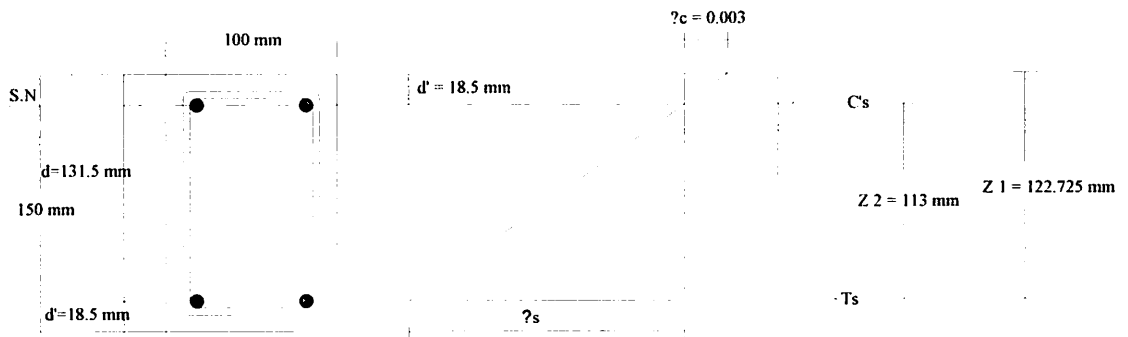
➤ $M_n = (C_c \times Z_1) + (C_s \times Z_2)$

$$= (27418.365 \times 122.725) + (6282.608 \times 113)$$

$$= 4074735.302 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 \triangleright M_n &= \frac{1}{4} \cdot p \cdot L + \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 \\
 4074735.302 &= \frac{1}{4} \cdot p \cdot 2000 + \frac{1}{8} \cdot 0,36 \cdot 2000^2 \\
 4074735.302 &= 500 \cdot p + 180000 \\
 500 p &= 4074735.302 - 180000 \\
 500p &= 3894735.302 \\
 p &= 7789.471 \text{ N} \\
 &= 778.9471 \text{ Kg} \\
 &= 0.7798471 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Gambar 3.6 Diagram regangan dan tegangan balok normal



Tabel 3.4 hasil analisa teoritis untuk pembebanan maksimum.

No	Benda uji	Mn (Nmm)	a (mm)	b (mm)	L (mm)	q (Nmm)	Pmaks (Ton)
1	BTS	4074735.302	17,55	100	2000	0,36	0.7798471

3.8.2. Penulangan Geser

Data Perhitungan:

$$V_u = \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l\right) \times 125\%$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$d = 131.5 \text{ mm}$$

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$f'_c = 18.38 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 510, 509 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ min} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{18,38} \times 100 \times 113.5 \\ &= 18792,18 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{18,38} \times 100 \times 113.5 \\ &= 37584,3676 \text{ N} \end{aligned}$$

$V_s \text{ min} < V_s \text{ max}$, Jadi dimensi balok yang dipakai 100/150

Kuat Geser Nominal (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 9396,02 \text{ N} + 37584,3676 \text{ N} \\ &= 46980,46 \text{ N} \end{aligned}$$

Kapasitas geser yang dapat dipikul beton (V_c)

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{18,38} \times 100 \times 131,5 \\ &= 9396,092 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \times \emptyset \times V_c &= \frac{1}{2} \times 0,6 \times (9396,092) \\ &= 2818,828 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Karena } V_u &\geq \frac{1}{2} \times \emptyset \times V_c \\ 4254,735 \text{ N} &\geq 2818,828 \text{ N}\end{aligned}$$



Maka diperlukan tulangan geser

Menentukan Tulangan Geser

$$V_s = 37584,3676 \text{ N}$$

Nilai V_s harus lebih kecil dari $\frac{2x\sqrt{f'c'}}{3} \times b \times d$

$$\frac{2x\sqrt{18,38}}{3} \times 100 \times 131,5 = 37584,37 \text{ N}$$

$$\frac{2x\sqrt{f'c'}}{3} \times b \times d > V_s \rightarrow (\text{OK})$$

Dicoba dipakai sengkang $\emptyset 4,5 \text{ mm}$ ($A_s = 0,158 \text{ cm}^2$)

$$A_v = 2 \times A_s =$$

$$2 \times 0,158 = 0,318 \text{ cm}^2 = 31,8 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang vertical :

$$V_n = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$46980,46 \text{ N} = \frac{31,8 \times 510,509 \times 131,5}{s}$$

$$S = 45,429 \text{ mm}$$

$$1/3 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f' c} =$$

$$1/3 \times 100 \times 131.5 \times \sqrt{18.38} = 18792,18 \text{ N}$$

$$46980,46 \text{ N} > 18792,18 \text{ N}$$

jarak sengkang maksimum adalah $d/2 = 131.5/2 = 65.75 \text{ mm}$

Di pasang sengkang $\varnothing 4.5 \text{ mm}$ dengan jarak 65 mm ($\varnothing 4.5 - 65 \text{ mm}$)

3.8.3. Perhitungan Lendutan

1. Akibat beban teoritis

a. Letak garis netral penampang transformasi (y)

Data perhitungan :

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{Tul. sengkang}} = 4.5 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

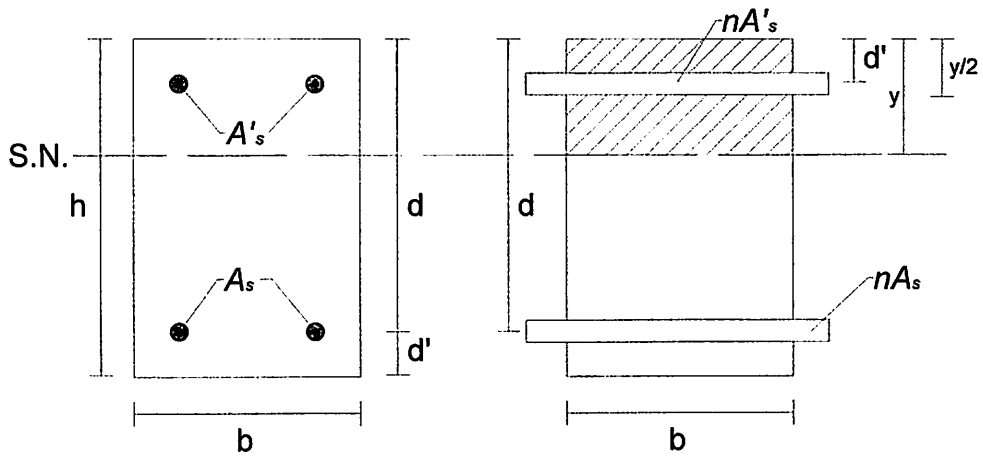
$$\varnothing_{\text{Tul. utama}} = 8 \text{ mm}$$

$$d_{\text{selimut}} = 10 \text{ mm}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

- Balok Tanpa Sambungan

Gambar 3.7 Penampang transformasi balok tanpa sambungan



$$A_s / A'_s = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 100.48 \text{ mm}^2$$

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

$$= 10 + 4.5 + \frac{1}{2}(8) = 18.5 \text{ mm}$$

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

$$= 150 - 10 - 4.5 - \frac{1}{2}(8) = 131.5 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$\frac{nAsd + nAs'd' + by(1/2y)}{by + nAs + nAs'} = y$$

$$nAsd + nAs'd' + by(1/2y) = by^2 + nAsy + nAs'y$$

$$\frac{1}{2}by^2 + nAs'y - nAs'd' - nAsd + nAsy = 0$$

Maka :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{18.38} = 20149.794 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{20149.794} = 9.926$$

$$\frac{1}{2}(100)c^2 + 9.926 \times 100.48 c - 9.926 \times 100.48 \times 18.5 - 9.926 \times 100.48 \times$$

$$131.5 + 9.926 \times 100.48 \times c = 0$$

$$50c^2 + 998.257c - 18467.76967 - 131270.9033 + 998.257c = 0$$

$$\frac{50c^2 + 1996.661c - 112698.323 = 0}{c^2 + 39.893c - 2253.966 = 0} : 50$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-39.89 \pm \sqrt{39.89^2 - (4 \times 1 \times (-2253.966))}}{2 \times 1}$$

$$c = 31.549 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -71.443 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

b. Momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

Data perhitungan :

$$A_g/A'_s = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 100.48 \text{ mm}^2$$

$$d' = d_{selimut} + \emptyset_{Tul. \text{ sengkang}} + \frac{1}{2}\emptyset_{Tul. \text{ utama}}$$

$$= 10 + 4.5 + \frac{1}{2}(8) = 18.5 \text{ mm}$$

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

$$= 150 - 10 - 4.5 - \frac{1}{2}(8) = 131.5 \text{ mm}$$

Perhitungan momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr}) balok normal di hitung dengan rumus :

- Untuk balok beton Tanpa sambungan

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

$$= \frac{1}{3} x 100 x 31.549^3 + 9.926 x 100.48 x (131.5 - 31.549)^2$$

$$+ (9.926 - 1) x 100.48 x (31.549 - 18.5)^2$$

$$= 11162949.21 \text{ mm}^4$$

Hasil perhitungan selanjutnya di tabelkan sebagai berikut:

Tabel 3.5 Hasil analisa momen inersia penampang retak (I_{cr})

No	Benda uji	n	As (mm ²)	$A's$ (mm ²)	b (m)	d (mm)	d' (m)	c (mm)	I_{cr} (mm ⁴)
1	BTS	9.926	100.48	100.48	100	131.5	18.5	31.549	11162949.21

c. Momen inersia penampang utuh (I_g)

Karena ukuran penampang semua balok adalah sama, maka nilai momen inersia penampang utuh adalah :

$$I_g = bh^3/12$$

Dimana :

$$b = 100 \text{ mm} , h = 150 \text{ mm}$$

maka :

$$I_g = 1/12 x 100 x 150^3$$

$$I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

d. Momen saat timbul retak pertama kali (M_{cr})

Momen retak dihitung berdasarkan rumus :

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

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c} = 3.001 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 100 \times 150^3 / 12 = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

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

$$M_{cr} = \frac{3.001 \times 28125000}{75}$$

$$= 1125387.433 \text{ Nmm}$$



Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.6 Hasil analisa momen retak (M_{cr})

No	Benda uji	f'_c (MPa)	f_r (MPa)	I_g (mm ⁴)	h (mm)	Y_t (mm)	M_{cr} (Nmm)
1	BTS	18.38	3.001	28125000	150	75	1125387.433

e. Momen inersia efektif (I_e)

Momen inersia efektif dihitung berdasarkan rumus :

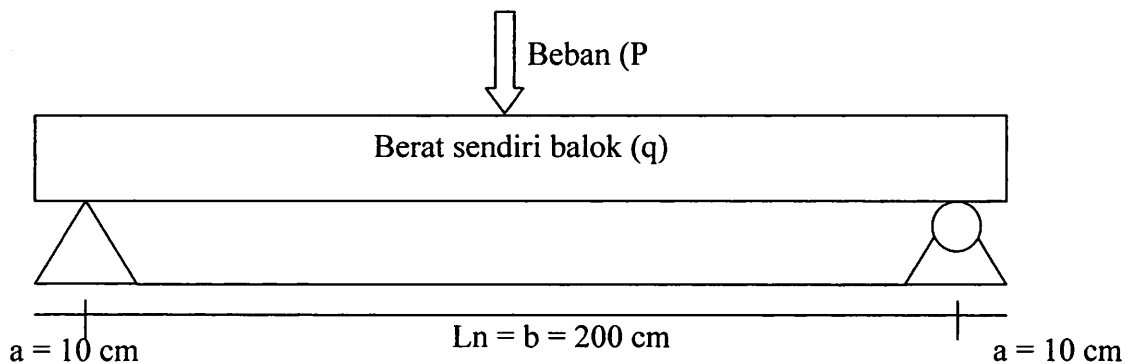
$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$$

Dimana, pembebanan yang bekerja adalah beban sendiri serta beban terpusat dan diprediksi balok telah mengalami retak ($M_a > M_{cr}$). Untuk momen beban terbagi rata, karena panjang overstick lebih kecil dari tinggi balok, maka kondisi overstick diabaikan. Digunakan kondisi tanpa overstick. Sehingga nilai M_a adalah :

$$M_a = 1/4Pl + 1/8ql^2$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 4.6 pada kolom ke 10. Beban eksperimen

Gambar 3.8 Sketsa penempatan balok



a. Balok Tanpa sambungan (BTS)

Data perhitungan :

$$E_c = 20149.794 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1125387.433 \text{ N/mm}$$

$$I_{cr} = 11162949.21 \text{ mm}^4$$

$$I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$q = 0.36 \text{ N/mm}$$

$$l/b = 2000 \text{ mm}$$

Dengan prediksi balok mengalami dua kondisi yaitu kondisi praretak dan kondisi pasca retak. Maka, untuk hitunganya adalah :

Untuk kondisi praretak ($M_a < M_{cr}$)

$$P = 50 \text{ kg} = 50 \times 10 \text{ N} = 500 \text{ N}$$

maka :

$$M_a = (1/4 \times P l) + (1/8 \times q l^2)$$

$$M_a = \left(\frac{1}{4} \times 500 \times 2000\right) + \left(\frac{1}{8} \times (0.36) \times 2000^2\right)$$

$$M_a = 250000 + 180000$$

$$M_a = 430000 \text{ N/mm}$$

$$= 430000 \text{ N/mm} < M_{cr} = 1125387.433 \text{ N/mm}$$

$$I_e = I_g = 28125000 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

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

$$= \frac{500 \times (2000)^3}{48 \times 20149.794 \times 28125000} + \frac{5 \times 0.36 \times (2000)^4}{384 \times 20149.794 \times 28125000}$$

$$= 0.147 + 0.132 = 0.28 \text{ mm}$$

Untuk kondisi pascaretak ($M_a > M_{cr}$)

$$P = 200 \text{ kg} = 200 \times 10 = 2000 \text{ N}$$

maka :

$$M_a = (1/4 \times P l) + (1/8 \times q l^2)$$

$$= (1/4 \times 2000 \times 2000) + (1/8 \times (0.36) \times 2000^2)$$

$$= 1000000 + 180000 = 1406250 \text{ N/mm} > M_{cr} = 1180000 \text{ N/mm}$$

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

$$I_e = \left(\frac{1125387.433}{1180000}\right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1125387.433}{1180000}\right)^3\right] \times 11162949.21$$

$$I_e = 25877212.44 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e} \\ &= \frac{2000 \times (2000^3)}{48 \times 20149.794 \times 2812500} + \frac{5 \times 0.36 \times (2000)^4}{384 \times 20149.794 \times 2812500} \\ &= 0.6393 + 0.188 = 0.783 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya kami tampilkan dalam bentuk tabel pada tabel 3.8 dan hubungan antara beban-lendutannya kami tampilkan dalam gambar 3.9.

Tabel 3.7 Hasil analisa teoritis lendutan (Δ)

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	l (mm)	M (Nmm)	M _{cr} (Nmm)	I _{cr} (mm ⁴)	I _g (mm ⁴)	I _e (mm ⁴)	E _c (Mpa)	Δ (mm)
1	0	0	0.36	2000	180000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	28125000.00	20149.79	0.13
2	50	500	0.36	2000	430000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	28125000.00	20149.79	0.28
3	100	1000	0.36	2000	680000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	28125000.00	20149.79	0.43
4	150	1500	0.36	2000	930000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	28125000.00	20149.79	0.57
Retak awal	200	2000	0.36	2000	1180000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	28125000.00	20149.79	0.72
5	250	2500	0.36	2000	1430000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	19430491.61	20149.79	1.26
6	300	3000	0.36	2000	1680000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	16261616.79	20149.79	1.75
7	350	3500	0.36	2000	1930000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	14525838.86	20149.79	2.25
8	400	4000	0.36	2000	2180000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	13496488.21	20149.79	2.73
9	450	4500	0.36	2000	2430000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	12847816.59	20149.79	3.19
10	500	5000	0.36	2000	2680000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	12418921.80	20149.79	3.63
11	550	5500	0.36	2000	2930000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	12124078.22	20149.79	4.06
12	600	6000	0.36	2000	3180000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	11914750.71	20149.79	4.48
13	650	6500	0.36	2000	3430000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	11762053.16	20149.79	4.89
14	700	7000	0.36	2000	3680000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	11648060.17	20149.79	5.29
15	750	7500	0.36	2000	3930000.00	1125387.43	11162949.21	28125000	11561246.08	20149.79	5.69
16	778.94706	7789.47	0.36	2000	4074735.30	1125387.43	11162949.21	28125000	11520293.09	20149.79	5.92

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.7

➤ Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

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

➤ Kolom 3

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

➤ Kolom 4

Beban merata 10/15 (q) N/mm

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

$$q = b \times h \times 2400$$

dimana : $b = \text{lebar balok (mm)}$

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

$1. = \text{berat beton normal (Kg/m}^3\text{)}$

➤ Kolom 5

Panjang Balok (L) mm

➤ Kolom 6

Momen (M) 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 = Beban merata (N/mm)

P = Beban Terpusat (N)

l = Panjang Balok (mm)

➤ Kolom 7

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

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

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f_c'} = 3.001 \text{ Mpa}$$

$$I_g = 100 \times 150^3 / 12 = 28125000 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

f_r = Modulus keruntuhan lentur beton (Mpa)

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

$Y_t =$ Jarak dari pusat penampang bruto dengan mengabaikan keberadaan tulangan, ke seerat tarik terluar (mm)

$h =$ Tinggi balok (mm)

➤ Kolom 8

Momen inersia penampang retak transformasi (I_{cr}) mm⁴

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

➤ Kolom 9

Momen inersia penampang utuh (I_g) mm⁴

$$I_g = bh^3/12$$

Dimana: $b =$ lebar balok (mm)

$h =$ tebal balo (mm)

➤ Kolom 10

Momen inersia efektif (I_e) mm⁴ (Nomor urut 1 s/d 4)

Nilainya diambil dari I_g , karena penampang masih dalam keadaan utuh.

Momen inersia efektif (I_e) mm⁴ (Nomor urut 5 s/d 18)

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

Dimana :

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

M = Momen (Nmm)

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

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

➤ Kolom 11

Modulus Elastisitas Beton (E_c) MPa

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

Dimana : f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

Kolom 12

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

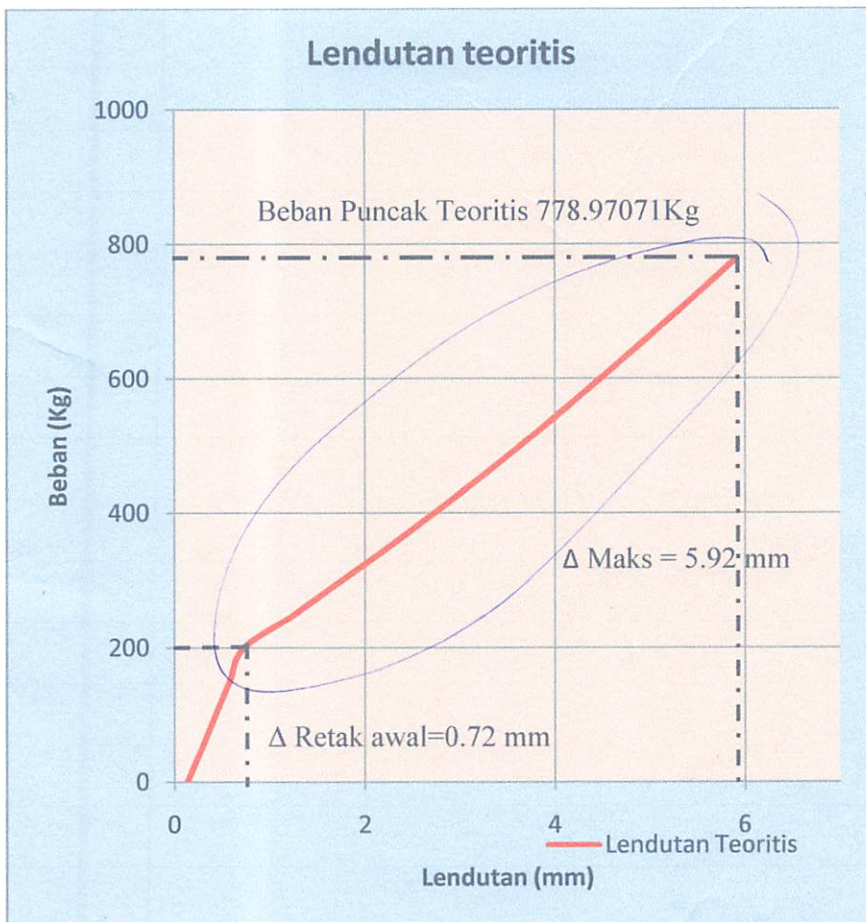
$$\Delta = \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$

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

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

- Dimana Δ = Lendutan (mm)
- P = Beban terpusat (Kg)
- l_n = Panjang balok (mm)
- E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)
- I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan Lendutan
- q = Berat merata balok 10/15 (N/mm)

Grafik 3.1 hubungan beban – lendutan teoritis



Kurva beban - lendutan balok beton yang terlihat pada grafik 3.1 di atas adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.8 yaitu angka-angka pada kolom 12 untuk arah

horizontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban). Sedangkan terlihat pada beban (P) 200 Kg, terjadi retak pertama pada balok beton.

3.8.4 Perhitungan Kekuatan Lentur

Balok teoritis

Data perencanaan : Panjang balok (l) = 2000 mm

Beban merata 10/15 (q) = 0.36 N/mm

$$\begin{aligned}
 M_2 &= \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\
 &= \frac{1}{8} \times 0.36 \times 2000^2 + \frac{1}{4} \times 500 \times 2000 \\
 &= 430000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 3.9*.

Tabel 3.8 Kuat Lentur Teoritis

No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	l (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Δ (mm)
1	0	0	0.36	2000	180000.00	0.13
2	50	500	0.36	2000	430000.00	0.28
3	100	1000	0.36	2000	680000.00	0.43
4	150	1500	0.36	2000	930000.00	0.57
Retak awal	200	2000	0.36	2000	1180000.00	0.72
5	250	2500	0.36	2000	1430000.00	1.26
6	300	3000	0.36	2000	1680000.00	1.75
7	350	3500	0.36	2000	1930000.00	2.25
8	400	4000	0.36	2000	2180000.00	2.73
9	450	4500	0.36	2000	2430000.00	3.19
10	500	5000	0.36	2000	2680000.00	3.63
11	550	5500	0.36	2000	2930000.00	4.06
12	600	6000	0.36	2000	3180000.00	4.48
13	650	6500	0.36	2000	3430000.00	4.89
14	700	7000	0.36	2000	3680000.00	5.29
15	750	7500	0.36	2000	3930000.00	5.69
16	778.94706	7789.47	0.36	2000	4074735.30	5.92

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 3.8

Kolom 1

Nomor urut.

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban merata (q) Kg/mm

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

dimana : b = Lebar balok (mm)

h = Tebal balok (mm)

➤ Kolom 4

Panjang balok (l) mm

➤ Kolom 5

Kuat Lentur (M) Kgmm

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

Dimana: q = Beban merata (Kg/mm)

l = Panjang balok (mm)

P = Beban terpusat (Kg)

➤ Kolom 6

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

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

Dimana Δ = Lendutan (mm)



P = Beban terpusat (Kg)

l_n = Panjang balok (mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

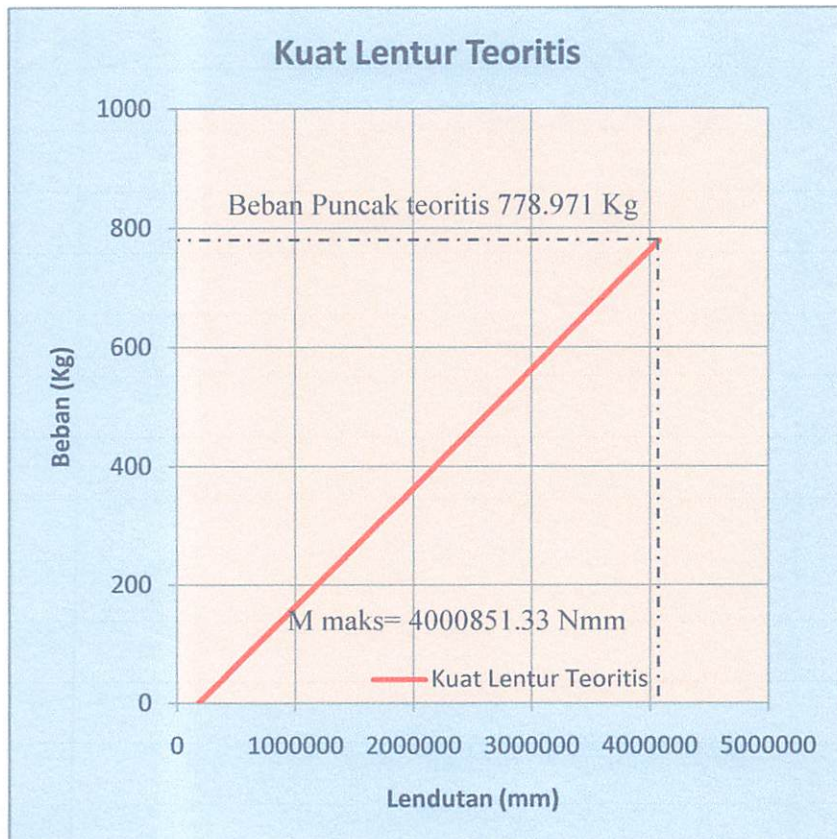
I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan

Lendutan

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

Kurva momen - lendutan balok beton yang terlihat pada grafik 3.2 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.9 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 5 untuk arah vertikal (Kuat lentur).

Grafik 3.2. Hubungan Beban – Kuat lentur teoritis



3.8.5. Perhitungan Kekuatan Geser (Vu)

Data perencanaan : Panjang balok (l) = 2000 mm

Beban merata 10/15 (q) = 0.36 N/mm

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 500 + \frac{1}{2} \times 0.36 \times 2000 \\ &= 1138.947 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 3.10*.

Tabel 3.9 *Kuat Geser Teoritis*

No	Beban (Kg)	Beban (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (N)	Δ (mm)
1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0.36	2000	360.00	0.13
2	50	500	0.36	2000	610.00	0.28
3	100	1000	0.36	2000	860.00	0.43
4	150	1500	0.36	2000	1110.00	0.57
5	200	2000	0.36	2000	1360.00	0.72
6	250	2500	0.36	2000	1610.00	1.26
7	300	3000	0.36	2000	1860.00	1.75
8	350	3500	0.36	2000	2110.00	2.25
9	400	4000	0.36	2000	2360.00	2.73
10	450	4500	0.36	2000	2610.00	3.19
11	500	5000	0.36	2000	2860.00	3.63
12	550	5500	0.36	2000	3110.00	4.06
13	600	6000	0.36	2000	3360.00	4.48
14	650	6500	0.36	2000	3610.00	4.89
15	700	7000	0.36	2000	3860.00	5.29
16	750	7500	0.36	2000	4110.00	5.69
17	778.971	7789.47	0.36	2000	4254.74	5.92

pengisian kolom pada Tabel 3.9

- Kolom 1

No urut

- Kolom 2

Beban (P) Kg



- Kolom 3

Beban merata (q) Kg/mm

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

- Kolom 4

Panjang balok (l) mm

- Kolom 5

Kuat geser balok (Vu) Kg

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

Dimana P = Beban terpusat (Kg)

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

- Kolom 6

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

$$\Delta = \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5ql^4}{384E_cI_e}$$
A handwritten blue circle is drawn around the entire formula. There are several checkmarks (✓) scattered around the formula, indicating it is correct.

Dimana Δ = Lendutan (mm)

P = Beban terpusat (Kg)

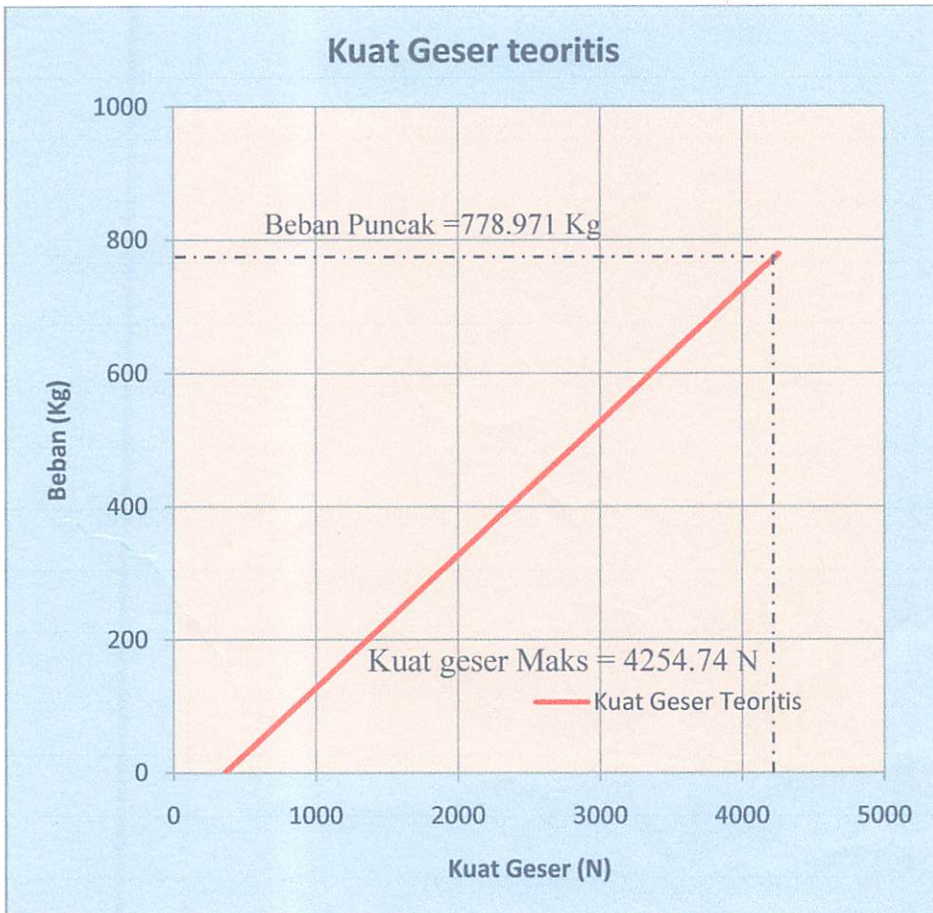
ln = Panjang balok (mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan
Lendutan

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

Grafik 3.3 hubungan Beban- Kuat Geser teoritis



Kurva geser - lendutan balok beton yang terlihat pada Gambar 3.11 di atas ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 3.10 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 5 untuk arah vertikal (Kuat geser).

3.8.6. Retak awal

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

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

Dimana : M_{cr} = Momen saat timbul retak pertama kali (Nmm)

p = Beban terpusat (N)

l = Panjang balok (mm)

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

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

$$M_{cr} = 1125387.433 \text{ Nmm} \quad l_n = 2000 \text{ mm} \quad q = 0.36 \text{ N/mm}$$

maka :

$$\begin{aligned} P &= 4 \times (M_{cr} - 1/8ql^2)/l_n \\ &= (4 \times (1125387.433 - (1/8 \times (0.36) \times 2000^2)))/2000 \\ &= 1962 \text{ N} \end{aligned}$$

Pada keseluruhan balok, secara teoritis retak awal terjadi pada saat beban yang bekerja sebesar 1962 N.

Perhitungan 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 :

$$\begin{aligned} b &= 100 \text{ mm} & \emptyset_{\text{Tul. utama}} &= 8 \text{ mm} \\ h &= 150 \text{ mm} & \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} &= 4,5 \text{ mm} \\ f_y &= 334,95 \text{ MPa} & d_{\text{selimut}} &= 10 \text{ mm} \\ c &= 20,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 150 - 10 - 4,5 - \frac{1}{2}(8) = 131,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ &= 10 + 4,5 + \frac{1}{2}(8) = 18,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f_s = 60\% f_y = 60\% (334,95) = 200,97 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \beta &= (h-c)/(d-c) \\ &= (150 - 20,65) / (131,5 - 20,65) \\ &= 1,167 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

Dimana :

$$hr = 2d_c = 2 \times 18,5 = 37 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 2 buah

$$A = \frac{100 \times 37}{2} = 1850 \text{ mm}^2$$

maka analisis teoritis retak

$$\begin{aligned}\omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot \beta \cdot f_s \cdot \sqrt[3]{d_c \cdot A} \\ &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,167 \cdot 200,97 \cdot \sqrt[3]{18,5 \cdot 1850} \\ &= 0,0838 \text{ mm}\end{aligned}$$

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Eksperimen

4.1.1. Balok Tanpa Sambungan (BTS)

1. Balok Tanpa Sambungan A

Mekanisme keruntuhan balok polos BTS-A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=200$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0.91$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1100$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9.08$ mm. Seperti terlihat dalam Gambar 4.2, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1100$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1060$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 10.59$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada gambar 4.1.

Tabel 4.1 Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan A (BTS-A)

Benda uji		: BTS-A	
Tanggal pengujian		: 11/2/2013	
Tul. Tekan		: 2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0.00
2	50	15	0.21
3	100	32	0.32
4	150	45	0.45

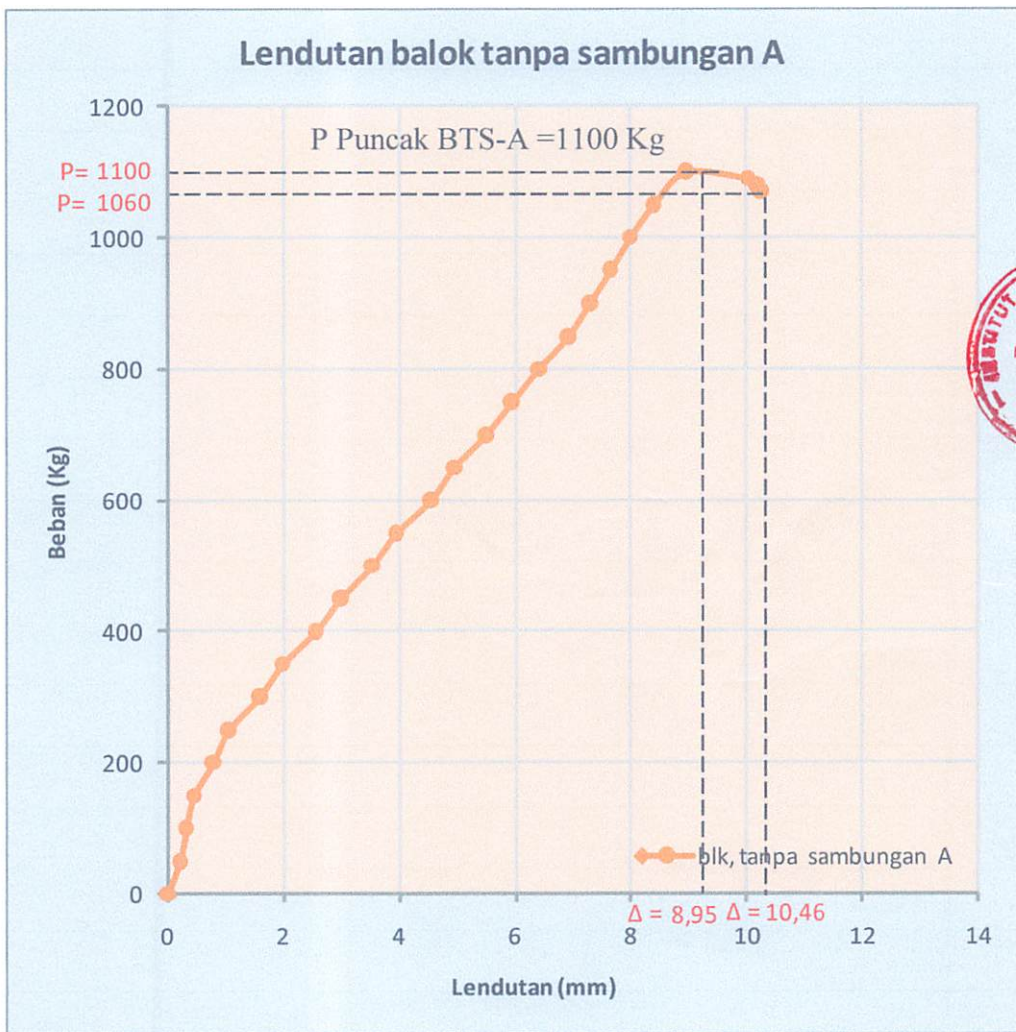
5	200	62	0.62
6	250	105	1.05
7	300	158	1.58
8	350	198	1.98
9	400	255	2.55
10	450	298	2.98
11	500	352	3.52
12	550	395	3.95
13	600	454	4.54
15	700	549	4.94
16	750	594	5.49
17	800	640	5.94
18	850	692	6.40
19	900	728	6.92
20	950	765	7.28
21	1000	798	7.65
22	1050	839	7.98
23	1100	895	8.39
24	1090	1002	8.95
25	1080	1017	10.02
26	1070	1024	10.17
27	1060	1046	10.24

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

Hubungan beban - lendutan balok tanpa sambungan A yang terlihat pada grafik 4.1 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.1 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

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



Kurva beban-lendutan Balok beton bertulang tanpa sambungan (BTS-A) yang terlihat pada Grafik 4.1 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang

digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.1 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

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



Gambar diatas diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1100$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1060$ Kg.

2. Balok Tanpa Sambungan B (BTS-B)

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan BTS-B diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=100$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0.38$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1070$ Kg

dengan besar defleksi $\Delta = 9.99 \text{ mm}$. Seperti terlihat dalam Gambar 4.4, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1070 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 11.78 \text{ mm}$. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan B (BTS-B)

Benda uji		BTS-B	
Tanggal pengujian		11/2/2013	
Tul. Tekan		2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0.00
2	50	24	0.24
3	100	38	0.38
4	150	68	0.68
5	200	84	0.84
6	250	132	1.32
7	300	179	1.79
8	350	225	2.25
9	400	275	2.75
10	450	328	3.28
11	500	372	3.72
12	550	424	4.24
13	600	465	4.65
14	650	525	5.25
15	700	580	5.80
16	750	625	6.25
17	800	660	6.60
18	850	722	7.22
19	900	749	7.49
20	950	799	7.99
21	1000	839	8.39

22	1050	869	8.69
23	1070	999	9.99
24	1020	1119	11.19
25	1000	1142	11.42
26	960	1178	11.78

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

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

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

Dimana Δ = Lendutan (mm)

l = Panjang balok (mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan Lendutan

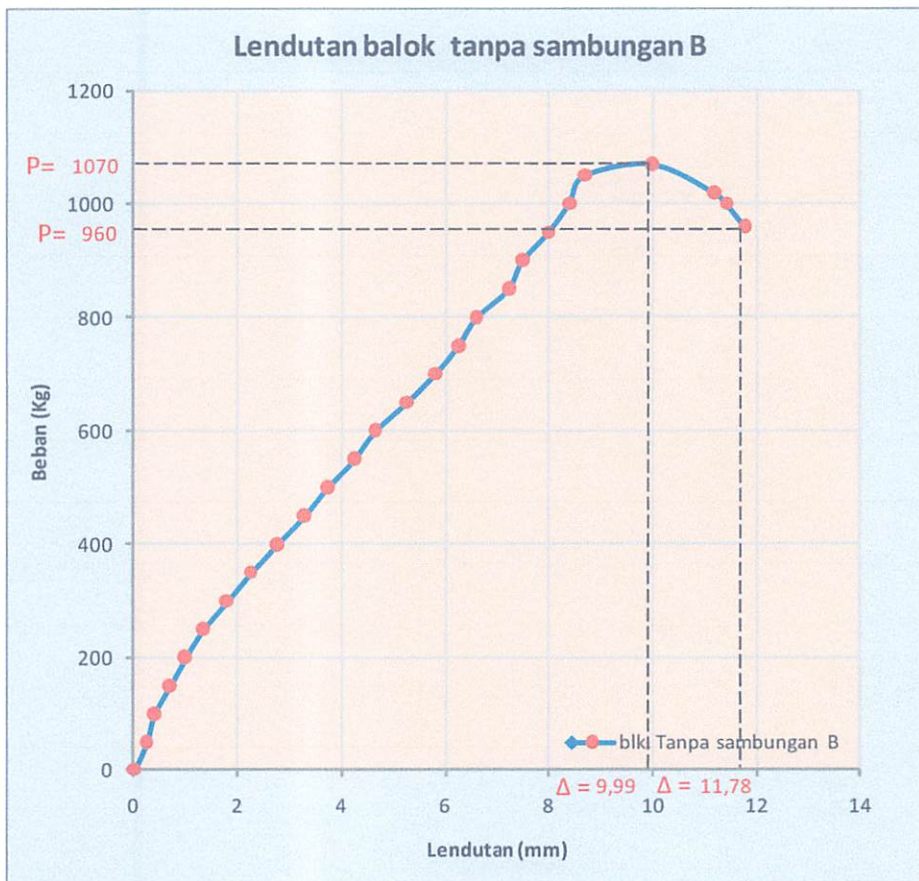
q = Berat merata balok 10/15 (N/mm)

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 26)

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

Hubungan beban - lendutan balok beton tanpa sambungan B yang terlihat pada grafik 4.2 di bawah ini 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).

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



Kurva beban - lendutan Balok beton bertulang tanpa sambungan (BTS-B) yang terlihat pada Gambar 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).

Gambar 4.2 Pengujian Kuat lentur balok tanpa sambungan B (BTS-B)



Gambar diatas diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1070$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960$.

3. Balok Tanpa Sambungan C

Mekanisme keruntuhan balok tanpa sambungan BTS-C diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0.51$ mm, kemudian lebar retak bertambah

seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 8.30$ mm. Seperti terlihat dalam Gambar 4.3, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1150$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1080$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 11.38$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data hasil eksperimen balok tanpa sambungan C (BTS-C)

Benda uji		: BTS-C	
Tanggal pengujian		: 11/2/2013	
Tul. Tekan		: 2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0.00
2	50	20	0.20
3	100	35	0.35
4	150	51	0.51
5	200	70	0.70
6	250	109	1.09
7	300	155	1.55
8	350	215	2.15
9	400	265	2.65
10	450	310	3.10
11	500	355	3.55
12	550	398	3.98
13	600	442	4.42
15	650	490	4.90
16	700	545	5.45
17	750	598	5.98
18	800	650	6.50
19	850	690	6.90
20	900	725	7.25



21	950	768	7.68
22	1000	800	8.00
23	1050	830	8.30
24	1100	864	8.64
25	1150	976	9.76
26	1090	1125	11.25
27	1080	1138	11.38

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

$$\Delta = \frac{5qb^4}{384E_cI_e}$$

Dimana Δ = Lendutan (mm)

l = Panjang balok (mm)

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

I_e = Momen inersia efektif untuk perhitungan
Lendutan

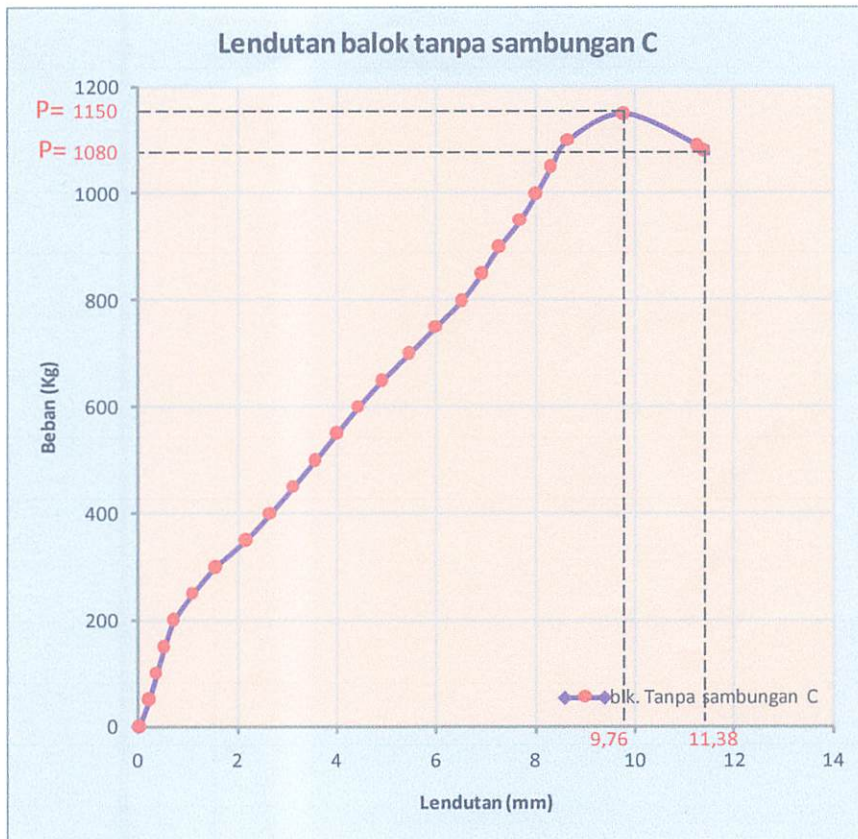
$$q = \text{Berat merata balok } 10/15 \text{ (N/mm)}$$

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 26)

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

Defleksi Nomor urut 1

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



Kurva beban - lendutan Balok beton bertulang tanpa sambungan (BTS-C) yang terlihat pada Grafik 4.3 di atas adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.3 yaitu angka-

angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

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



Gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1150$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 1080$ Kg.

4. Rata – rata hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan

Tabel 4.4 Rata – rata Hubungan Beban Lendutan Balok Tanpa Sambungan (BTS) A,B dan C

No.	Beban (Kg)			Defleksi (mm)			Rata-rata	
	BTS A	BTS B	BTS C	BTS A	BTS B	BTS C	Beban (kg)	Defleksi (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	50	50	50	0.21	0.24	0.20	50	0.22
3	100	100	100	0.32	0.38	0.35	100	0.35
4	150	150	150	0.45	0.68	0.51	150	0.55
5	200	200	200	0.78	0.98	0.70	200	0.82
6	250	250	250	1.05	1.32	1.09	250	1.15
7	300	300	300	1.58	1.79	1.55	300	1.64
8	350	350	350	1.98	2.25	2.15	350	2.13
9	400	400	400	2.55	2.75	2.65	400	2.65
10	450	450	450	2.98	3.28	3.10	450.	3.12
11	500	500	500	3.52	3.72	3.55	500.	3.60
12	550	550	550	3.95	4.24	3.98	550	4.06
13	600	600	600	4.54	4.65	4.42	600	4.54
14	650	650	650	4.94	5.25	4.90	650	5.03
15	700	700	700	5.49	5.80	5.45	700	5.58
16	750	750	750	5.94	6.25	5.98	750	6.06
17	800	800	800	6.40	6.60	6.50	800	6.50
18	850	850	850	6.92	7.22	6.90	850	7.01
19	900	900	900	7.28	7.49	7.25	900	7.34
20	950	950	950	7.65	7.99	7.68	950	7.77
21	1000	1000	1000	7.98	8.39	8.00	1000	8.12
22	1050	1050	1050	8.39	8.69	8.30	1050	8.46
23	1100	1070	1100	8.95	9.99	8.64	1090.	9.19
24	1090	1020	1150	10.02	11.19	9.76	1086.67	10.32
25	1080	1000	1090	10.17	11.42	11.25	1056.67	10.95
26	1070	960	1080	10.24	11.78	11.38	1036.67	11.13



Table - 1. (continued)

Table 1. (continued)

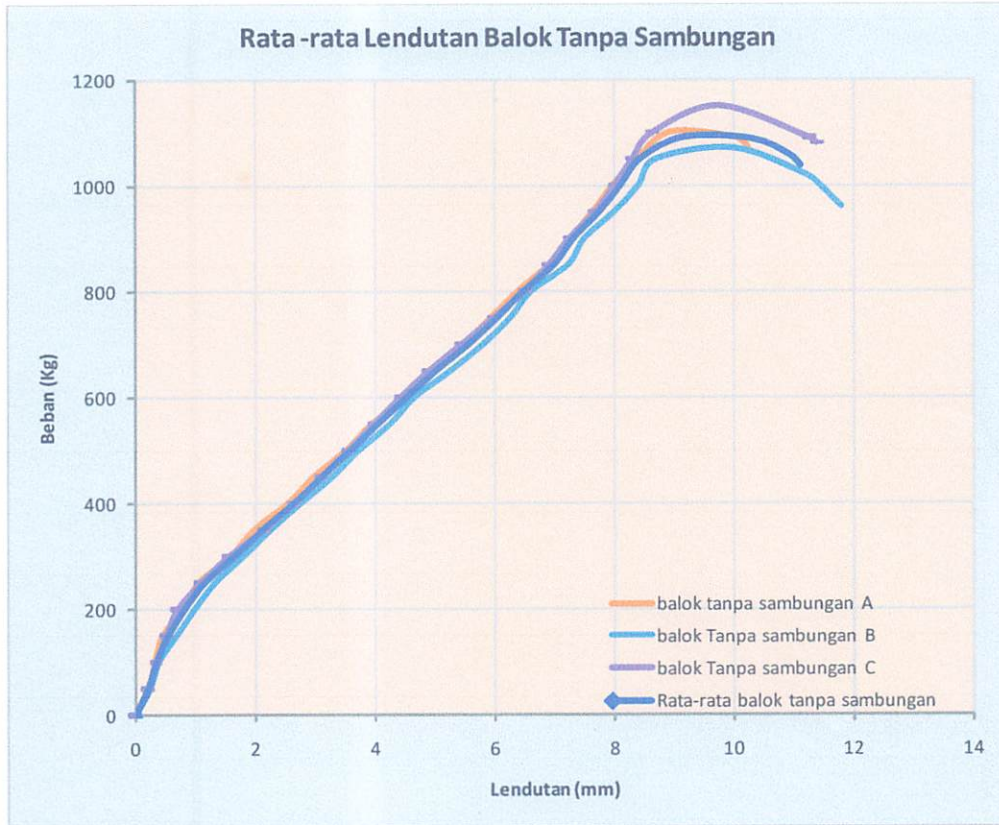
No.	Name of the person	Address	Age	Sex	Religion	Caste	Occupation	Marital Status	Education	Income (Rs.)	Assets (Rs.)	Liabilities (Rs.)	Net Worth (Rs.)	Remarks
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														
52														
53														
54														
55														
56														
57														
58														
59														
60														
61														
62														
63														
64														
65														
66														
67														
68														
69														
70														
71														
72														
73														
74														
75														
76														
77														
78														
79														
80														
81														
82														
83														
84														
85														
86														
87														
88														
89														
90														
91														
92														
93														
94														
95														
96														
97														
98														
99														
100														



Hasil eksperimen yang diperoleh adalah besar beban tekan (P) dan besar defleksi yang diukur menggunakan alat LVDT dan dilakukan pembacaan nilai defleksi menggunakan alat MVD amplifier. Hasil eksperimen dan tabel angka-angka hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.4 di atas.

Grafik beban - lendutan balok tanpa sambungan rata-rata A,B, dan C yang terlihat pada grafik 4.4 di bawah ini 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 rataa-rata) dan kolom 8 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

Grafik 4.4 Rata – rata hubungan beban – lendutan balok tanpa sambungan A,B dan C



Kurva beban - lendutan Balok beton bertulang tanpa sambungan rata-rata dan (BTS-A, BTS-B, BTS-C) yang terlihat pada Gambar 4.7 di atas ini 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 kurva gabungan dalam Grafik 4.4 di atas, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok tanpa sambungan A, B, C. Bentuk kurva antara Balok Tanpa Sambungan (BTS) A, B,

C serta Rata-rata Balok Tanpa Sambungan terdapat kemiripan, tetapi terjadi perubahan ketika mencapai puncak. BTS-C mempunyai P yang paling besar dengan kata lain BTS-C mempunyai daktilitas yang lebih tinggi dari yang lain, tetapi BTS-B lendutannya lebih panjang dari keempat kurva yang lain dan panjang lendutan BTS-C hampir menyerupai BTS-rata-rata. rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen Balok tanpa sambungan A mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1100 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1060 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 10.24 mm.

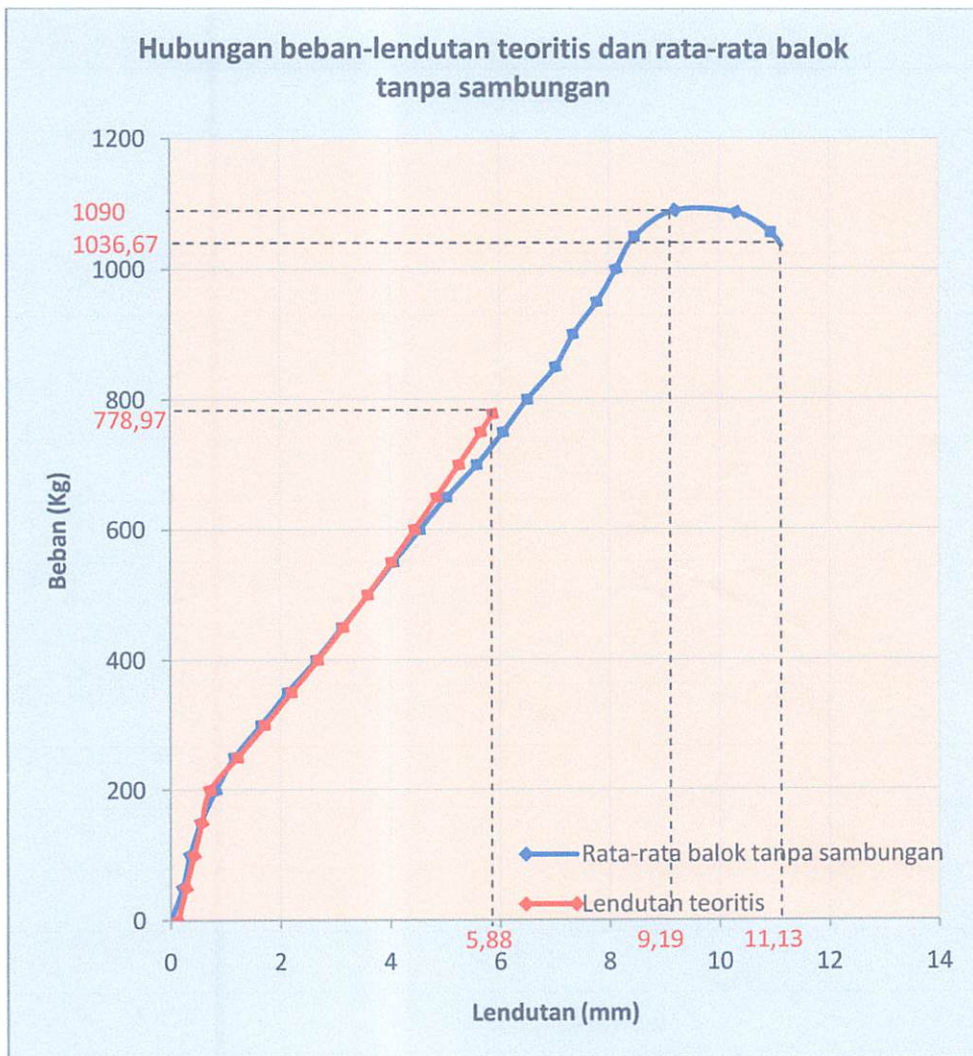
Kurva hasil analisa eksperimen Balok Tanpa Sambungan B mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1070 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 960 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 11.78 mm.

Kurva hasil analisa eksperimen Balok Tanpa Sambungan C mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1150 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 1060 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 11.38 mm.

Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar balok beton tanpa sambungan A,B,C dan balok tanpa sambungan rata-rata dan memiliki sudut yang hampir sama pula tetapi pada beban terjadi perbedaan yaitu balok tanpa sambungan C lebih besar jika dibandingkan dengan Balok tanpa sambungan A,B dan rata-rata balok tanpa sambungan, sedangkan pada lendutan balok tanpa sambungan B lebih besar dan

memiliki daktilitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok tanpa sambungan A,C dan rata-rata.

Grafik 4.5 Gabungan Hubungan Beban-Lendutan Balok Tanpa Sambungan 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 defleksi (Δ) 0.55 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1090 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9.19$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 1036.67 Kg dengan besar defleksi Δ 11.13 mm.

Kurva balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 200 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.71 mm. Beban puncak terjadi pada P = 778.97071 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 5.88$ mm.

Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar balok beton tanpa sambungan rata-rata dan teoritis,memiliki sudut yang hampir sama,tetapi pada beban dan lendutan terjadi perbedaan yaitu balok tanpa sambungan rata- rata lebih besar karena terjadi penambahan P hingga puncak dan bertambahnya P sampai terjadi penurunan,memiliki lendutan yg lebih besar dan daktilitas yang tinggi jika dibandingkan dengan teoritis.

4.1.2. Analisa Beban-Lendutan Balok Sambungan

1. Balok Sambungan (1/4) A

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan bentang 1/4 A diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 0.48$ mm, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 1000$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 7.68$ mm.

Seperti terlihat dalam Grafik 4.6, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1000 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 9.28 \text{ mm}$. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan $1/4 A$

Benda uji		: B 1/4 - A	
Tanggal pengujian		: 02/11/2013	
Tul. Tekan		: 2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	20	0,20
3	100	28	0,28
4	150	48	0,48
5	200	75	0,75
6	250	115	1,15
7	300	155	1,55
8	350	208	2,08
9	400	254	2,54
10	450	300	3,00
11	500	350	3,50
12	550	395	3,95
13	600	438	4,38
14	650	488	4,88
15	700	528	5,28
16	750	570	5,70
17	800	605	6,05
18	850	645	6,45
19	900	687	6,87
20	950	728	7,28
21	1000	768	7,68

22	990	828	8,28
23	980	872	8,72
24	970	900	9,00
25	960	928	9,28

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

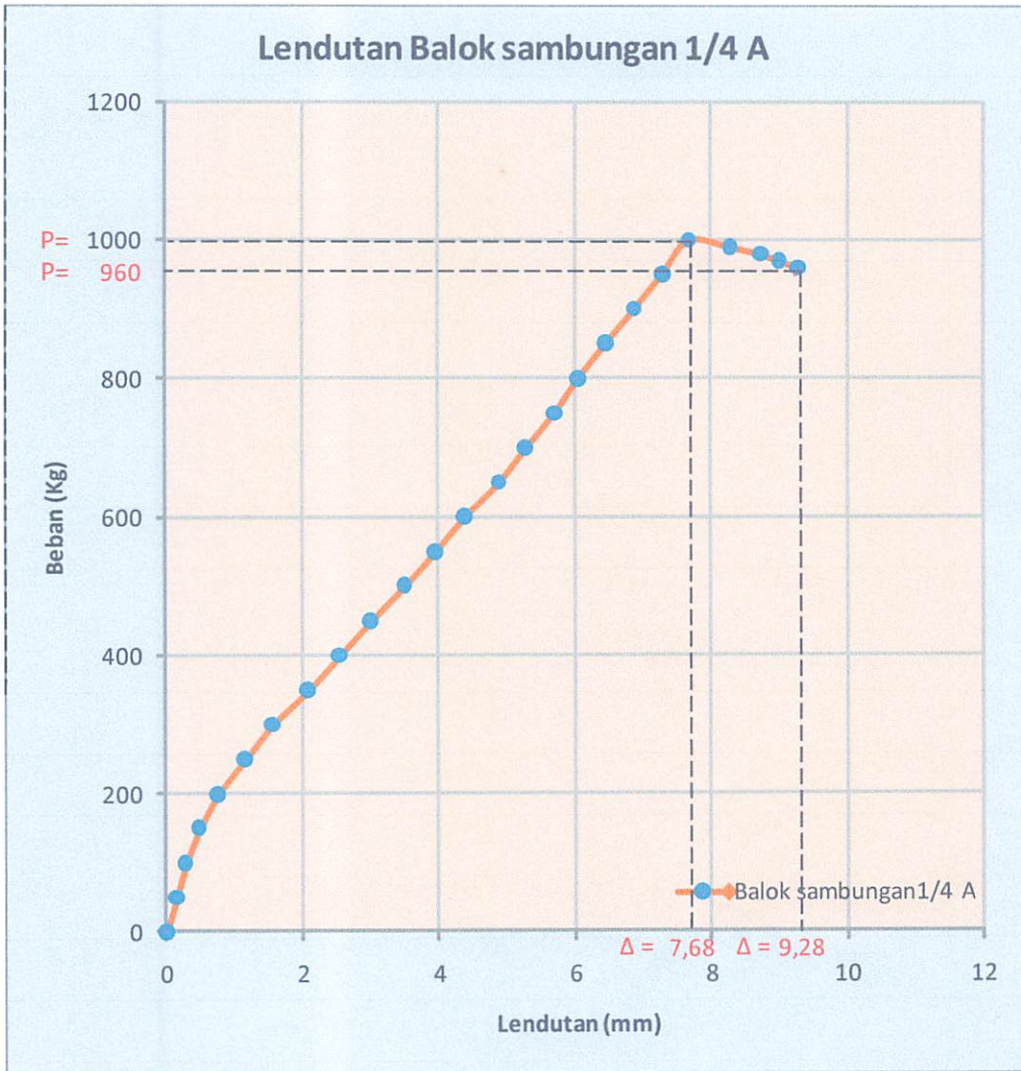
$$\Delta = \frac{5qb^4}{384E_cI_e}$$

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 26)

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

Defleksi Nomor urut 1

Grafik 4.6 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan seperempat (1/4) A



Kurva beban – lendutan sambungan balok beton dan tulangan dengan jarak seper-empat bentang (B 1/4-A) yang terlihat pada Gambar 4.4 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.6 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.4 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan seperempat

(1/4) A



Gambar di atas diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 1000 \text{ Kg}$ dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 960 \text{ Kg}$.



2. Balok Sambungan (1/4) B

Mekanisme keruntuhan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan bentang (1/4-B) diawali dengan terjadinya retak arah vertikal balok pada saat beban mencapai $P=150 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 0.58 \text{ mm}$, kemudian lebar retak bertambah seiring dengan penambahan beban tekan P hingga beban puncak $P = 950 \text{ Kg}$ dengan besar defleksi $\Delta = 7.65 \text{ mm}$. Seperti terlihat dalam Grafik 4.7, gambar ini diambil pada saat beban telah melewati

beban puncak $P = 940$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 910$ Kg dengan besar defleksi $\Delta = 9.45$ mm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Data hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan $1/4 B$

Benda uji		: B 1/4 - B	
Tanggal pengujian		: 02/11/2013	
Tul. Tekan		: 2Ø8	
No.	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	2	3	4
1	0	0	0,00
2	50	23	0,23
3	100	36	0,36
4	150	58	0,58
5	200	88	0,88
6	250	128	1,28
7	300	172	1,72
8	350	225	2,25
9	400	272	2,72
10	450	322	3,22
11	500	372	3,72
12	550	415	4,15
13	600	462	4,62
14	650	508	5,08
15	700	555	5,55
16	750	595	5,95
17	800	634	6,34
18	850	675	6,75
19	900	718	7,18
20	950	765	7,65
21	940	805	8,05

22	930	848	8,48
23	920	902	9,02
24	910	945	9,45

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

$$\Delta = \frac{5qb^4}{384E_cI_e}$$

Dimana Δ = *Lendutan (mm)*

l = *Panjang balok (mm)*

E_c = *Modulus elastisitas beton (Mpa)*

I_e = *Momen inersia efektif untuk perhitungan*

Lendutan

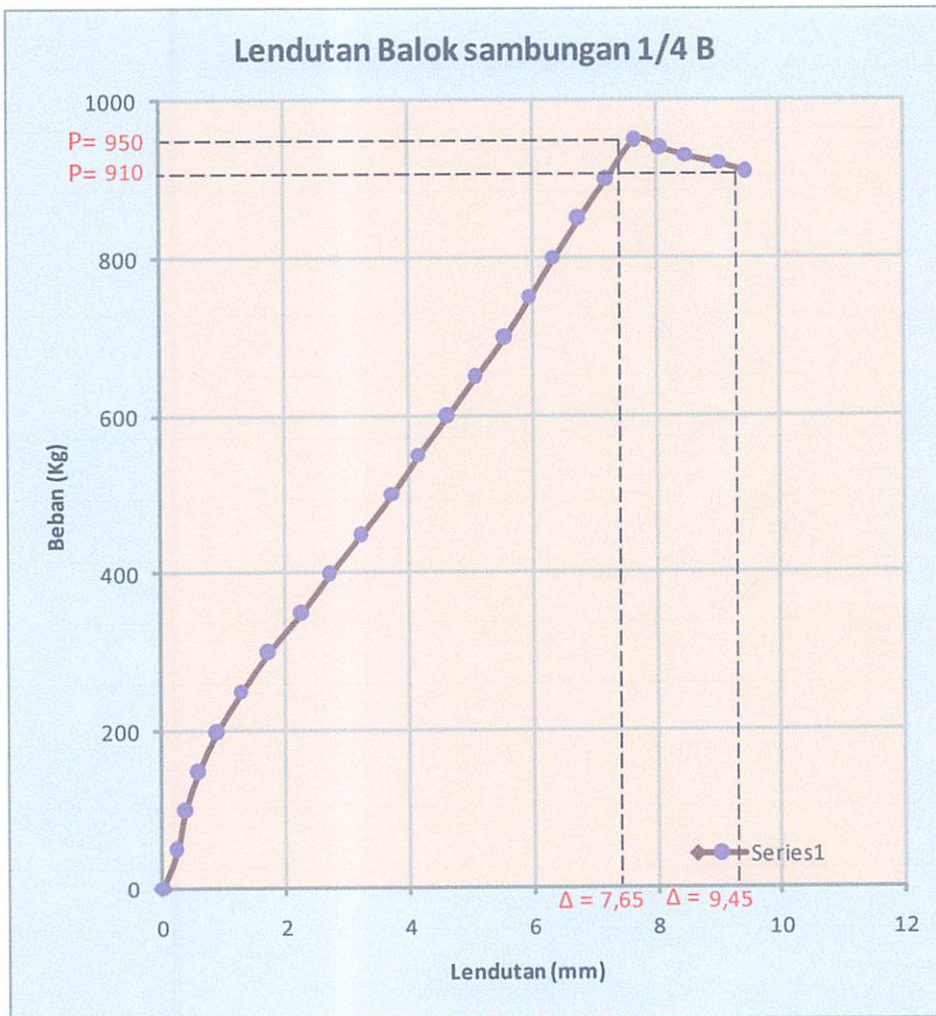
q = *Berat merata balok 10/15 (N/mm)*

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm (Nomor urut 2 s/d 26)

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

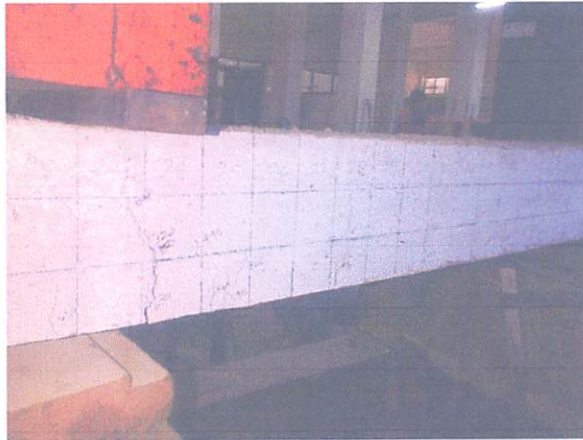
Defleksi Nomor urut 1

Grafik 4.7 Hubungan beban – lendutan balok dengan jarak sambungan seperempat
(1/4) B



Kurva beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan $1/4$ bentang ($B \ 1/4$ - B) yang terlihat pada Gambar 4.12 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.6 yaitu angka-angka pada kolom 4 untuk arah horisontal (Lendutan) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban).

Gambar 4.5 Pengujian Kuat lentur balok dengan jarak sambungan seperempat ($1/4$)
B



Gambar di atas diambil pada saat beban telah melewati beban puncak $P = 950$ Kg dan beban tekan tetap diberikan hingga beban turun menjadi $P = 910$ Kg.

3. Rata-rata Balok dengan jarak sambungan tulangan seperempat (1/4) A dan B

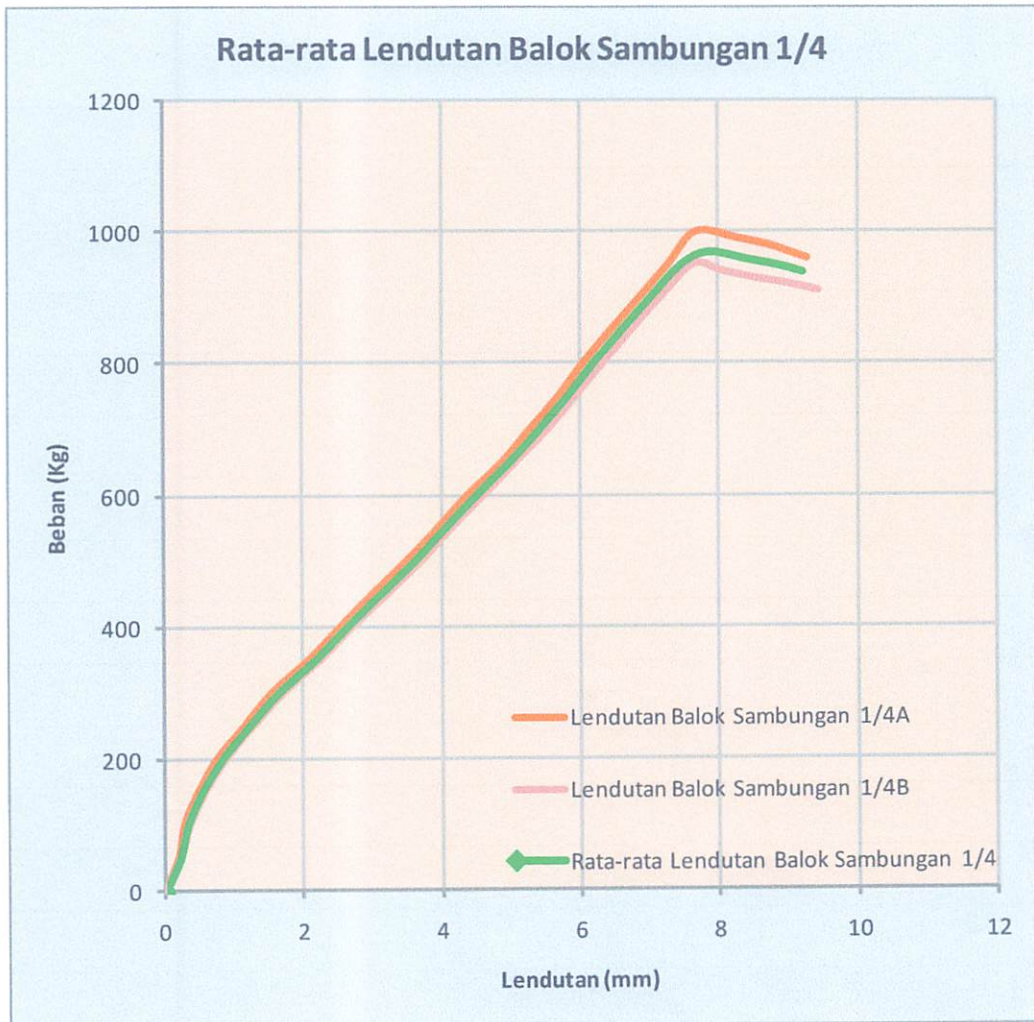
Tabel 4.7 Data rata-rata hasil eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan 1/4 A dan B

No.	Beban (Kg)		Defleksi (mm)		Rata-rata
	Balok 1/4 A	Balok 1/4 B	Balok 1/4 A	Balok 1/4 B	Defleksi (mm)
1	2	3	4	5	6
1	0	0	0,00	0,00	0,00
2	50	50	0,20	0,23	0,22
3	100	100	0,28	0,36	0,32
4	150	150	0,48	0,58	0,53
5	200	200	0,75	0,88	0,82
6	250	250	1,15	1,28	1,22
7	300	300	1,55	1,72	1,64
8	350	350	2,08	2,25	2,17
9	400	400	2,54	2,72	2,63
10	450	450	3,00	3,22	3,11
11	500	500	3,50	3,72	3,61
12	550	550	3,95	4,15	4,05
13	600	600	4,38	4,62	4,50
14	650	650	4,88	5,08	4,98
15	700	700	5,28	5,55	5,42
16	750	750	5,70	5,95	5,83
17	800	800	6,05	6,34	6,20
18	850	850	6,45	6,75	6,60
19	900	900	6,87	7,18	7,03
20	950	950	7,28	7,65	7,47
21	1000	940	7,68	8,05	7,87
22	990	930	8,28	8,48	8,38
23	980	920	8,72	9,02	8,87
24	970	910	9,00	9,45	9,23
25	960	0	9,28	0,00	0,00

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

Kurva beban - lendutan balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang A dan B 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 6 untuk arah horisontal (Lendutan rata-rata) dan kolom 6 untuk arah vertikal (Beban rata-rata).

Grafik 4.8 Gabungan Hubungan rata-rata beban – lendutan eksperimen balok dengan jarak sambungan tulangan seperempat (1/4) A dan B



Berdasarkan bentuk kurva gabungan dalam Grafik 4.8 di atas, terlihat ada perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) pada kurva balok eksperimen Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang sehingga rincian perbedaan nilai P (beban) dan Δ (Lendutan) dapat diuraikan sebagai berikut :

Kurva hasil analisa eksperimen Balok 1/4 A mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 1000 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 960 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 9,28 mm.

Kurva hasil analisa eksperimen Balok 1/4 B mempunyai nilai Beban (P) maksimum sebesar 950 Kg dan mengalami penurunan beban hingga 910 Kg, dengan nilai defleksi maksimum sebesar 9,45 mm.

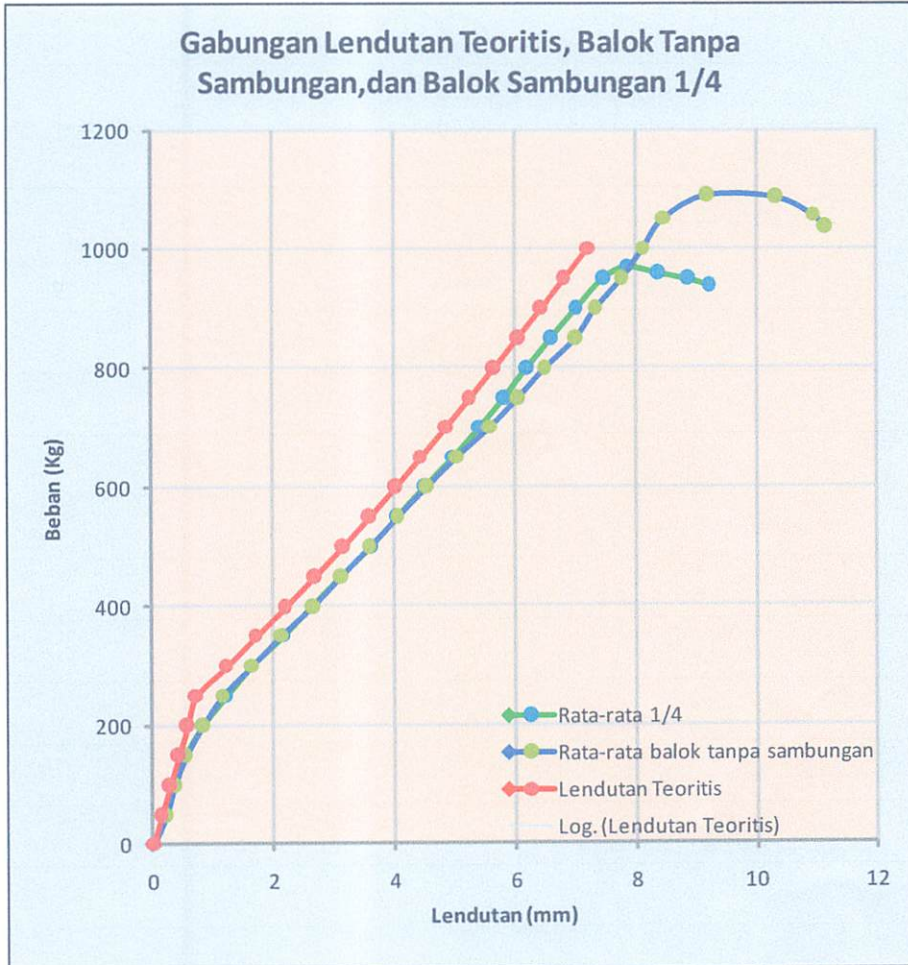
Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar sambungan balok beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang A,B dan rata-rata dan memiliki sudut yang hampir sama tetapi pada beban terjadi perbedaan yaitu balok sambungan balok beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang B lebih besar jika dibandingkan dengan sambungan balok beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang A dan rata-rata sedangkan pada lendutan sambungan balok beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang A lebih besar dan memiliki daktalitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok tanpa sambungan B, dan rata-rata.

4. Gabungan Teoritis, rata-rata BTS dan rata-rata balok 1/4 bentang

Tabel 4.8 Data hasil eksperimen rata-rata Balok tanpa sambungan, sambungan balok beton dan tulangan dengan jarak seper-empat (1/4) bentang dan teoritis

No	Beban (Kg)	Defleksi (mm)	Beban (Kg)	Defleksi (mm)	Beban (Kg)	Defleksi (mm)
	Teoritis	Teoritis	Rata-rata balok 1/4 bentang	Rata-rata balok 1/4 bentang	Rata-rata BTS	Rata-rata BTS
1	2	3	4	5	6	7
2	2	3	0	0.00	0	0
3	0	0.13	50	0.22	0.22	50
4	50	0.28	100	0.32	0.35	100
5	100	0.42	150	0.53	0.55	150
6	150	0.57	200	0.82	0.82	200
7	200	0.71	250	1.22	1.15	250
8	250	1.21	300	1.64	1.64	300
9	300	1.71	350	2.17	2.13	350
10	350	2.20	400	2.63	2.65	400
11	400	2.68	450	3.11	3.12	450
12	450	3.14	500	3.61	3.60	500
13	500	3.59	550	4.05	4.06	550
14	550	4.02	600	4.50	4.54	600
15	600	4.44	650	4.98	5.03	650
16	650	4.85	700	5.42	5.58	700
17	700	5.25	750	5.83	6.06	750
18	750	5.65	800	6.20	6.50	800
19	778.97071	5.88	850	6.60	7.01	850
20			900	7.03	7.34	900
21			950	7.47	7.77	950
22			970	7.87	8.12	1000
23			960	8.38	8.46	1050
24			950	8.87	9.19	1090
25			940	9.23	10.32	1086.67
26					10.95	1056.67
27					11.13	1036.67

Grafik 4.9. Hubungan Beban-Lendutan Balok Tanpa Sambungan rata-rata, 1/4 rata-rata dan teoritis



Hubungan beban-lendutan Balok Tanpa Sambungan rata-rata, 1/4 rata-rata dan teoritis pada gambar 4.14 di atas terjadi perbedaan, dimana balok Tanpa Sambungan rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.55 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1086.67 Kg dengan besar defleksi Δ = 10.32 mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 1036,67 Kg dengan besar defleksi Δ 11.13 mm.

Kurva balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang rata-rata mengalami retak awal pada beban (P) 150 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.53 mm. Beban puncak terjadi pada P = 970 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 7.87$ mm, dan beban akan terus diberikan hingga P minimum 940 Kg dengan besar defleksi $\Delta 9.23$ mm.

Kurva balok beton teoritis mengalami retak awal pada beban (P) 250 Kg dengan besar defleksi (Δ) 0.71 mm. Beban puncak terjadi pada P = 1000 Kg dengan besar defleksi $\Delta = 7.58$ mm.

Dari penggabungan kurva diatas terjadi perbedaan dan antara sambungan rata-rata balok beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang dan teoritis yaitu teoritis memiliki sudut kurva naik yang lebih besar dibandingkan dengan eksperimen sehingga terjadi lendutan-nya lebih kecil jika dibandingkan dengan eksperimen dan beban eksperimen teoritis lebih kecil dan tidak terjadi penurunan karna tidak terjadinya penambahan beban seperti beban eksperimen sambungan balok beton dan tulangan dengan jarak seper-empat (1/4) bentang, memiliki daktilitas yang lebih baik jika dibandingkan teoritis.

karena terjadi penambahan P hingga puncak dan bertambahnya P sampai terjadi penurunan, memiliki lendutan yg lebih besar dan daktilitas yang tinggi jika dibandingkan dengan teoritis.

5. Perbedaan lendutan balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang.

Berdasarkan hasil eksperimen pada saat pengujian, didapat perbedaan nilai lendutan pada balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang. Untuk persentase nilai perbandingan lendutan eksperimen antara balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang, kami tampilkan dalam bentuk tabel 4.8.

Tabel 4.9. Prosentase nilai lendutan

No	Eksperimen	Beban (Pmax)	lendutan (Δ)
1	Balok tanpa sambungan	1090	9,19
2	Balok sambungan 1/4	970	7,87
	Perbedaan %	11,009	14,45

Berdasarkan tabel 4.9. hasil perbandingan lendutan balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang diperoleh variasi nilai lendutan pada balok. Untuk lendutan pada saat beban Pmax terjadi perbedaan terhadap balok tanpa sambungan sebesar 14,45 %. Ini menunjukkan nilai lendutan pada balok sambungan 1/4 bentang semakin kecil karena akibat adanya sambungan 1/4 bentang pada balok.

4.1.3 Perhitungan Kekuatan Lentur Eksperimen Menggunakan Nilai P Eksperimen

1. Balok Tanpa Sambungan (BTS)

$$\begin{aligned} \text{Data perencanaan : } l &= 2000 \text{ mm} \\ q &= 0.36 \text{ N/mm} \\ E_c &= 20149,794 \text{ Mpa} \\ I_e &= 28125000 \text{ N/mm} \\ \Delta &= 0,22 \text{ (pada beban 50kg)} \end{aligned}$$

Mencari nilai q dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

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

$$0,22 = \frac{500 \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot q \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = 0,147047 + q \cdot 0,367617$$

$$q = 0,198449 \text{ N}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot p \cdot l \\ &= \frac{1}{8} \cdot 0,198449 \cdot 2000^2 + \frac{1}{4} \cdot 500 \cdot 2000 \\ &= 349224,4415476 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.10*

Tabel 4.10 Kuat Lentur Eksperimen Balok Tanpa Sambungan (BTS)

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Defleksi rata-rata
1	2	4	5	6	7	8
1	0,00	0,000	0,36	2000	180000,000	0,00
2	50,00	298,06	0,36	2000	329030,552	0,22
3	100,00	740,097	0,36	2000	550048,605	0,35
4	150,00	1408,819	0,36	2000	884409,250	0,55
5	200,00	1938,228	0,36	2000	1149113,875	0,82
6	250,00	2308,116	0,36	2000	1334057,992	1,15
7	300,00	2806,353	0,36	2000	1583176,583	1,64
8	350,00	3299,293	0,36	2000	1829646,635	2,13
9	400,00	3871,788	0,36	2000	2115893,983	2,65
10	450,00	4378,318	0,36	2000	2369159,030	3,12
11	500,00	4917,704	0,36	2000	2638852,202	3,60
12	550,00	5450,402	0,36	2000	2905201,145	4,06
13	600,00	6026,389	0,36	2000	3193194,522	4,54
14	650,00	6631,809	0,36	2000	3495904,736	5,03
15	700,00	7324,279	0,36	2000	3842139,328	5,58
16	750,00	7920,685	0,36	2000	4140342,263	6,06
17	800,00	8477,078	0,36	2000	4418538,817	6,50
18	850,00	9134,260	0,36	2000	4747129,946	7,01
19	900,00	9540,741	0,36	2000	4950370,661	7,34
20	950,00	10096,417	0,36	2000	5228208,589	7,77
21	1000,00	10542,145	0,36	2000	5451072,540	8,12
22	1050,00	10972,697	0,36	2000	5666348,555	8,46
23	1090,00	11940,239	0,36	2000	6150119,297	9,19
24	1086,67	13488,571	0,36	2000	6924285,451	10,32
25	1056,67	14330,196	0,36	2000	7345097,973	10,95
26	1036,67	14582,233	0,36	2000	7471116,696	11,13

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.10

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban (P) N

➤ Kolom 4

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

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Nmm

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

➤ Kolom 7

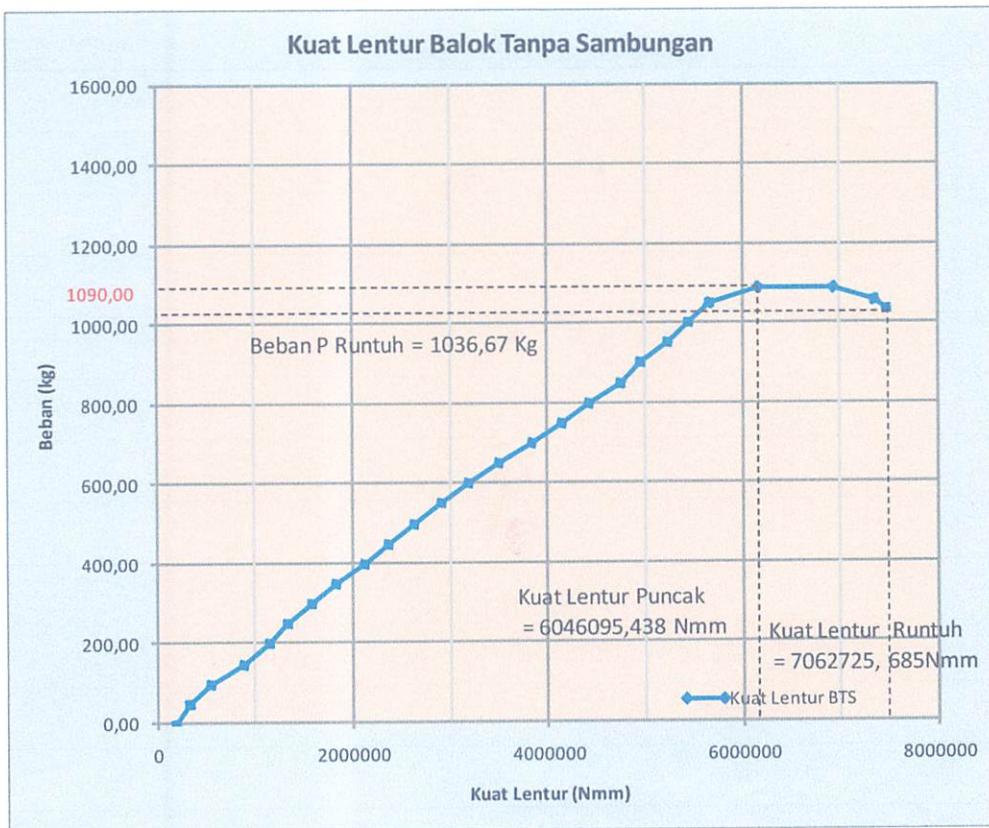
Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm



Hubungan beban – kuat lentur balok beton tanpa sambungan yang terlihat pada Grafik 4.10 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.10 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban P). Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg,

mengalami kuat lentur sebesar 6150119,297 Nmm, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7471116,696 Nmm.

Grafik 4.10 hubungan Beban-Kuat Lentur balok tanpa sambungan (BTS)



Analisa kuat lentur balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban q eksperimen dari beban P dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban q eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg, mengalami kuat

lentur sebesar 6046095,44 Nmm, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7062725,685 Nmm. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.11. dan grafik 4.10.

2. Balok Sambungan 1/4

Data perencanaan :	l	= 2000 mm
	q	= 0.36 N/mm
	E_c	= 20149,794 Mpa
	I_e	= 28125000 N/mm
	Δ	= 0,21 (pada beban 50kg)

Mencari nilai q dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

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

$$0,21 = \frac{500 \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot q \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,21 = 0,147047 + q \cdot 0,367617$$

$$q = 0.171246661 \text{ N}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 + \frac{1}{4} \cdot p \cdot l \\ &= \frac{1}{8} \cdot 0.171246661 \cdot 2000^2 + \frac{1}{4} \cdot 500 \cdot 2000 \\ &= 335623.331 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.11*

Tabel 4.11 Kuat Lentur Eksperimen dengan tulangan dengan jarak seperempat
(1/4)bentang

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Lentur (Nmm)	Defleksi rata-rata
1	2	4	5	6	7	8
1	0,00	0,000	0,36	2000	180000,000	0,00
2	50,00	298,06	0,36	2000	329030,552	0,22
3	100,00	927,113	0,36	2000	643556,468	0,32
4	150,00	1879,191	0,36	2000	1119595,353	0,53
5	200,00	2711,324	0,36	2000	1535662,011	0,82
6	250,00	3304,545	0,36	2000	1832272,743	1,22
7	300,00	3531,091	0,36	2000	1945545,284	1,64
8	350,00	4080,886	0,36	2000	2220442,994	2,17
9	400,00	4744,300	0,36	2000	2552150,046	2,63
10	450,00	4958,645	0,36	2000	2659322,478	3,11
11	500,00	5765,891	0,36	2000	3062945,721	3,61
12	550,00	6124,319	0,36	2000	3242159,302	4,05
13	600,00	6787,758	0,36	2000	3573878,763	4,50
14	650,00	7349,846	0,36	2000	3854923,003	4,98
15	700,00	8076,628	0,36	2000	4218314,194	5,42
16	750,00	8699,246	0,36	2000	4529622,950	5,83
17	800,00	9953,479	0,36	2000	5156739,558	6,20
18	850,00	10913,088	0,36	2000	5636543,888	6,60
19	900,00	12555,659	0,36	2000	6457829,335	7,03
20	950,00	13246,323	0,36	2000	6803161,416	7,47
21	1000,00	14130,266	0,36	2000	7245133,239	7,87
22	990,00	14712,124	0,36	2000	7536061,987	8,38
23	980,00	15352,794	0,36	2000	7856397,007	8,87
24	970,00	15958,500	0,36	2000	8159249,860	9,23
25	960,00	16251,144	0,36	2000	8305572,025	0,00

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.11.

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban (P) N

➤ Kolom 4

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

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

Kuat Lentur (M) Nmm

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

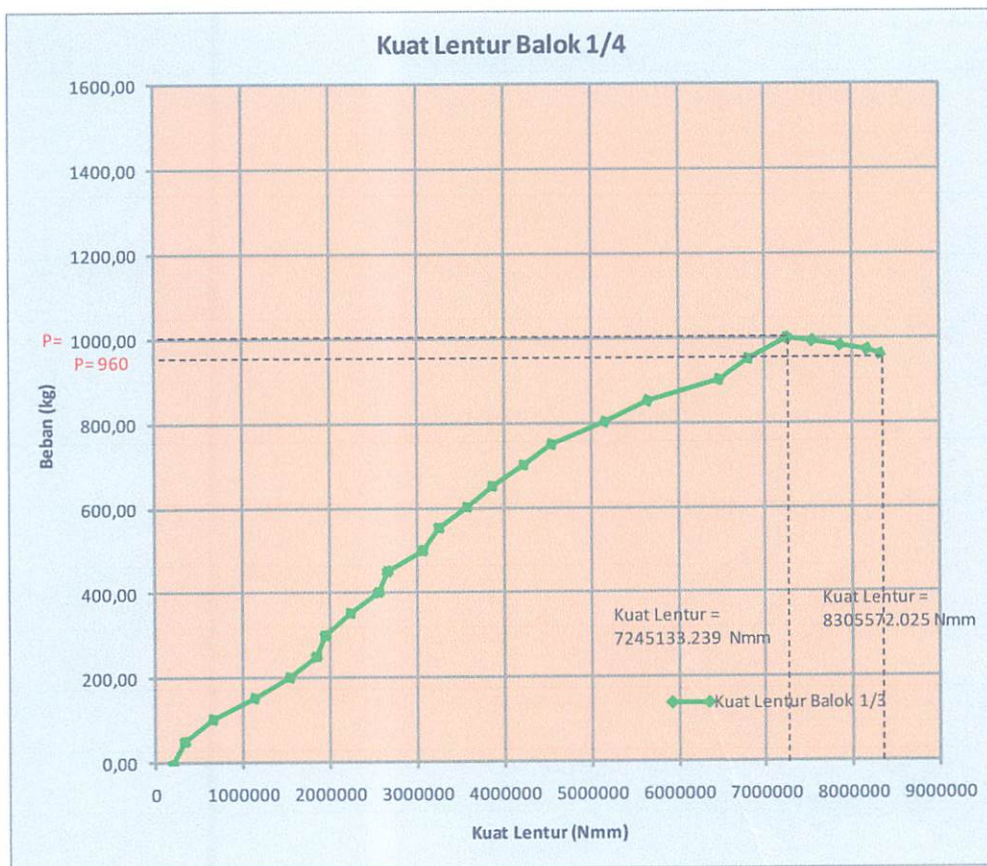
➤ Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm

Hubungan beban – kuat lentur balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.11 di bawah ini adalah hasil analisa eksperimen yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.11 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat lentur) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban

P). Dan terlihat pada beban maksimum 1000 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7245133,239 Nmm, sedangkan pada beban minimum 960 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 8305572,025 Nmm.

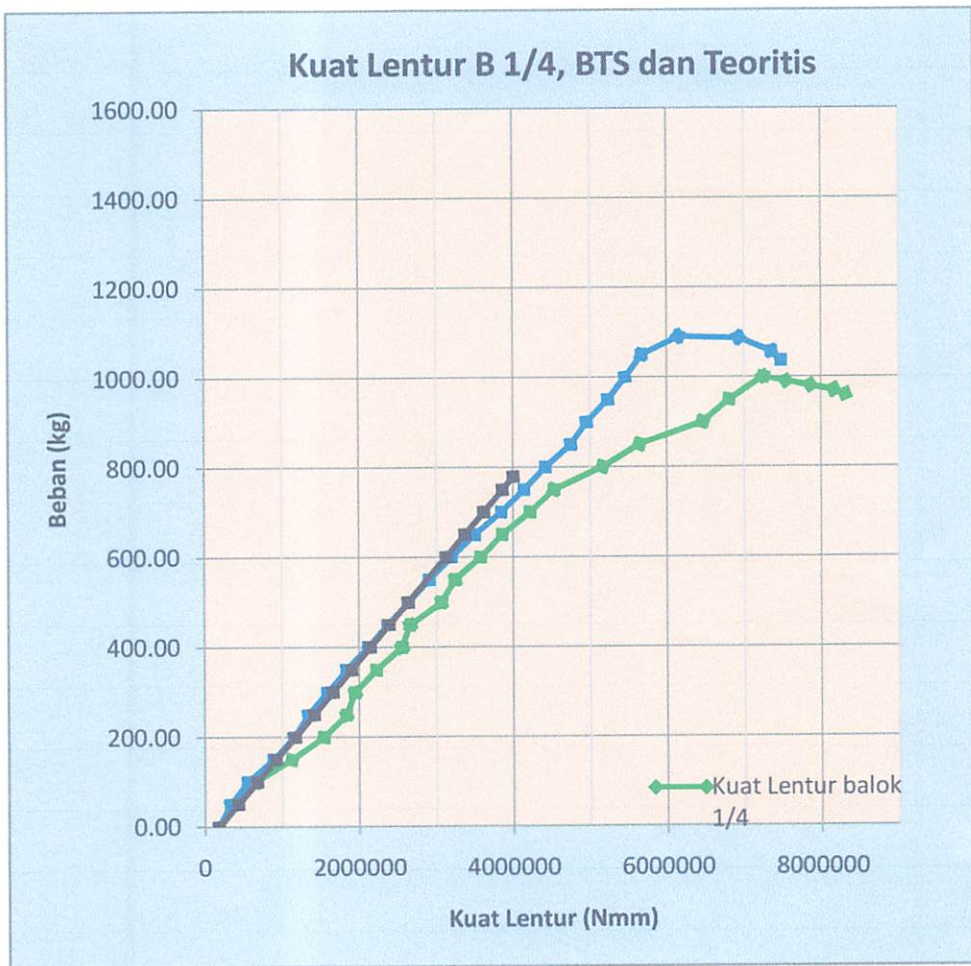
Grafik 4.11 hubungan Beban-Kuat Lentur balok Sambungan 1/4 Bentang



Analisa kuat lentur balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat bentang (1/4) didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban q eksperimen dari beban P dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban q

eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum 1000 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7245133,239 Nmm, sedangkan pada beban minimum 960 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 8305572,025 Nmm. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.11. dan grafik 4.12.

Gambar 4.12 Gabungan kuat lentur teoritis dan rata-rata balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4



Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar balok beton tanpa sambungan rata-rata, sambungan balok beton dan tulangan seper-empat

(1/4) 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-empat (1/4) bentang rata-rata dan teoritis.

3. Perbedaan nilai kuat lentur balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang.

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

Tabel 4.12. Prosentase nilai kuat lentur

No	Eksperimen	Beban (Pmax)	Kuat lentur (Nmm)
1	Balok tanpa sambungan	1090	6150119,30
2	Balok sambungan 1/4	970	5276289,9
	Perbedaan %	11,009	14,21

Berdasarkan tabel 4.12. hasil perbandingan nilai kuat lentur balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang diperoleh variasi nilai kuat lentur pada

balok. Untuk kuat lentur pada saat beban Pmax terjadi perbedaan sebesar 14,21 %. Ini menandakan nilai kuat lentur pada balok sambungan 1/4 bentang semakin kecil karena akibat adanya sambungan 1/4 bentang pada balok.

4.1.4 Perhitungan Kekuatan Geser Eksperimen

1. Balok beton bertulang tanpa sambungan

Data perencanaan :	l	= 2000 mm
	q	= 0,36 N/mm
	Ec	= 20149,794 Mpa
	Ie	= 28125000 N/mm
	Δ	= 0,22 (pada beban 50kg)

Mencari nilai q dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

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

$$0,22 = \frac{500 \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot q \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = 0,147047 + q \cdot 0,367617$$

$$q = 0,198449 \text{ N}$$

Jadi :

$$V_u = 1,4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot p + \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \right)$$

$$= 1,4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 500 + \frac{1}{2} \cdot 0,198449 \cdot 2000 \right)$$

$$= 627,8284 \text{ N}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.13*

Tabel 4.13 Hubungan Beban -kuat Geser Eksperimen rata-rata balok beton bertulang tanpa sambungan (BTS)

No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (N)	Defleksi rata-rata
1	2	3	4	5	6	7
2	0,00	0,00	0,36	2000	504	0,00
3	50,00	298,06	0,36	2000	712,6428	0,22
4	100,00	740,10	0,36	2000	1022,068	0,35
5	150,00	1408,82	0,36	2000	1490,173	0,55
6	200,00	1938,23	0,36	2000	1860,759	0,82
7	250,00	2308,12	0,36	2000	2119,681	1,15
8	300,00	2806,35	0,36	2000	2468,447	1,64
9	350,00	3299,29	0,36	2000	2813,505	2,13
10	400,00	3871,79	0,36	2000	3214,252	2,65
11	450,00	4378,32	0,36	2000	3568,823	3,12
12	500,00	4917,70	0,36	2000	3946,393	3,60
13	550,00	5450,40	0,36	2000	4319,282	4,06
14	600,00	6026,39	0,36	2000	4722,472	4,54
15	650,00	6631,81	0,36	2000	5146,267	5,03
16	700,00	7324,28	0,36	2000	5630,995	5,58
17	750,00	7920,68	0,36	2000	6048,479	6,06
18	800,00	8477,08	0,36	2000	6437,954	6,50
19	850,00	9134,26	0,36	2000	6897,982	7,01
20	900,00	9540,74	0,36	2000	7182,519	7,34
21	950,00	10096,42	0,36	2000	7571,492	7,77
22	1000,00	10542,15	0,36	2000	7883,502	8,12
23	1050,00	10972,70	0,36	2000	8184,888	8,46
24	1090,00	11940,24	0,36	2000	8862,167	9,19
25	1086,67	13488,57	0,36	2000	9946	10,32
26	1056,67	14330,20	0,36	2000	10535,14	10,95
27	1036,67	14582,23	0,36	2000	10711,56	11,13

Keterangan pengisian kolom pada Tabel 4.13

➤ Kolom 1

Nomor urut

➤ Kolom 2

Beban (P) Kg

➤ Kolom 3

Beban (P) N

➤ Kolom 4

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

➤ Kolom 5

Panjang bentang balok (L) mm

➤ Kolom 6

Kuat geser balok (Vu) N

$$V_u = 1,4 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot p + \frac{1}{2} \cdot q \cdot l \right)$$

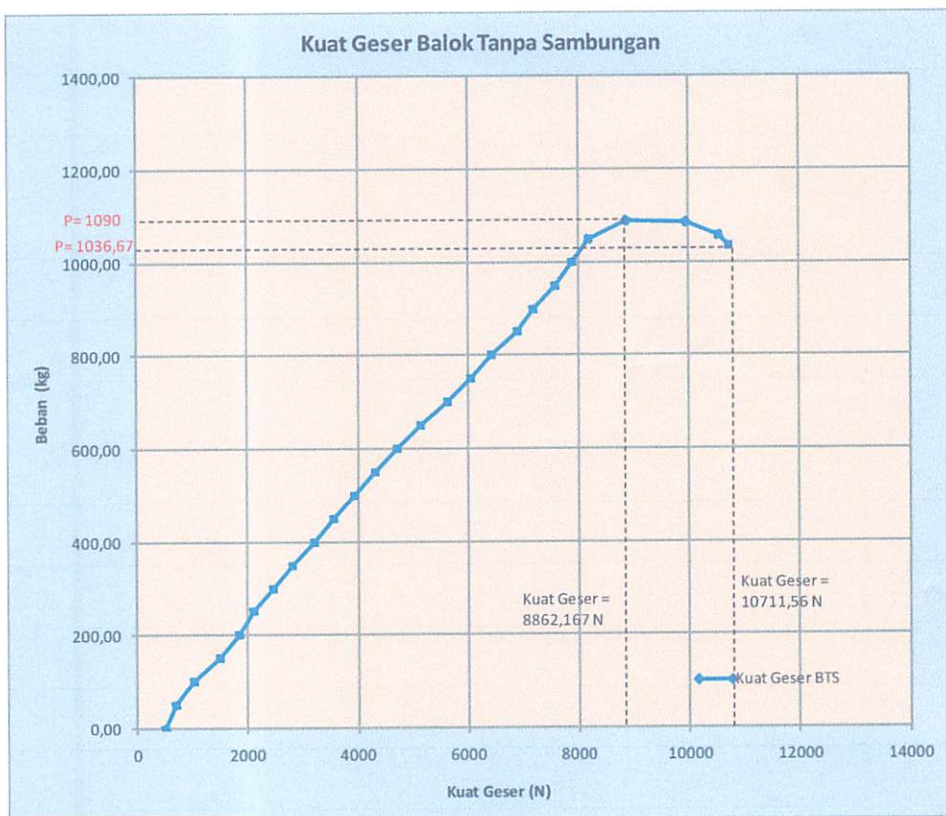
➤ Kolom 7

Defleksi yang terjadi pada balok (Δ) mm



Hubungan beban – kuat geser balok beton tanpa sambungan rata-rata yang terlihat pada grafik 4.14 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.13 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban P). Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg, mengalami kuat geser sebesar sebesar 8862,167 N, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat geser sebesar 10711,56 N.

Gambar 4.13 hubungan Beban – Kuat Geser Balok Tanpa Sambungan



Analisa kuat geser balok tanpa sambungan didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk

mempresentasikan nilai beban q eksperimen dari beban P dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat geser berdasarkan beban q eksperimen. Dan terlihat pada beban maksimum 1090 Kg, mengalami kuat geser sebesar 9299,067 N, sedangkan pada beban minimum 1036.67 Kg, mengalami kuat geser sebesar 12518,97 N. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.13 dan grafik 4.14.

2. Geser Balok Sambungan 1/4

Data perencanaan :	l	= 2000 mm
	q	= 0,36 N/mm
	Ec	= 20149,794 Mpa
	Ie	= 28125000 N/mm
	Δ	= 0,22 (pada beban 50kg)

Mencari nilai P dari data hasil eksperimen lendutan (Δ)

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

$$0,22 = \frac{P \cdot (2000^3)}{48 \cdot 20149,794 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0,36 \cdot (2000)^4}{384 \cdot 20149,794 \cdot 28125000}$$

$$0,22 = P \cdot 0,000294 + 0,132342$$

$$P = 298,1 \text{ N}$$

Jadi :

$$Vu = \left(\frac{1}{2} \times p + \frac{1}{2} \times q \times l \right)$$

$$= \left(\frac{1}{2} \cdot 298,1 + \frac{1}{2} \cdot 0,36 \cdot 2000 \right)$$

$$= 509,0 \text{ N}$$

Untuk perhitungan selanjutnya, dilampirkan pada *tabel 4.14*

Tabel Tabel 4.14 *Kuat Geser Balok Eksperimen dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper-empat (1/4) bentang rata-rata*

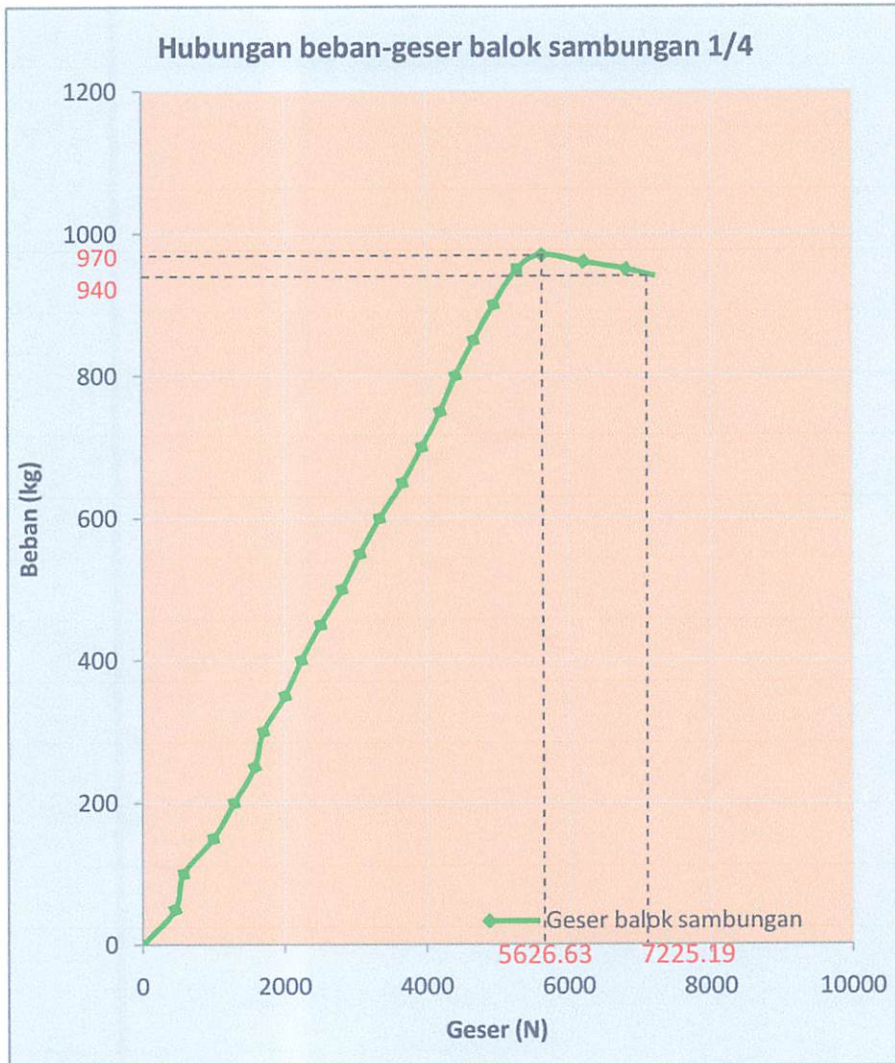
No	Beban (P) (kg)	Beban eksperimen (P) (N)	q (N/mm)	L (mm)	Kuat Geser (Kg)	Defleksi rata-rata
1	2	4	5	6	7	8
1	0,00	0	0,36	2000	0.00	0,00
2	50,00	298,0611039	0,36	2000	448.45	0,22
3	100,00	927,1129367	0,36	2000	570.47	0,32
4	150,00	1879,190705	0,36	2000	991.72	0,53
5	200,00	2711,324	0,36	2000	1286.98	0,82
6	250,00	3304,545485	0,36	2000	1574.47	1,22
7	300,00	3531,090567	0,36	2000	1697.14	1,64
8	350,00	4080,885988	0,36	2000	2003.50	2,17
9	400,00	4744,300091	0,36	2000	2231.34	2,63
10	450,00	4958,644956	0,36	2000	2500.27	3,11
11	500,00	5765,891442	0,36	2000	2810.08	3,61
12	550,00	6124,318603	0,36	2000	3062.56	4,05
13	600,00	6787,757525	0,36	2000	3339.24	4,50
14	650,00	7349,846006	0,36	2000	3659.13	4,98
15	700,00	8076,628387	0,36	2000	3935.52	5,42
16	750,00	8699,2459	0,36	2000	4190.41	5,83
17	800,00	9953,479117	0,36	2000	4406.55	6,20
18	850,00	10913,08778	0,36	2000	4665.53	6,60
19	900,00	12555,65867	0,36	2000	4949.59	7,03
20	950,00	13246,32283	0,36	2000	5277.00	7,47

21	970,00	14130,26648	0,36	2000	5626.63	7,87
22	960,00	14712,12397	0,36	2000	6215.61	8,38
23	950,00	15352,79401	0,36	2000	6808.62	8,87
24	940,00	15958,49972	0,36	2000	7225.19	9,23

Hubungan beban–Kuat geser balok beton dengan jarak sambungan beton dan tulangan 1/4 bentang rata-rata yang terlihat pada grafik 4.14 di bawah ini adalah hasil analisa teoritis yang digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada Tabel 4.14 yaitu angka-angka pada kolom 6 untuk arah horisontal (Kuat geser) dan kolom 2 untuk arah vertikal (Beban teoritis). Dan terlihat pada beban maksimum 970 Kg, mengalami kuat geser sebesar 5626.63 N, sedangkan pada beban minimum 940 Kg, mengalami kuat geser sebesar 7225.19 N.



Grafik 4.14 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seper-empat bentang (1/4) rata-rata

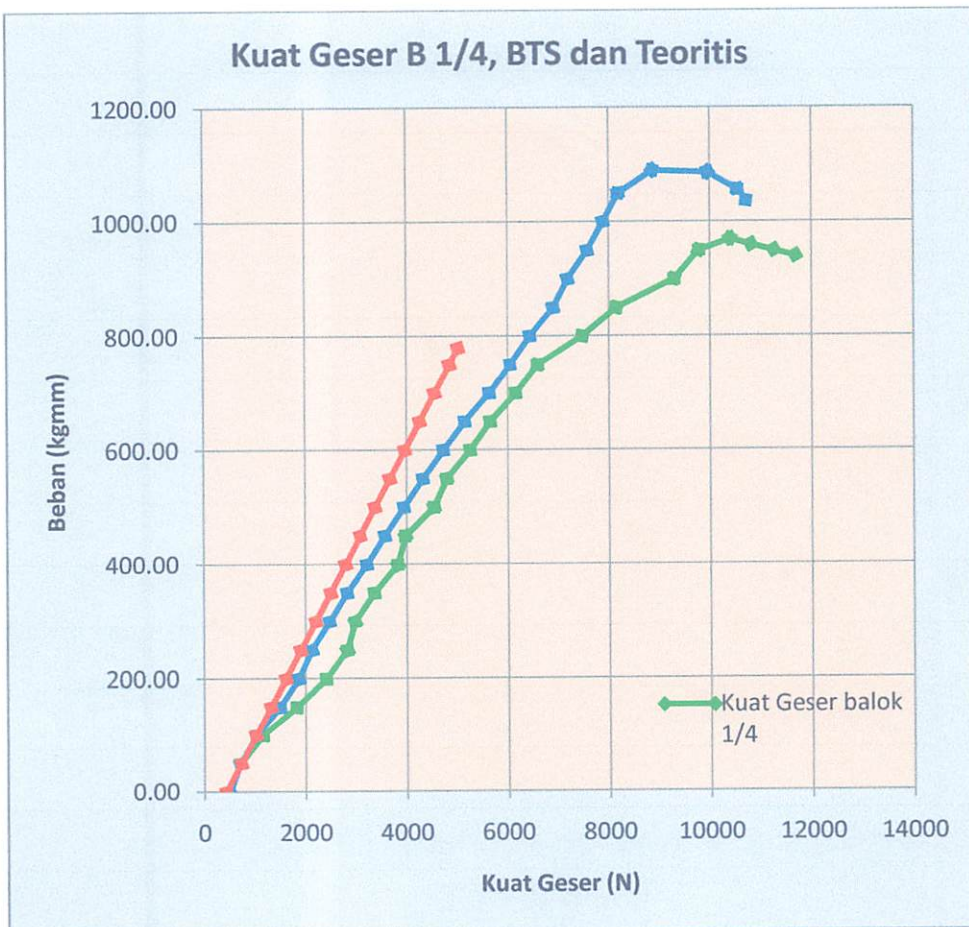


Analisa kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat bentang (1/4) didapat dengan mengolah data dari hasil eksperimen lendutan rata-rata dengan cara menurunkan rumus lendutan untuk mempresentasikan nilai beban q eksperimen dari beban P dan lendutan eksperimen, sehingga memperoleh nilai kuat lentur berdasarkan beban q eksperimen. Dan terlihat pada

beban maksimum 970 Kg, mengalami kuat geser sebesar 5626.63 N , sedangkan pada beban minimum 940 Kg, mengalami kuat lentur sebesar 7225.19 N. Data selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.14 dan grafik 4.15.

3. Gabungan Beban- Kuat geser Teoritis,rata-rata BTS,dan Balok Dengan Jarak Sambungan 1/4 bentang

Grafik 4.15 Hubungan beban – kuat geser balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat bentang (1/4) rata-rata, BTS rata-rata dan teoritis



Dari penggabungan kurva diatas terjadi perhimpitan antar balok beton tanpa sambungan rata-rata, sambungan balok beton dan tulangan seperempat (1/4) bentang rata-rata dan teoritis yaitu,memiliki sudut yang hampir sama,tetapi pada beban dan kuat geser memiliki perbedaan yaitu balok tanpa sambungan rata-rata memiliki kuat geser yang lebih besar karena terjadi penambahan beban P sampai puncak dan seiring bertambahnya P sampai terjadi penurunan,sehingga mengakibatkan kuat geser yang lebih besar jika dibandingkan dengan. sambungan balok beton dan tulangan seperempat (1/4) bentang rata-rata dan teoritis.

4. Perbedaan nilai kuat geser balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang.

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

Tabel 4.15. Perbedaan nilai kuat geser

No	Eksperimen	Beban (Pmax)	Kuat geser (N)
1	Balok tanpa sambungan	1090	6330,12
2	Balok sambungan 1/4	970	5456,29
	Perbedaan %	11,009	13,80

Berdasarkan tabel 4.15. hasil perbandingan nilai kuat geser balok tanpa sambungan dan balok sambungan 1/4 bentang diperoleh variasi nilai kuat geser pada balok. Untuk kuat geser pada saat beban Pmax terjadi perbedaan sebesar 13,80 %. Ini menandakan nilai kuat geser pada balok sambungan 1/4 bentang semakin kecil karena akibat adanya sambungan 1/4 bentang pada balok



4.2 Mekanisme Pola Retak

1. Balok Tanpa Sambungan (BTS-A)

Proses pengujian lendutan, kuat lentur, geser terhadap keseluruhan benda uji balok, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 2 m. Kemudian balok diberikan beban terpusat (P) secara kontinyu dengan kenaikan 50 Kg tiap pembebanan. Pembebanan dilakukan secara kontinyu hingga balok mengalami lenturan maksimal akibat beban puncak.

Mekanisme pola retak balok BTS-A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 5.2 cm pada tengah balok di posisi 22 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 200$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1100 Kg.

Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar $\pm 3,5$ mm yang terdapat pada kotak 22 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

Gambar 4.6 Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-A



2. Balok Tanpa Sambungan (BTS-B)

Mekanisme pola retak balok BTS-B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.7 cm pada tengah balok di posisi 23 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 100$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1070 Kg.

Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan ± 2.2 mm yang terdapat pada kotak 23 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.7 di bawah ini.

Gambar 4.7. Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-B

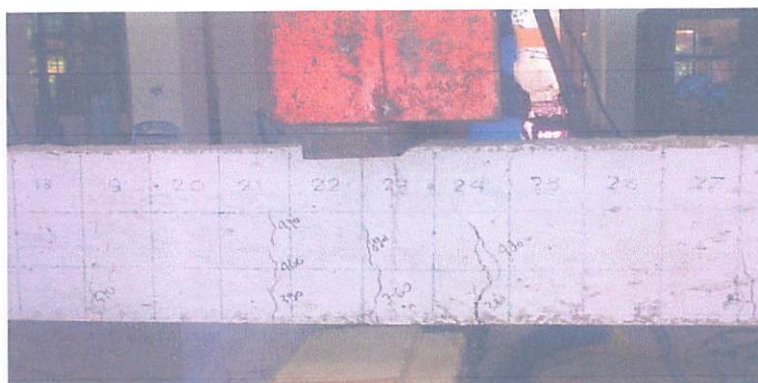


3. Balok Tanpa Sambungan (BTS-C)

Mekanisme pola retak balok BTS-C, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 4.8 cm pada tengah balok di posisi 24 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1150 Kg.

Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan ± 2 mm yang terdapat pada kotak 24 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.8 di bawah ini.

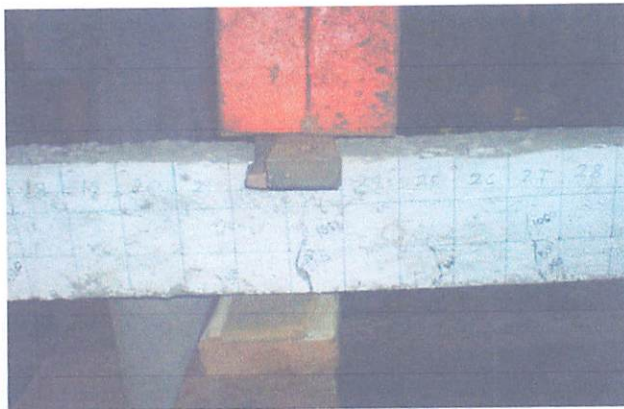
Gambar 4.8. Pola retak balok tanpa sambungan (BTS)-C



4. Balok Sambungan 1/4 A

Mekanisme pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang A, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang $\pm 9,8$ cm pada sambungan balok di posisi 22 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 1000 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3,64 mm yang terdapat pada kotak 22 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.9 di bawah ini.

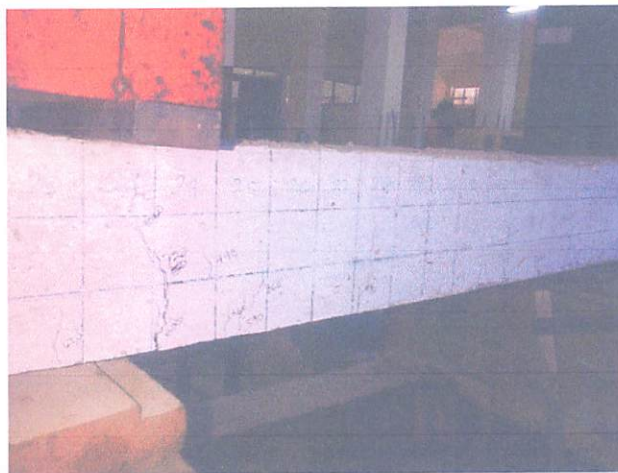
Gambar 4.9. Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat (1/4-A) bentang



5. Balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat ($1/4-B$) bentang

Mekanisme pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan sepertiga bentang B, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang $\pm 12,2$ cm pada sambungan balok di posisi 24 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 150$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 920 Kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 3.7 mm yang terdapat pada kotak 21 dari tumpuan kiri, seperti terlihat pada gambar 4.10 di bawah ini.

Gambar 4.10. Pola retak balok dengan jarak sambungan beton dan tulangan seperempat ($1/4-B$) bentang



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis balok tanpa sambungan (BTS) dan balok sambungan seperempat bentang ($B \frac{1}{4}$) dengan dimensi 100mm x 150mm, tulangan longitudinal \varnothing 8mm dan tulangan sengkang \varnothing 4,5mm, dengan bentang 2000mm, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Terjadinya perbedaan nilai lendutan balok sambungan seperlima bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 14,45%, hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak seperempat bentang berpengaruh terhadap lendutan.
2. Terjadinya perbedaan nilai kuat lentur balok sambungan seperlima bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 14,21%, hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal pada jarak seperempat bentang berpengaruh terhadap kuat lentur.
3. Terjadinya perbedaan nilai kuat geser balok sambungan seperlima bentang terhadap balok tanpa sambungan sebesar 13,80%, hal ini menunjukkan bahwa letak sambungan beton dan tulangan longitudinal dengan jarak seperempat bentang berpengaruh terhadap kuat geser.
4. Posisi retak awal yang terjadi terhadap balok tanpa sambungan, terjadi ditengah bentang dengan lebar retak akhir $\pm 3,5$ mm, sedangkan untuk balok sambungan $\frac{1}{4}$ bentang retak awal lebih mendekati pada posisi sambungan dengan lebar retak akhir $\pm 3,64$ mm, Jadi letak balok sambungan $\frac{1}{4}$ bentang sedikit berpengaruh terhadap perilaku retak.

5.2. Saran

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

1. Pembuatan benda uji sangat menentukan ketepatan hasil penelitian, antara lain dari segi kualitas, perawatan, maupun mobilisasi benda uji.
2. Memperbanyak variasi tulangan dan jumlah benda uji
3. Perlu diadakannya penelitian lanjutan dengan menggunakan lem beton pada sambungan.



DAFTAR PUSTAKA

Arif nurcahyo,0321011,2003,**Studi Penelitian Pengaruh Bahan Tambahan (Bond Crete) Terhadap Elemen Lentur (Balok) Antara Beton Lama Dan Baru Dengan Sambungan Miring Pada Jarak Sepertiga Panjang Balok**,ITN Malang

Nawi. G. Edward,**Beton Bertulang,Suatu Pendekatan Dasar**,PT. Refika Aditama,Bandung 1998

Badan Standardisasi Nasional, 2002, **Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2848-2002**, Bandung.

Imran, I., Kamaludin dan Hanafiah, “Perilaku Sambungan Antara Elemen Beton

Setiawan B., 2006, **Tinjauan Kekuatan Dan Analisis Teoritis Model Sambungan Untuk Momen Dan Geser Pada Balok Beton Bertulang**, UNS Surakarta

LAMPIRAN



JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

Pengaruh Sambungan Beton dan Tulangan Longitudinal Pada Jarak
Seperempat Terhadap Kekuatan Balok

NAMA : Lucky Cahya Permana
NIM : 07.21.076
PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL S-1
DOSEN PEMBIMBING : Yosimson P. Manaha, ST, MT.

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.		Balok 2 di selesak penulangan dan Beasting nya.	
2		Perencanaan balok quata mix design yg ada, penulangan balok di buat sambungan sesuai judul TA.	
3		Sambungan balok di cat warna berbeda dg cat balok. & dapat dilakukan pengujian.	

4. 16/03-2013 Teori nya pd Bab II di paribauki, Bab III paribauki Rumus 2 & tulangan 2 teoritis nya

18/04-13

- kurva hub. Teg. - Regangan
 - " " P - m
 - " " P - Δ
 - " " P - v
- dicek lagi: Rumus: pakai teori yg kuat & telah diuji.

[Signature]

08/05-13

- Foto: di berikan uraian & grafik: di berikan uraian pada lafaran TA
- kurva hub. Teg. Reg apa perlu dipakai karena tidak sesuai BAB I ?

[Signature]

28/05-13






- Hubungan P - m
- dicek lagi
- Hub. P - v dicek lagi
- kobaan P teoritis pakai nilai P max yang telah dicari

[Signature]

13/06-13

- Nilai P - teoritis tidak boleh dinaikkan sekebiasanya karena telah dihitung kekuatan balok teoritis dg rumus yg laku!
- Cek lagi cara menentukan P. eksperimen (kenapa & pakai yg teoritis)

[Signature]

25/06 - 13	<ul style="list-style-type: none"> - Nilai P teoritis belum bisa dikirina! - Nilai Peks. belum bisa dikirina, kbm pakai EC teoritis. - Cek logi karena P-m \Rightarrow P-V 	
02/07 - 13	<p>Lanjutkan keesimpulan lihat bujar penelitian</p>	
04/07 - 13	<ul style="list-style-type: none"> - Cek logi kesimpulan - lengkap: lampiran & tabel? /9 di buktikan 	
09/07 - 13	<ul style="list-style-type: none"> - Sempurnakan grafik? \Rightarrow Validasi penelitian di sempurnakan 	
12/07 - 13	<ul style="list-style-type: none"> - Sempurnakan Summary - Dapat Majo Seminar + hasil (ACC) - Aftensi ka materi presentasi seminar + hasil (power point) Sdr. 	





JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

**Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Longitudinal Pada Jarak
Sepertiga Bentang Terhadap Kekuatan Balok**

NAMA : Lucky Cahya Permana
NIM : 07.21.076
JURUSAN : TEKNIK SIPIL S-1
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Togi Nainggolan, MS

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	20/3-13.	proposalsi superseksi	NSP
2	15/5-13	Rekapitulasi hasil \geq pengujian kuat grafik & qvs uura berbeda	NSP
3	20/6-13.	buatkan Analisa perhit Teoritis dan Eksperimen-Perbedaan - % Despl.	NSP



JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI

**Pengaruh Sambungan Beton Dan Tulangan Longitudinal Pada Jarak
Sepertiga Bentang Terhadap Kekuatan Balok**

NAMA : Lucky Cahya Permana
NIM : 07.21.076
JURUSAN : TEKNIK SIPIL S-1
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Togi Nainggolan, MS

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
4.	4/7-13.	Buat Draft 4/ masalah semen, abstrak.	RF
5	16/7-13.	Ace semen hasil	RF



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTUR

Nama : LUCKY CAHYA
NIM : 0721076
Hari tanggal :

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi:

- Revisi: gbr gaya tekan tul. tekan C_s
pd. gbr torsi analisis mom. tul.
revisi:
- Betulkan notasi: g.n. pada x atau c .
- Pd. analisis torsi tdk perlu faktor beb..

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, 21-7- 2013

Dosen Pembahas

Malang, 25-7- 2013

Dosen Pembahas



**FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG**

Nama

NIM

Hari / tanggal :

Perbaikan materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

Gaya geser normal yg dapat
di tahan balok

Kesimpulan selengkap

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

Malang, 20

Dosen Pembahas

FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTUR

Nama : Lucky Cahya Permana

NIM : 0721076

Hari / tanggal : Rabu, 21 - 0 - 2013

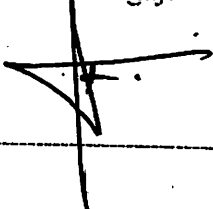
Revisi materi Skripsi meliputi :

- Gbr teori beton hal 20 betulkan.
- Daftar pustaka betulkan.
- Kesimpulan sempurnakan stg jelas mana yg lebih benar.

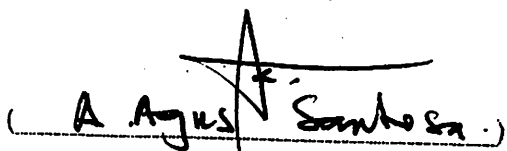
Ujian Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian
Pendaftaran. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Revisi Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 30 - 0 - 2013
Dosen Penguji



Malang, 21 - 0 - 2013
Dosen Penguji



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTUR

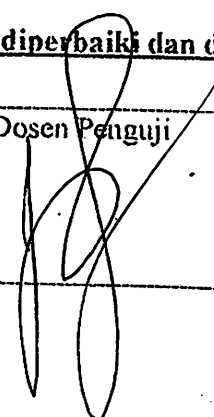
Nama : LUCKET CAHTA P.
NIM : 0721076
Hari / tanggal : Rabu / 21 Agustus 2013.

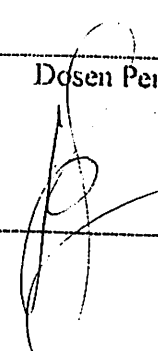
aikan materi Skripsi meliputi :

- kuat geser ?
- benda atau teoritis ?
- daftar pustaka.

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

s Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2013
Dosen Penguji


Malang, _____ 2013
Dosen Penguji




TEST REPORT

No: 1286

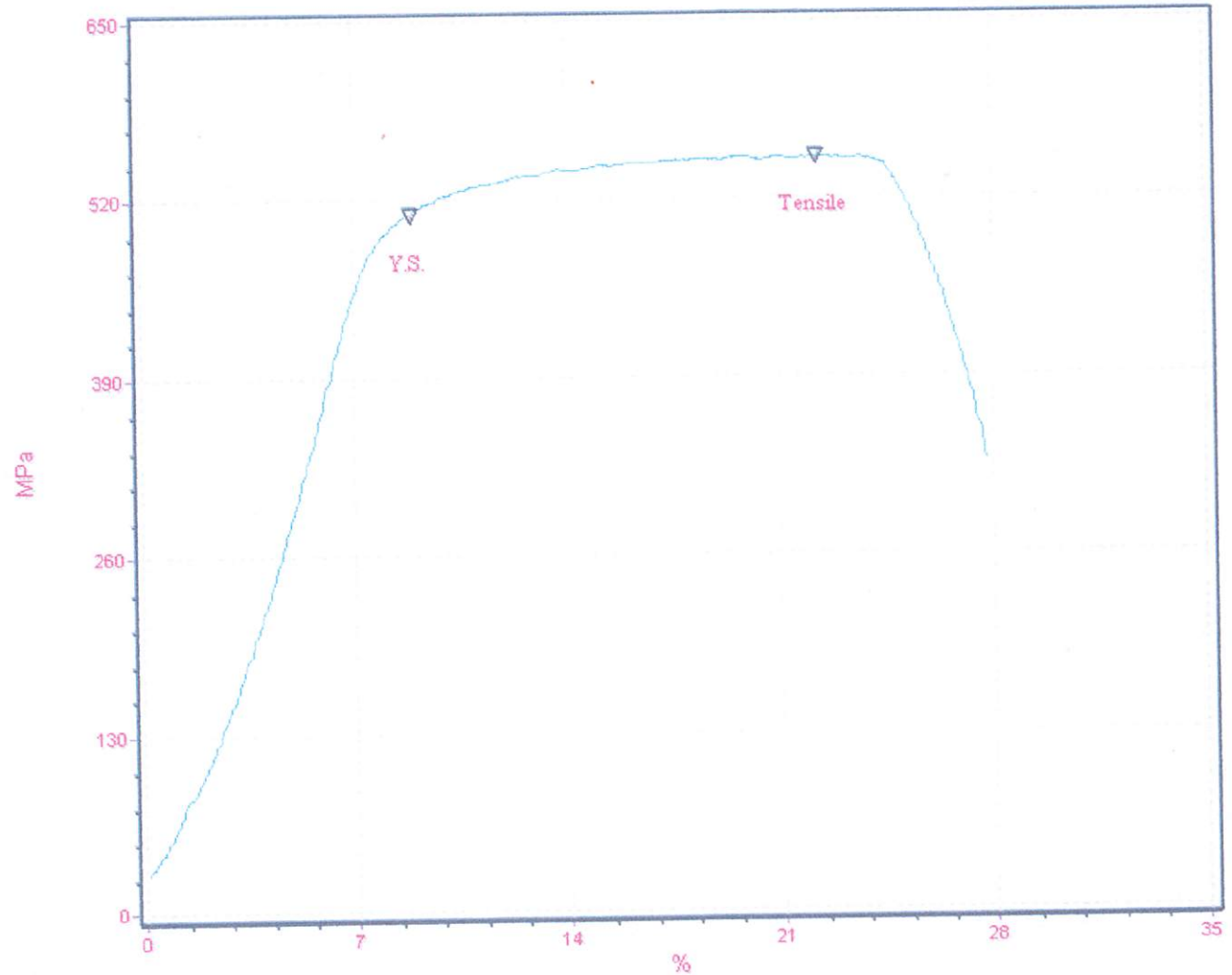
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 4 (A)	15.90	8761.20	510.509	550.870	27.733

1286-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST, MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN

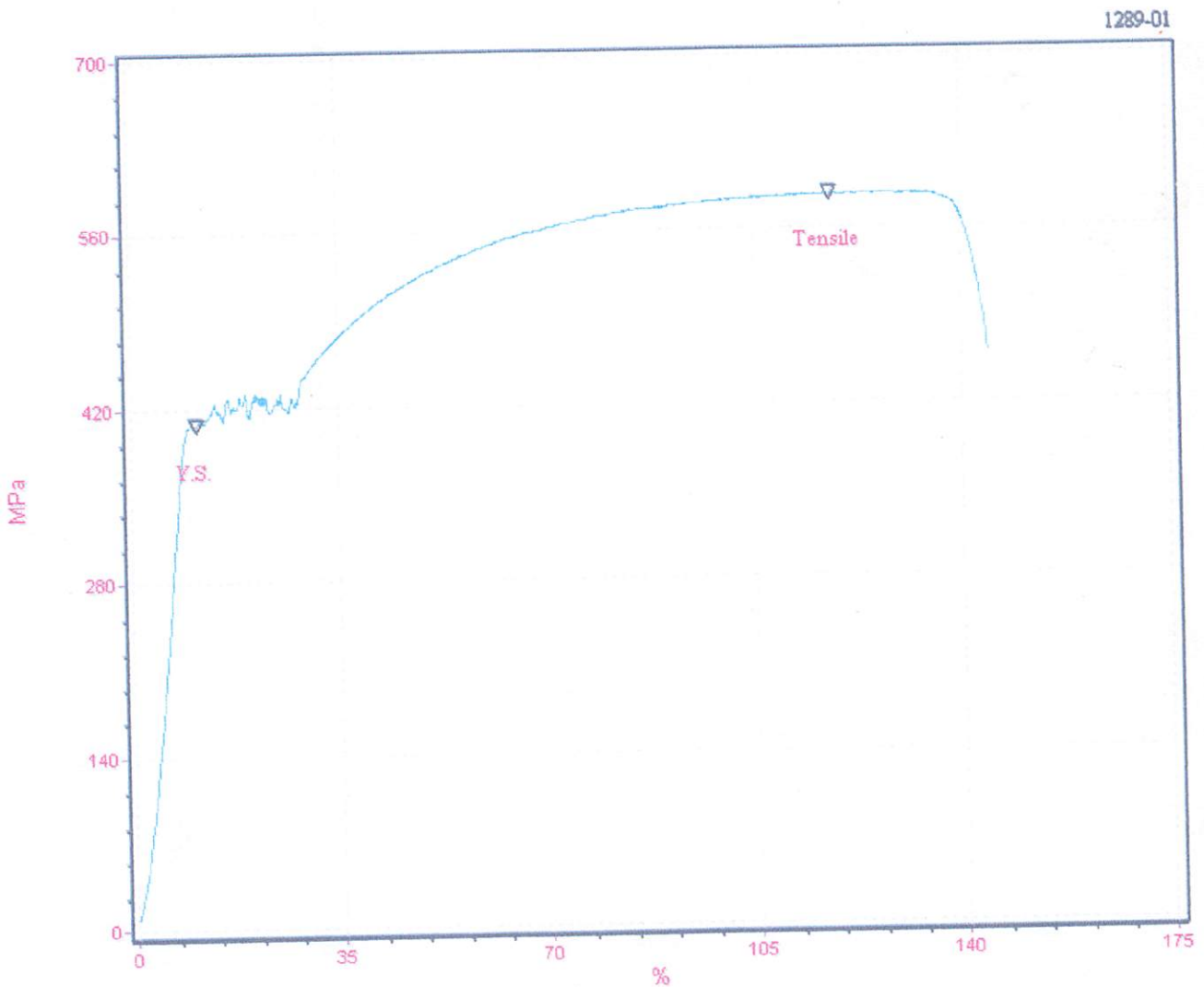
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

1289 Standard : ASTM A370 Test Description : Tensile Test Date : 11/12/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 8 (B)	50.27	29591.10	408.256	588.696	144.533



Kepala Laboratorium :

Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

: 1288

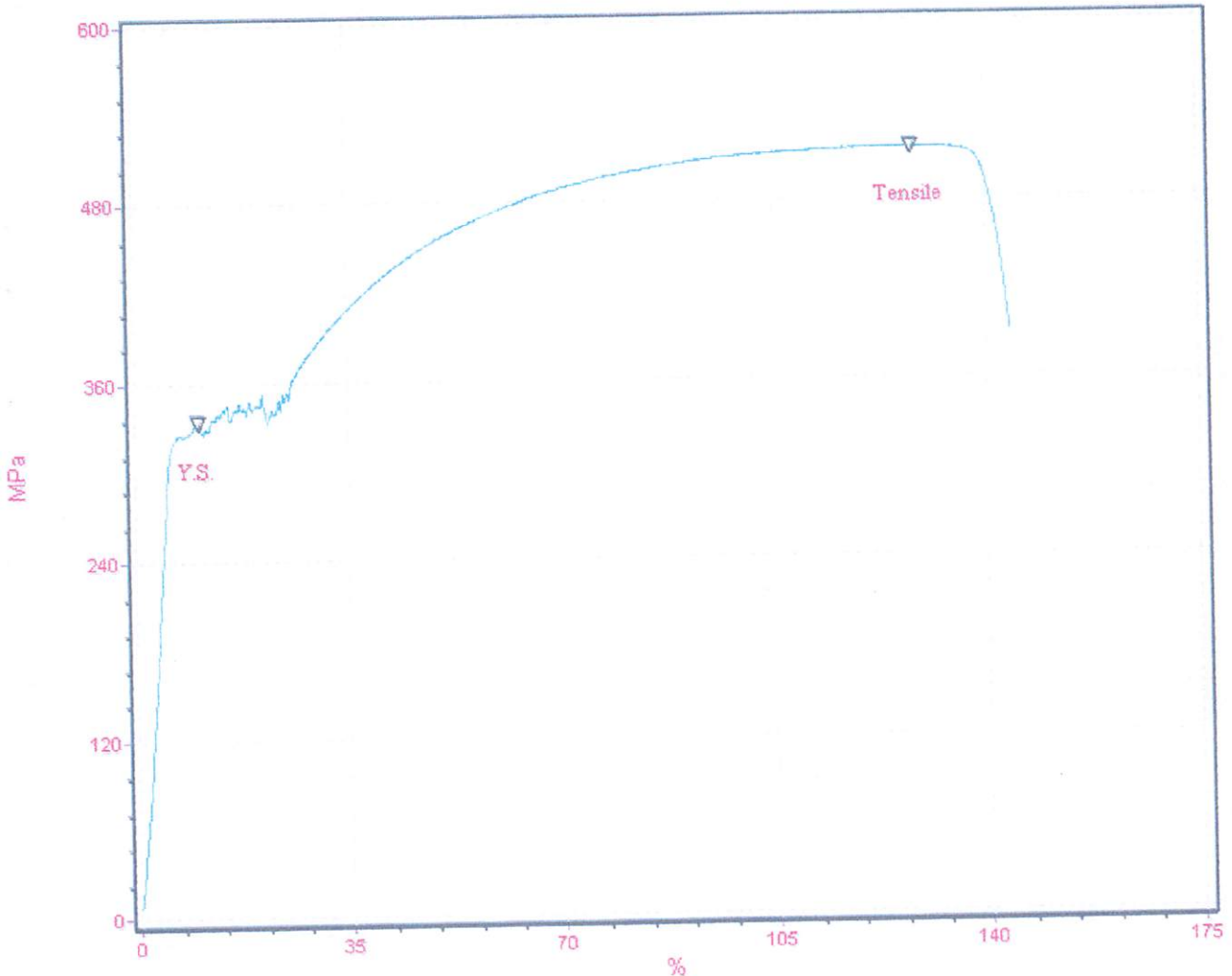
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 8 (A)	50.27	25891.60	334.950	515.097	144.000

1288-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



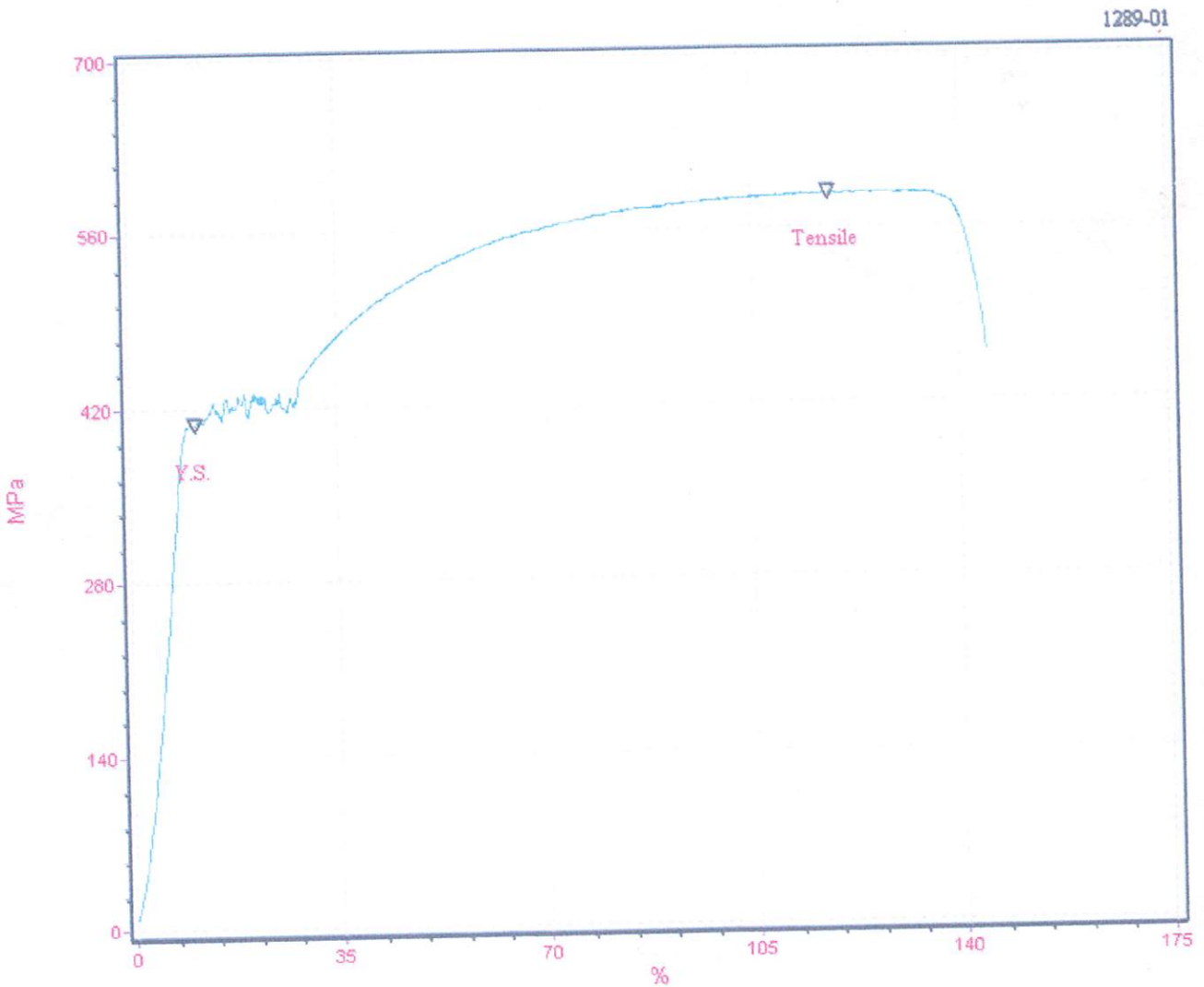
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL

Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

TEST REPORT

1289 Standard : ASTM A370 Test Description : Tensile Test Date : 11/12/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 8 (B)	50.27	29591.10	408.256	588.696	144.533



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



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

: 1288

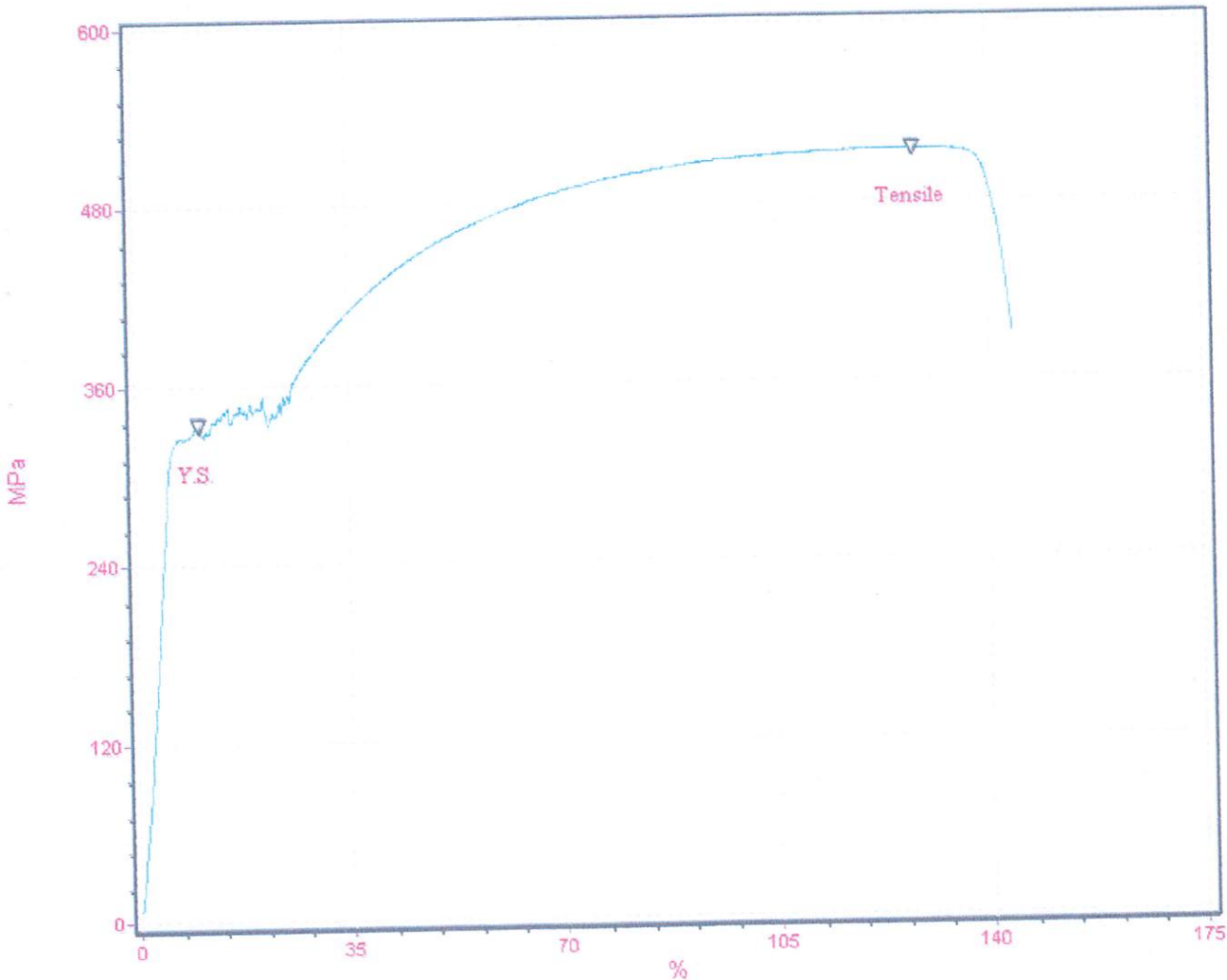
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 11/12/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 8 (A)	50.27	25891.60	334.950	515.097	144.000

1288-01



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



TEST REPORT

No : 1287

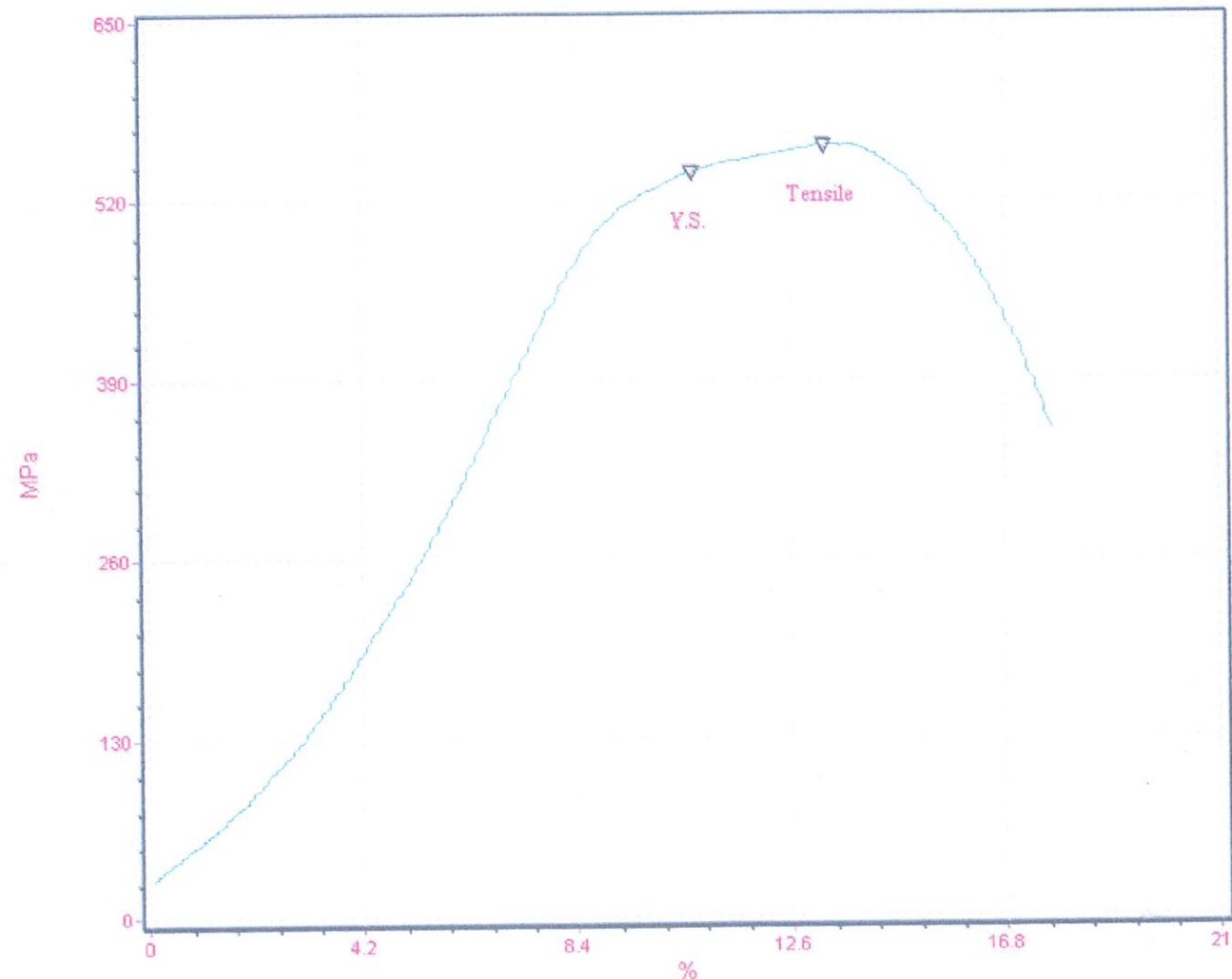
Standard : ASTM A370

Test Description : Tensile

Test Date : 12/11/2012

SPECIMEN	Area mm ²	Max. Force Newton	Yield Strength M.Pa	Tensile Strength M.Pa	Elongation %
Besi Polos 4 (B)	15.90	8903.30	540.394	559.804	17.689

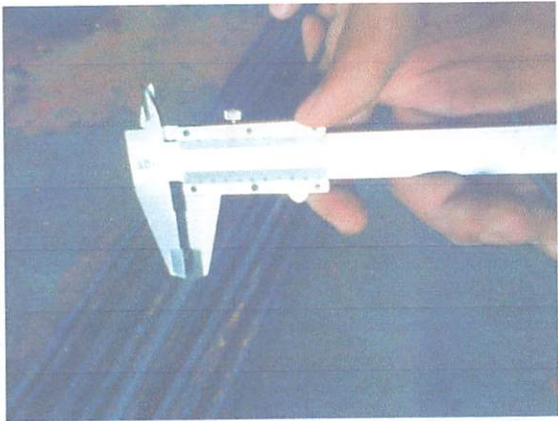
1287-01



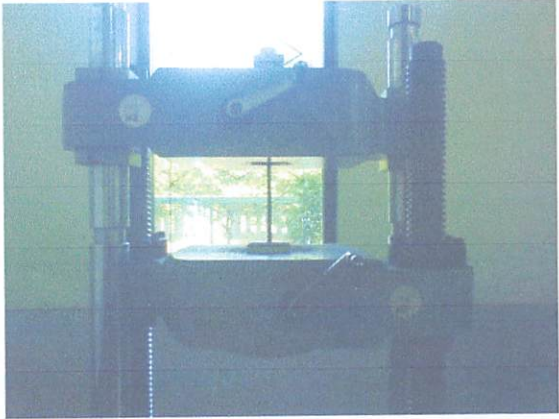
Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



Besi tulangan $\varnothing 8\text{mm}$ & $\varnothing 4,5\text{mm}$



Pengujian besi tulangan $\varnothing 8\text{mm}$ & $\varnothing 4,5\text{mm}$



Hasil pengujian besi tulangan % sengkang



Pekerjaan pembesian



Pekerjaan pembesian



Begesting



Pengujian agregat halus (pasir)



Pengujian agregat kasar (koral)



Pengecoran tahap 1



Pengecoran tahap 1



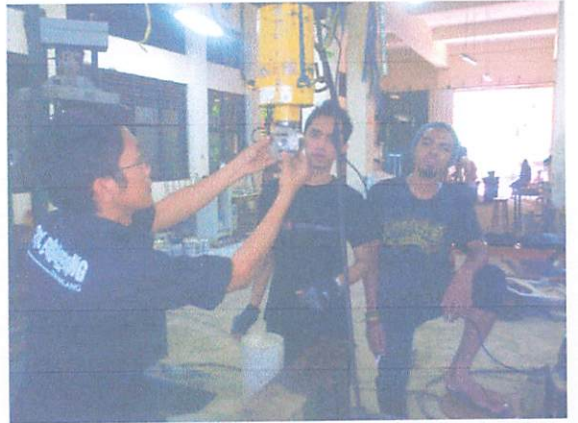
Pengecoran tahap 2



Benda uji silinder



Pengecatan permukaan benda uji



Persiapan pengujian



Pengujian



Pengujian rekam retak



Hasil pengujian