

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN
TARIK 3 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 DAN 4 Ø 7,4)**



**MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG**

Disusun Oleh :

**FELIX ARIBUS TALAN
03.21.086**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2012**

139112

ADAPT MANUFACTURING MATERIALS MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING

MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING

MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING
MANUFACTURING MANUFACTURING MANUFACTURING

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN
TARIK 3 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 DAN 4 Ø 7,4)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil Strata Satu (S-1)*

Disusun Oleh :

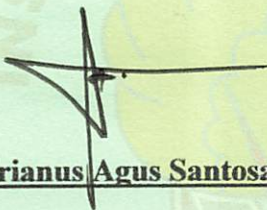
FELIX ARIBUS TALAN

03.21.086

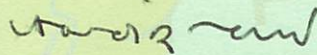
Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Andrianus Agus Santosa, MT



Ir. H. Sudirman Indra, MSc

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
2012**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN
TARIK 3 Ø 7,4
(VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 DAN 4 Ø 7,4)**

*Dipertahankan Dihadapan Dewan Penguji Ujian Skripsi
Jenjang Strata Satu (S-1) dan Diterima Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Pada Hari : Senin

Tanggal : 20 Februari 2012

Disusun Oleh :

FELIX ARIBUS TALAN

03.21.086

Disahkan Oleh:

Ketua



Ir. H. Hirijanto, MT

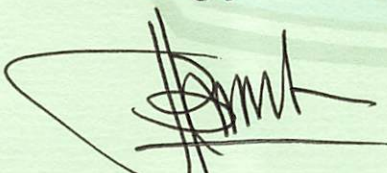
Sekretaris



Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT

Anggota Penguji :

Penguji I



Ir. Bambang Wedyantadji, MT

Penguji II



Yosimson Petrus Manaha, ST, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2012**



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Felix Aribus Talan

NIM : 03.21.086

Jurusan : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul :

“PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3 Ø 7,4 (VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 DAN 4 Ø 7,4)”

adalah tugas akhir saya sendiri, seluruhnya bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur karya orang lain kecuali disebut dari sumber aslinya.

Malang, 06 Maret 2012

Yang membuat pernyataan

METERAI
TEMPEL
PAJAK PEMERINTAH DAERAH
TGL
D4DF7AAF188632476
ENAM RIBU RUPIAH
6000 DJP



(FELIX ARIBUS TALAN)

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan selesainya skripsi ini.

Penulisan skripsi ini, merupakan syarat untuk menyelesaikan studi pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil Program Studi S-1 Institut Teknologi Nasional Malang.

Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyusunan skripsi ini, namun berkat bantuan berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ungkapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Ir. A. Agus Santosa, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
2. Ir. H. Hirijanto, MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
3. Ir. Bambang Wedyantadji, MT selaku Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi dan Bahan Jalan Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Ir. H. Sudirman Indra. M.Sc dan Ir. A. Agus Santosa, MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Yosimson P. Manaha, ST, MT selaku dosen Penguji yang telah memberikan masukan-masukan positif guna mendukung penyelesaian Skripsi ini.
6. Bapak Mahfud selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
7. Bapak I Komang Astana Widi, ST., MT selaku Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITN Malang yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.

8. Keluarga dan orangtua, yang selalu mendukung studi penulis hingga selesai.
9. Rekan-rekan mahasiswa program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan penelitian selanjutnya.

Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang akan melakukan penelitian lebih lanjut.

Malang, Februari 2012

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, Raja dari segala raja yang atas tuntunan dan penyertaan-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Saya persembahkan karya saya ini buat :

Bapa dan Mama saya tercinta Epk. Bernadus Talan dan Ibu Susana Bertha Talan atas doa, dorongan semangat, biaya kuliah dan kasih sayangnya selama ini. Kalianlah penuntun dan inspirasi hidup saya selama ini. Bapak yang walaupun dalam keadaan sakit masih memberikan dukungan kepada saya untuk menyelesaikan studi. Saya tahu bahwa selama beberapa tahun terakhir ini saya lalai dalam menjalankan kewajiban saya disini oleh karena itu saya mohon maaf yang sebesar-besarnya buat papa dan mama tercinta dan semoga Tuhan Yesus dengan kasih-Nya selalu menyertai kita semua.

Buat adek Selpy (ternyata adek duluan wisudanya walaupun cuma beda bulan), buat adek Yovi (belajar yang rajin cepat selesaikan kuliahnya, kakak papa dan mama cari uang). Epk Yusak, kakak Agus, kakak Nells, kakak Jemmy (terima kasih banyak buat transferan uangnya) tanpa kalian saya bukan apa-apa.

Buat Epk. Hirijanto, Ibu Lila, mas Rikrianto (terima kasih buat pelayanan dan kerja samanya selama ini).

TERIMA KASIH buat sobat-sobat yang banyak membantu saya :

Kakak Charles (terima kasih buat printernya, mudah-mudahan masih normal), Bagus Condro (mudah-mudahan kumis nu tambah lebat biar jadi pelet dan ingat IPK harus 3.00 jangan bikin malu ortu), Eli gondrong yang sekarang g' gondrong lagi (akhirnya kita lulus juga), Dyan alias Puspita alias Didi (susah ngomong ma ni orang so no comment), Zain (saya salut

“Segala perkara dapat ku tanggung didalam Dia yang memberi kekuatan kepada ku” (Filipi 4 : 13)

dengan perjuangan mu kawan, cepat-cepat lah lulus kan punya tanggung jawab besar). Jeffri. i. n1 (Lu lucu kaka bu n banyak membantu klo saya belum ada kirimman), Ramones (Lu paling OKI kawan hanya usaha supaya cepat lulus eeee), Daniel Jeffa (Lu tukang tipu di P.S... tapi baik hati, klo tidak ada uang lagi kita pi tulis di sumber sari atas nama lu, makasih eee), Alyoen's Milda (Adek bt narap ada perubahan yang signifikan dalam study), Wahyu Budianto (motifator penelitian yang banyak memberikan dorongan semangat buat team, thx bro...cepat-cepat lah berkeluarga..hehehe), Ois (Smart Anallys, masih fresh dan kayaknya lama menaikan karena pengen belajar dan belajar lagi....mudah-mudahan sukses di Palu ya mas bro), Antonius (calon orang Madura), Ahmad Nuryanto (Ojo nangis terus bos, kita udah lulus koq), Dewandaru (klo ke salon sisco suka liatin anaknya pemilik salon yang imoet, peace mas bro), Joko Hermanto (ngurusin burung aja kerjanya tapi saya salut kan bisa lulus juga bro, sukses ya), dan buat teman-teman yang lain (Methon, Ratna, Kiki, Dody, E, Pak mekos, on joni, o, gilberta, Papi Dethan, John Duka,) serta semua teman-teman yang kenal yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu, makasih atas semuanya maafkan kalau selama ini saya ada salah kata.

ABSTRAK

FELIX ARIBUS TALAN, 2012

” PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3 Ø 7,4 (VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 DAN 4 Ø 7,4)”

Pembimbing : Ir. Andrianus Agus Santosa, MT dan Ir.H.Sudirman Indra, M.sc.

Dalam pelaksanaan struktur, kita sering dihadapkan pada permasalahan di mana struktur yang kita rencanakan (biasanya balok) memiliki penampang tertentu dan penampang tersebut dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya. Maka diperlukan usaha lain untuk melakukan kontrol *lendutan*. Salah satunya adalah dengan penambahan jumlah tulangan didaerah tekan.

Dari segi ekonomi penggunaan tulangan tekan dengan tujuan untuk peningkatan kuat lentur suatu penampang merupakan cara yang kurang efisien dan jarang dilakukan kecuali sangat terpaksa. Karena itu perlu adanya penelitian lebih mengenai seberapa besar pengaruh penambahan tulangan tekan terhadap *lendutan* yang terjadi.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah *lendutan*. *lendutan* 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 memverifikasi *efektifitas* seperti yang telah diprediksi melalui pendekatan analisis, maka dilakukan uji eksperimental. Pengujian eksperimental tersebut memakai benda uji balok dengan dimensi 150 mm x 100 mm x 3000 mm dengan jumlah benda uji total 6 buah. Balok normal dengan tulangan tarik 3 Ø 7,4 dan tulangan tekan 2 Ø 7,4 berjumlah 2 buah, balok variasi 1 dengan tulangan tarik 3 Ø 7,4 dan tulangan tekan 3 Ø 7,4 berjumlah 2 buah, balok variasi 2 dengan tulangan tarik 3 Ø 7,4 dan tulangan tekan 4 Ø 7,4.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah tulangan tekan terhadap *lendutan* pada balok bertulangan tarik 3 Ø 7,4 (variasi tulangan tekan 2 Ø 7,4 ; 3 Ø 7,4 dan 4 Ø 7,4).

Berdasarkan parameter *lendutan* hasil analisa eksperimen balok dengan teoritis, dapat disimpulkan. Hal ini dibuktikan hasil pengujian eksperimental balok normal yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 1 terjadi perbedaan *lendutan* 80.82% dan hasil eksperimen balok normal yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *lendutan* 78.08 % dan hasil eksperimen balok variasi 1 yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *lendutan* 95.57%. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah tulangan tekan mampu mengurangi *lendutan* walaupun hasilnya masih terlalu besar atau dapat dikatakan bahwa formula yang digunakan belum sesuai.

Kata Kunci : efektifitas dan *lendutan*

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Lembar Persetujuan.....	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Pernyataan Keaslian Skripsi.....	iv
Kata Pengantar.....	v
Lembar Persembahan.....	vii
Abstrak.....	ix
Daftar Isi.....	x
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar.....	xvi
Daftar Lampiran.....	xx
Daftar Arti Lambang dan Singkatan.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Hipotesis Penelitian.....	3
1.7. Metodologi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pendahuluan.....	5
2.2. Bahan Penyusun Beton Bertulang.....	5
2.2.1. Semen.....	5
2.2.2. Agregat.....	6
a. Agregat Kasar.....	6
b. Agregat Halus.....	7

2.2.3.	Air.....	7
2.2.4.	Baja Tulangan.....	7
2.3.	Metode Analisis dan Perencanaan.....	8
2.3.1.	Konsep Dasar Balok.....	8
2.3.2.	Momen tahanan.....	9
2.4.	Lendutan.....	11
2.4.1.	Hubungan Beban dan Lendutan.....	11
2.4.2.	Perilaku Lendutan Balok.....	12
2.4.3.	Batasan-Batasan Lendutan.....	14
2.4.4.	Analisa Lendutan	16
	a. Moment retak	16
	b. Moment inersia penampang retak	16
	c. Lendutan Seketika (Short-term/immediate deflection)	18
	d. Pengendalian Retak.....	19
2.5.	Penelitian Terkait	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Umum.....	23
3.2.	Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3.	Metode Penelitian.....	23
3.4.	Bahan dan Benda Uji.....	24
	3.4.1. Bahan Uji.....	24
	3.4.2. Benda Uji.....	24
3.5.	Peralatan Penelitian	26
3.6.	Tahap Pelaksanaan Eksperimen	35
	3.6.1. Persiapan Bahan.....	35
	3.6.2. Pembuatan Sample.....	35
	3.6.3. Perawatan Benda Uji.....	37
	3.6.4. Proses Pengujian.....	38
3.7.	Prediksi Analitis.....	41
3.8.	Laporan Yang Akan Dikerjakan.....	42

3.9.	Bagan Alir Proses Penelitian.....	43
3.10.	Bagan Alir Pengujian Material Beton.....	44

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisis Hasil.....	45
4.1.1.	Data campuran beton.....	45
4.1.2.	Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton.....	46
4.1.3.	Data dan perhitungan kuat tarik baja.....	48
4.2.	Analisis Teoritis.....	49
4.2.1.	Kontrol momen.....	49
4.2.1.1.	Balok normal.....	49
4.2.1.2.	Balok variasi 1.....	55
4.2.1.3.	Balok variasi 2.....	61
4.2.2.	Perhitungan beban (P).....	69
4.2.3.	Perhitungan lebar retak.....	71
4.2.4.	Letak garis netral penampang transformasi.....	73
4.2.5.	Momen inersia penampang retak transformasi.....	77
4.2.6.	Momen inersia penampang utuh (I_g).....	78
4.2.7.	Momen saat timbul retak pertama kali (M_{cr}).....	78
4.2.8.	Momen inersia efektif (I_e).....	79
4.2.9.	Lendutan (Δ_{maks}).....	79
4.2.10.	Data lab.hasil pengujian lendutan.....	91
4.2.11.	Retak.....	97
4.3	Pembahasan.....	100
4.3.1	Mekanisme balok terlentur maksimal.....	100
4.3.2.	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen setiap balok.....	102
4.3.3.	Perbandingan teoritis antar balok.....	109
4.3.4.	Perbandingan eksperimen antar balok.....	110
4.3.5.	Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan.....	114

4.3.6. Perbandingan lebar retak arah horizontal eksperimen dan teoritis.....	117
4.3.7. Hubungan beban dan pola retak dengan penambahan tulangan tekan.....	117
4.3.8. Validasi lendutan teoritis dan eksperimen antar balok.....	133
4.3.9. Pengujian hipotesa.....	135

BAB V PENUTUP

6.1. Kesimpulan.....	137
6.2. Saran.....	138

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1	Ketebalan minimum balok non-prategang atau plat satu arah bila <i>defleksi</i> tidak dihitung..... 14
Tabel 2.2	Lendutan ijin maksimum..... 15
Tabel 2.3	Perumusan momen dan lendutan untuk beberapa kondisi beban dan pendukung yang paling umum..... 19
Tabel 3.1	Perincian tulangan dan variasi benda uji..... 24
Tabel 4.1	Proporsi campuran beton hasil mix design..... 46
Tabel 4.2	Hasil pengujian kuat tekan silinder beton..... 47
Tabel 4.3	Pemeriksaan mutu baja..... 48
Tabel 4.4	Analisis teoritis untuk pembebanan maksimum..... 71
Tabel 4.5	Analisis teoritis retak..... 72
Tabel 4.6	Momen Inersia Penampang retak Transformasi Teoritis..... 77
Tabel 4.7	Momen Inersia Timbul Retak Pertama Kali..... 79
Tabel 4.8	Hasil Analisis Momen Inersia Efektif (<i>I_e</i>) Akibat berat Sendiri dan Beban Terpusat Teoritis..... 80
Tabel 4.9	Hasil Analisis Lendutan (Δ) Teoritis..... 80
Tabel 4.10	Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) balok normal (BN)..... 84
Tabel 4.11	Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 1 (BB-1)..... 85
Tabel 4.12	Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 2 (BB-2)..... 86
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Balok Normal..... 91
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Balok Variasi 1..... 93
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Balok Variasi 2..... 95
Tabel 4.16	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok normal..... 103
Tabel 4.17	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 1 105
Tabel 4.18	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 2 107
Tabel 4.19	Perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen..... 109
Tabel 4.20	Perbandingan lendutan eksperimen antar balok..... 111
Tabel 4.21	Hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan.... 114
Tabel 4.22	Hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan..... 115
Tabel 4.23	Perbandingan lebar retak horisontal eksperimen dan teoritis.... 117

Tabel 4.24	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1A.....	118
Tabel 4.25	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1B.....	120
Tabel 4.26	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 1A.....	122
Tabel 4.27	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 1B.....	124
Tabel 4.28	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2A.....	126
Tabel 4.29	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2B.....	128
Tabel 4.30	Perbandingan perbedaan lendutan teoritis dan eksperimen antar balok.....	134
Tabel 4.31	Data pengamatan lendutan beban akhir (893.4 Kg).....	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman	
2.1	Distribusi regangan dan tegangan yang terjadi pada balok; (a) irisan penampang balok; (b) regangan; (c) dan (d) blok regangan ekuivalen asumsi.....	9
2.2	Lendutan pada balok.....	11
2.3	Hubungan beban- <i>defleksi</i> balok. Daerah I, tahap praretak; Daerah II, tahap pascaretak; Daerah III, tahap pasca kemampuan layan (baja meleleh).....	13
2.4	Balok yang dibebani secara terpusat pada saat tahap praretak.....	13
2.5	Penampang balok transformasi tanpa tulangan desak.....	16
2.6	Penampang balok transformasi dengan tulangan desak.....	17
2.7	Luas tarik efektif beton.....	20
3.1	Sketsa tipe benda uji.....	25
3.2	Kaliper.....	26
3.3	Timbangan.....	26
3.4	Cetakan Balok.....	27
3.5	Mesin Aduk (Molen).....	27
3.6	Gelas Ukur.....	28
3.7	Kerucut Abrams.....	28
3.8	Saringan.....	29
3.9	Cetok.....	29
3.10	Mesin Los Angles.....	30
3.11	Proving Ring.....	30
3.12	Loading Frame.....	31
3.13	Hydraulic jack.....	31
3.14	Linier Variable Displacement Transducer (LVDT).....	32
3.15	Mesin Uji Tekan.....	32
3.16	MVD Amplifier.....	33
3.17	Mesin Uji Kuat Tarik Baja.....	33
3.18	Crack Detector.....	34
3.19	Sketsa proses pengujian lendutan.....	40
3.20	Bagan alir rencana penelitian.....	43
3.21	Bagan alir pengujian material.....	44
4.1	Penampang balok normal.....	49
4.2	Penampang balok normal asumsi garis netral berada diantara	

	tulangan tekan dan tulangan tarik.....	50
4.3	Model diagram regangan tulangan.....	52
4.4	Diagram regangan dan tegangan balok normal.....	54
4.5	Penampang balok variasi 1.....	55
4.6	Penampang balok variasi 1 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik.....	56
4.7	Penampang balok variasi 1 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan.....	58
4.8	Diagram regangan dan tegangan balok variasi 1.....	60
4.9	Penampang balok variasi 2.....	61
4.10	Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik.....	62
4.11	Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan.....	64
4.12	Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2.....	68
4.13	Sketsa penempatan balok saat pengujian.....	69
4.14	Sketsa pembebanan terpusat.....	69
4.15	Sketsa pembebanan merata.....	70
4.16	Penampang transformasi balok normal.....	73
4.17	Penampang transformasi balok variasi 1.....	74
4.18	Penampang transformasi balok variasi 2.....	76
4.19	Sketsa penempatan balok saat pengujian.....	81
4.20	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok normal (BN)..	88
4.21	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok variasi 1 (BB-1).....	89
4.22	Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok variasi 2 (BB-2).....	90
4.23	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok normal 1A dan 1B.....	92
4.24	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok variasi 1A dan 1B.....	94

4.25	Grafik hubungan beban eksperimen-lendutan balok variasi 2A dan 2B.....	96
4.26	Retak awal yang terjadi pada balok normal 1A.....	97
4.27	Retak awal yang terjadi pada balok normal 1B.....	97
4.28	Retak awal yang terjadi pada balok variasi 1A.....	98
4.29	Retak awal yang terjadi pada balok variasi 1B.....	98
4.30	Retak awal yang terjadi pada balok variasi 2A.....	99
4.31	Retak awal yang terjadi pada balok variasi 2B.....	99
4.32	Balok mengalami lendutan akibat beban puncak.....	100
4.33	Pengukuran panjang retak.....	101
4.34	Pengukuran lebar retak akhir.....	102
4.35	Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok normal..	104
4.36	Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 1	106
4.37	Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 2	108
4.38	Grafik lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen.....	110
4.39	Grafik lendutan eksperimen antar balok.....	112
4.40	Grafik lendutan teoritis dan eksperimen antar balok.....	113
4.41	Grafik Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan; (a) teoritis, (b) eksperimen.....	116
4.42	Grafik Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1A.....	119
4.43	Grafik Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1B.....	121
4.44	Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1A.....	123
4.45	Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1 B.....	125
4.46	Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2A.....	127
4.47	Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2B.....	129

4.48	Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A (a) dan balok normal 1B (b).....	130
4.49	Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A (a) dan balok variasi 1B (b).....	131
4.50	Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A (a) dan balok variasi 2B (b)	132

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Gambar dimensi cetakan benda uji
- Lampiran B Gambar alat-alat percobaan dan dokumentasi kegiatan
- Lampiran C Gambar pola retak balok
- Lampiran D Hasil uji laboratorium
- Lampiran E Surat, lembar asistensi dan lembar revisi

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan keterangan
<i>a</i>	Tinggi blok tegangan
<i>A</i>	Luas benda uji
<i>A_s</i>	Luas tulangan tarik
<i>A'_s</i>	Luas tulangan tekan
<i>b</i>	Lebar balok
<i>y</i>	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
<i>C_c</i>	Gaya tekan beton
<i>C_s</i>	Gaya tekan baja
<i>d</i>	Tinggi efektif balok
<i>d'</i>	Jarak dari tepi serat tertekan kepusat tulangan tekan
\emptyset	Diameter baja tulangan
<i>E_c</i>	Modulus elastis beton
<i>E_s</i>	Modulus elastis baja
<i>f_c</i>	Kuat tekan beton
<i>f_s</i>	Tegangan baja tarik
<i>f_r</i>	Modulus keruntuhan beton
<i>f_u</i>	Tegangan tarik ultimit
<i>f_y</i>	Tegangan leleh baja
<i>h</i>	tinggi balok
<i>I</i>	Inersia penampang
<i>L</i>	Panjang balok
<i>M</i>	Momen
<i>M_{cr}</i>	Momen retak dari beton
<i>M_n</i>	Momen nominal
<i>P</i>	Gaya, beban

P_u	Beban ultimit
S	Momen statis dari bagian yang tergeser terhadap garis netral
Δ	Lendutan, defleksi
Δ_y	Lendutan leleh
β	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
ε_c	Regangan beton
ε_s	Regangan baja tarik
ε_s'	Regangan baja tekan
ε_y	Regangan leleh baja

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejalan dengan perkembangan pesat ilmu pengetahuan dan teknologi, maka semakin banyak dan intensif pula penggunaan bahan-bahan mutu tinggi di dunia struktur bangunan, dalam hal ini termasuk penggunaan bahan beton dan baja tulangan. Diketahui bahan beton begitu kuat terhadap tekan sedang, baja tulangan mampu memikul tarik. Kombinasi keduanya memberikan kekuatan struktural pada suatu konstruksi.

Kekuatan struktural dari kedua bahan tersebut harus direncanakan agar setiap struktur dan komponen struktur memiliki cukup kekuatan struktural untuk mendukung beban rencana terfaktor yang bekerja padanya. Di samping itu, komponen struktur harus memenuhi kemampuan kelayakan pada tingkat beban kerja (layan), atau mampu menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada strata beban kerja, yang salah satunya ditentukan oleh *defleksi*.

Defleksi terjadi akibat dipengaruhi oleh beban yang bekerja. Di mana besar beban yang bekerja berbanding lurus dengan nilai *defleksi* yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban, semakin besar pula *defleksi*-nya.

Dalam pelaksanaan struktur, kita sering dihadapkan pada permasalahan di mana struktur yang kita rencanakan (biasanya balok) memiliki penampang tertentu dan penampang tersebut dikehendaki untuk menopang beban yang lebih besar dari kapasitasnya. Di lain pihak, pertimbangan teknis pelaksanaan dan arsitektural membatasi dimensi penampang. Maka diperlukan usaha-usaha lain untuk memperbesar kuat momen penampang balok yang sudah tentu dimensinya tersebut. Apabila hal demikian yang dihadapi, SNI-03-2847-2002 pasal 12.3 ayat 4 memperbolehkan penambahan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan. Pada keadaan demikian tulangan baja tekan bermanfaat untuk memperbesar kekuatan balok, dan memperkecil *defleksi* yang terjadi.

Akan tetapi, dari segi ekonomi penggunaan tulangan tekan dengan tujuan untuk peningkatan kuat lentur suatu penampang merupakan cara yang kurang

efisien dan jarang dilakukan kecuali sangat terpaksa. Karena itu perlu adanya penelitian lebih mengenai seberapa besar pengaruh penambahan tulangan tekan terhadap *defleksi* yang terjadi. Sehingga judul penelitian yang akan dilakukan adalah “*Pengaruh Penambahan Jumlah Tulangan Tekan Terhadap Lendutan Pada Balok Bertulangan Tarik 3Ø7.4 (Variasi Jumlah Tulangan Tekan 2Ø7.4 3Ø7.4 dan 4Ø7.4)*”.

Penelitian dilakukan dengan cara eksperimen di laboratorium setelah diasumsi secara teoritis.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang dipaparkan, maka rumusan permasalahan yang akan kami teliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana bentuk *defleksi* yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, baik secara eksperimen dan teoritis pada variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4 ?
2. Bagaimana bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan beban akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, baik secara eksperimen dan teoritis pada variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4 ?
3. Bagaimana bentuk retak yang terjadi pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4 dengan variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4 ?

1.3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui *defleksi* yang terjadi pada setiap penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4 dengan variasi jumlah tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.
2. Mengetahui bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, pada variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.

3. Mengetahui bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4 dengan variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan tujuan yang ingin dicapai, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dalam bentuk informasi bagi para praktisi konstruksi dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur gedung di masa yang akan datang, khususnya pada perencanaan dan kontrol *defleksi* balok.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari rumusan masalah dan diharapkan mencapai tujuan yang diinginkan, maka pembatasan-pembatasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Defleksi yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, mutu beton $f'c = 29.71$ MPa, balok ukuran 100x150x3000 mm, variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.
2. Bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan beban akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, mutu beton $f'c = 29.71$ MPa, balok ukuran 100x150x3000 mm, variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.
3. Bentuk retak yang terjadi pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, mutu beton $f'c = 29.71$ MPa, balok ukuran 100x150x3000 mm, variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4.

1.6. Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

1. H_0 = Terdapat pengaruh pada defleksi akibat penambahan tulangan tekan antara tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4, pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4.

2. H_a = Tidak terdapat pengaruh pada defleksi akibat penambahan tulangan tekan antara tulangan tekan 2Ø7.4, 3Ø7.4 dan 4Ø7.4. pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4.

1.7. Metodologi

Metode pengambilan data yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah :

1. Observasi, yaitu pengambilan data secara visual atau pengamatan langsung pada saat penelitian di laboratorium.
2. Studi literatur, yaitu mencari bahan-bahan masukan dari buku-buku yang berkaitan dengan penelitian.
3. Dokumentasi, yaitu hasil pengamatan di laboratorium yang difotokan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air sehingga membentuk suatu massa mirip batuan. Kekuatan, keawetan dan sifat-sifat lain beton tergantung pada bahan campurannya (sifat dan proporsinya), pengolahannya (cara mencampur/mengaduk, menuang/mencetak dan memadatkan) dan perawatan selama proses pengerasan.

Sedang beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja dimana baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan 2200 Kg/cm^3 - 2500 Kg/cm^3 dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah maupun tidak dipecah (SNI 03-2847-2002).

2.2. Bahan Penyusun Beton Bertulang

2.2.1. Semen

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat bereaksi secara kimia dengan air sehingga membentuk material yang padat. Pada umumnya semen untuk bahan bangunan adalah tipe Semen Portland.

Menurut ASTM C150, 1985 Semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya.

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SNI 15-2049-1994 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar tersebut (*Tri Mulyono, 2003*). Beberapa macam Semen Portland yang beredar di Indonesia, antara lain:

1. PPC : Potland Pozolan Cement.
2. OPC : Ordinary Portland Cement.
3. SBC : Special Blended Cement.

2.2.2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60-80% volume agregat. Untuk mendapatkan beton yang baik, diperlukan agregat yang mempunyai kualitas yang baik pula, agregat yang baik dalam pembuatan beton harus mempunyai persyaratan ASTM C 33, yaitu:

1. Harus bersifat kekal, berbutir tajam dan kuat,
2. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5% untuk agregat halus, dan 1% untuk agregat kasar,
3. Tidak mengandung bahan-bahan organik dan zat-zat yang reaktif alkali, dan
4. Harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.

Sedangkan maksud dari penggunaan agregat dalam pembuatan campuran beton adalah:

1. Menghemat penggunaan Semen Portland,
2. Menghasilkan beton dengan kekuatan besar,
3. Mengurangi penyusutan pada saat pengerasan beton,
4. Dengan gradasi yang dapat tercapai beton padat,
5. Mudah dikerjakan (*workable*).

a. Agregat Kasar

Berupa kerikil, sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 4 mm (SNI-03-2847-2002). Atau didefinisikan sebagai butiran yang tertahan saringan 4.75 mm (no.4 standar ASTM). Agregat kasar harus bersih dari bahan-bahan organik dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen (*Edward G.Nawy, 1990*).

b. Agregat Halus

Berupa pasir alam, sebagai hasil disintregasi 'alami' batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu (*artificial sand*) dan mempunyai ukuran butir terbesar 5.00 mm (SK SNI 03-2847-2002).

Berdasarkan ASTM ukurannya bervariasi antara No. 4 dan No. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang baik harus bebas dari bahan organik, lempung, partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100 atau bahan-bahan lain yang dapat merusak beton (*Edward G. Nawy, 1990*).

2.2.3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Penggunaan air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton menjadi rendah. Proporsi air ini dinyatakan dalam rasio air semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (kg) dibagi dengan berat semen (kg) dalam adukan beton tersebut (*L. wahyudi Syahril A. Rahim*).

2.2.4. Baja Tulangan

Baja tulangan merupakan bahan yang digunakan sebagai tulangan pada konstruksi beton bertulang dan merupakan bahan utama yang dihitung untuk memikul kekuatan tarik pada konstruksi beton bertulang.

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang-batang, kawat-kawat dan pabrikasi kawat las (*welded wire fabric*), semua harus menurut standar ASTM.

Properti-properti yang terpenting dari baja tulangan adalah (*Nawy, E.G.; Tavo; dan Kusuma, B., 2010*) :

1. Modulus Young, E_s
2. Kekuatan leleh, F_y
3. Kekuatan ultimat, F_u
4. Penamaan mutu baja
5. Ukuran atau diameter batang atau kawat

2.3. Metode Analisis dan Perencanaan

2.3.1. Konsep Dasar Balok

Beban-beban yang bekerja pada sebuah struktur, baik berupa beban gravitasi hidup ataupun tipe-tipe yang lain, akan mengakibatkan lentur dan deformasi elemen-elemen struktural penyusunnya. Lentur elemen balok adalah akibat dari regangan deformasi yang disebabkan oleh tegangan-tegangan lentur akibat beban eksternal.

Sebagaimana beban ditingkatkan, balok akan menahan regangan dan lendutan tambahan, mengakibatkan pembentukan retak-retak lentur sepanjang bentang dari balok balok tersebut. Penambahan yang terus-menerus terhadap tingkat beban mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut. Suatu tingkat beban yang seperti itu diistilahkan keadaan batas kegagalan terhadap lentur. Konsekuensinya, mendesain irisan penampang elemen atau balok sehingga tidak akan mengakibatkan retak yang berlebihan pada saat tingkat beban layan yang memiliki keamanan dan kekuatan cadangan yang cukup untuk menahan beban-beban atau tegangan-tegangan yang diterapkan tanpa kegagalan.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam mendefinisikan perilaku penampang adalah sebagai berikut (*Nawy, E.G.; Tavo; dan Kusuma, B., 2010*) :

1. Distribusi regangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tetap tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.

2. Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya.

2.3.2. Momen Tahanan

Untuk memenuhi kesetimbangan gaya-gaya horizontal, gaya tekan (C) dalam beton dan gaya tarik (T) dalam baja harus seimbang satu sama lain, yaitu (Nawy, E.G.; Tavio; dan Kusuma, B., 2010) :

$$C = T$$

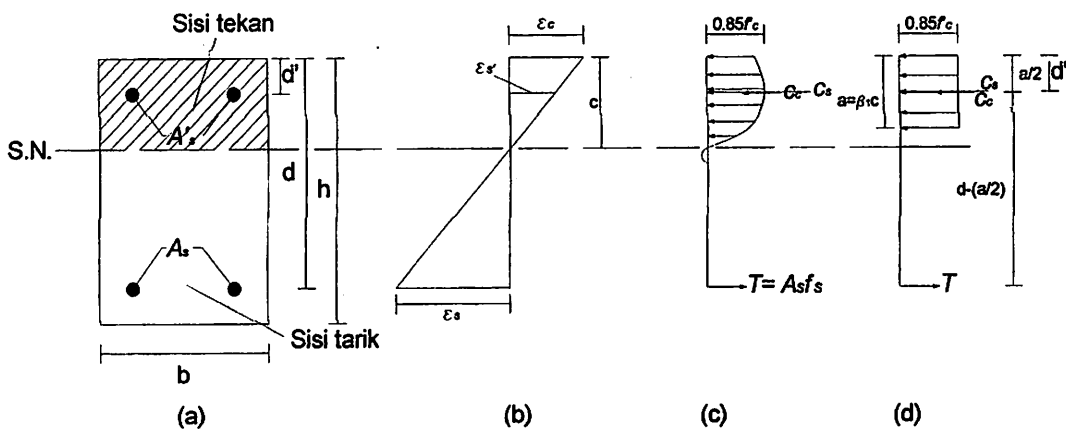
Dimana :

$$C = 0.85 f'_c b a$$

$$T = A_s f_y$$

Sehingga rumus kesetimbangan menjadi :

$$0.85 f'_c b a = A_s f_y$$



Gambar 2.1 Distribusi regangan dan tegangan yang terjadi dalam balok; (a) irisan penampang balok; (b) regangan; (c) dan (d) blok tegangan ekuivalen asumsi.

Berdasarkan gambar di atas, dijabarkan perhitungan momen tahanan sebagai berikut.

$$T_s = C_c + C_s$$

Dimana :

$$T_s = A_s f_y \quad C_c = 0.85 f'_c a b \quad C_s = A'_s f'_s$$

Pada gambar 2.1 (d) nilai a dapat dirumuskan sebagai $\beta_1 C$. Sehingga rumus C_c di atas dapat dituliskan sebagai berikut, $0.85 f'_c (\beta_1 C) b$.

Pada rumus C_s di atas, nilai f'_s dapat ditentukan dari rumus $\epsilon' s E_s$. Nilai $\epsilon' s$ dapat diperoleh dari diagram regangan (gambar 2.1(b)) dengan rumus perbandingan segitiga sebagai berikut :

$$\frac{\epsilon' s}{\epsilon' c} = \frac{c - d'}{c} \rightarrow \epsilon' s = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon' c$$

$$f'_s = \epsilon' s \times E_s \rightarrow f'_s = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon' c \times E_s$$

Karena nilai $\epsilon' c = 0.003$ dan nilai $E_s = 200000$ MPa.

$$\epsilon' c \times E_s = 0.003 \times 200000 = 600$$

Sehingga :

$$f'_s = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

Maka rumus-rumus di atas menjadi :

$$C_c = 0.85 f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b$$

$$C_s = A'_s \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

Nilai momen tahanan adalah :

$$M_n = C_c Z_1 + C_s Z_2$$

Dimana nilai $Z_1 = d - (a/2)$ dan $Z_2 = d - d'$ (gambar 2.1(d))

Keterangan :

b = lebar balok pada sisi tekan

d' = kedalaman balok diukur dari serat tekan terluar ke pusat luasan baja

d = kedalaman balok setelah dikurangi d'

h = kedalaman balok total (mm)

A_s = luasan baja tarik (mm^2)

A'_s = luasan baja tekan (mm^2)

ϵ_c = regangan pada serat tekan terluar. Maksimum sebesar 0.003 (ACI)

ϵ'_s = regangan pada ketinggian baja tekan

ϵ_s = regangan pada ketinggian baja tarik

f'_c = kekuatan tekan beton (MPa)

f'_s = tegangan dalam baja tekan (MPa)

f_s = tegangan dalam baja tarik (MPa)

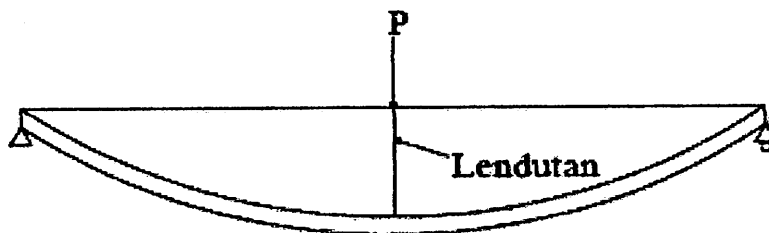
f_y = kekuatan leleh tulangan tarik (MPa)

c = kedalaman sumbu netral diukur dari serat-serat tekan terluar (mm).

2.4. Lendutan

2.4.1. Hubungan Beban dan Lendutan

Menurut Park dan Pauley, (1975), jika suatu balok dikenai beban, maka balok yang semula lurus akan mengalami perubahan bentuk menjadi sebuah kurva yang disebut dengan kurva lendutan (Δ) yang akan terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Lendutan pada balok

2.4.2. Perilaku Lendutan Balok

Hubungan beban-lendutan suatu balok beton bertulang pada dasarnya adalah trilinear atau tersusun dari tiga daerah sebelum keruntuhan (gambar 2.6), yaitu (Nawy, E.G.; Tavio; dan Kusuma, B., 2010) :

1. Daerah I : tahap praretak, dimana suatu anggota struktural bebas-retak (gambar 2).
2. Daerah II : tahap pascaretak, dimana anggota struktural menghasilkan retak terkontrol yang dapat diterima baik dalam distribusi maupun lebarnya.
3. Daerah III : tahap retak pasca kemampuan layanan, dimana tegangan dalam tulangan tarik mencapai keadaan batas leleh.

1. Tahap Praretak : Daerah I

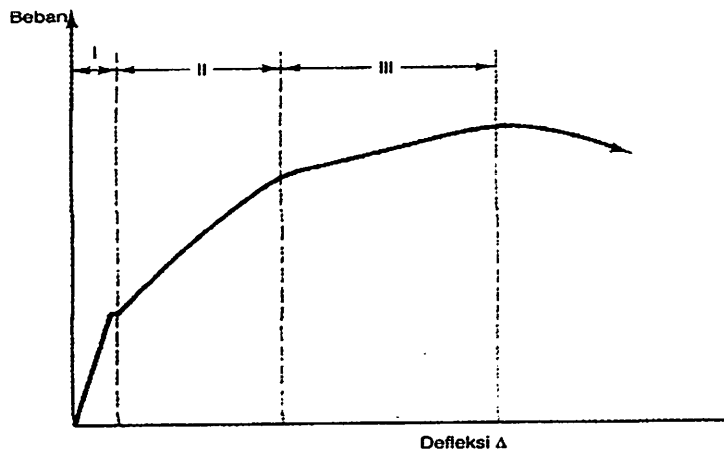
Segmen praretak dari kurva beban-lendutan pada dasarnya merupakan sebuah garis lurus yang menentukan perilaku elastis penuhnya. Tegangan tarik maksimum dalam balok di daerah ini lebih kecil dari kekuatan tariknya terhadap lentur, yaitu lebih kecil dari modulus runtuh beton (f_r).

Daerah praretak berhenti pada permulaan retak lentur yang pertama ketika tegangan beton mencapai kekuatan modulus runtuhnya (f_r). Serupa dengan kekuatan pembelahan tarik langsung, modulus runtuh beton proposional terhadap akar kuadrat kekuatan tekannya.

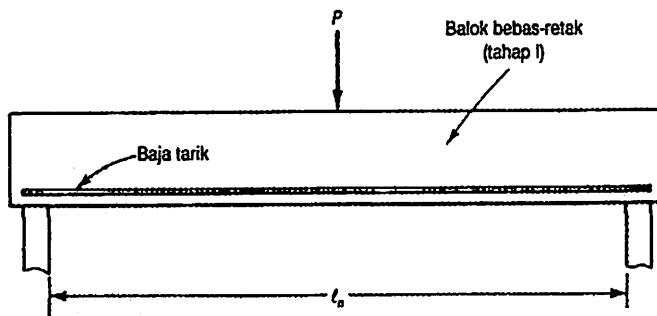
2. Tahap Pasca Retak : Daerah II

Daerah praretak berakhir pada permulaan retak yang pertama dan bergerak kedalam daerah II dari diagram beban-lendutan. Kebanyakan balok terletak di dalam daerah ini pada saat beban-beban layan bekerja.

Sebuah balok mengalami berbagai derajat keretakan sepanjang bentang yang berkaitan dengan tingkat-tingkat tegangan dan lendutan di setiap penampang.



Gambar 2.3 Hubungan beban-lendutan balok. Daerah I, tahap praretak; Daerah II, tahap pascaretak; Daerah III, tahap pasca kemampuan layan (baja meleleh).



Gambar 2.4 Balok yang dibebani secara terpusat pada saat tahap praretak.

3. Tahap Beban Layan Pascaretak : Daerah III

Diagram beban-lendutan jauh lebih mendatar dalam daerah III dari pada daerah-daerah sebelumnya. Hal ini disebabkan karena kehilangan kekakuan di dalam penampang yang besar karena retak yang ekstensif dan pelebaran retak-retak yang besar yang stabil disepanjang bentang.

Bilamana beban berlanjut meningkat, maka balok berada pada tahap dianggap mengalami kegagalan secara struktural dengan pelelehan awal baja tarik. Pada akhirnya, sebuah kegagalan tekan sekunder terjadi, yang mengakibatkan kehancuran total beton di daerah momen maksimum, yang diikuti dengan keruntuhan.

Beton memiliki sifat susut dan rangkak. Susut adalah pemendekan beton selama proses pengerasan dan pengeringan pada waktu konstan. Sedang rangkak terjadi pada beton yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu pada balok beton dikenal istilah lendutan seketika (*Short-term/immediate deflection*) dan lendutan jangka panjang (*Long-term deflection*).

2.4.3. Batasan-Batasan Lendutan

Peraturan ACI mensyaratkan bahwa lendutan yang dihitung untuk suatu balok atau slab satu arah harus memenuhi persyaratan kemampuan layanan lendutan minimum yang diizinkan untuk berbagai kondisi struktural (*Nawy, E.G.; Tavio; dan Kusuma, B., 2010*).

Tabel 2.1 Ketebalan minimum balok non-prategang atau plat satu arah bila lendutan tidak dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum (h)			
	Dua tumpuan sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	L /20	L /24	L /28	L /10
Balok atau pelat rusuk satu arah	L /16	L /18.5	L /21	L /8
Catatan Panjang bentang dalam mm Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut : (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis di antara 1500 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $[1.65-(0.0003)W_c]$ tetapi tidak kurang dari 1.09, dimana W_c adalah berat jenis dalam kg/m^3 . (b) Untuk f_y selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$				

Sumber : SNI-03-2847-2002

Tabel 2.2 Lendutan izin maksimum

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batasan lendutan
Atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l^a}{180}$
Lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Lendutan seketika akibat beban hidup (L)	$\frac{l}{360}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar.	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{l^b}{480}$
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar.	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja dan lendutan seketika akibat penambahan beban hidup) ^c	$\frac{l^d}{240}$
<p>a. Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut dan mempertimbangkan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut, toleransi konstruksi dan keandalan sistem drainase.</p> <p>b. Batas lendutan boleh dilampaui bila langkah pencegahan kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.</p> <p>c. Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan 11.5(2(5)) atau 11.5(4(2)), tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen non-struktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.</p> <p>d. Tetapi tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non-struktur. Batasan ini boleh dilampaui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendutan yang ada.</p>		

Sumber : SNI-03-2847-2002

2.4.4. Analisa Lendutan

a. Momen retak

Balok beton bisa retak ketika menahan momen lentur. Sewaktu serat bawah tertarik (momen positif), beton sebenarnya bisa menahan tegangan tarik tersebut, tetapi seperti diketahui bahwa kuat tarik beton sangat kecil.

SNI-03-2847-2002 membatasi untuk beton normal, kekuatan beton dalam menahan tarik akibat lentur adalah dengan memperhitungkan momen inersia penampang lentur M_{cr} (Istimawan, 2004) :

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

Dimana :

f_r = modulus retak beton, untuk beton normal $f_r = 0.7 \sqrt{f'_c}$

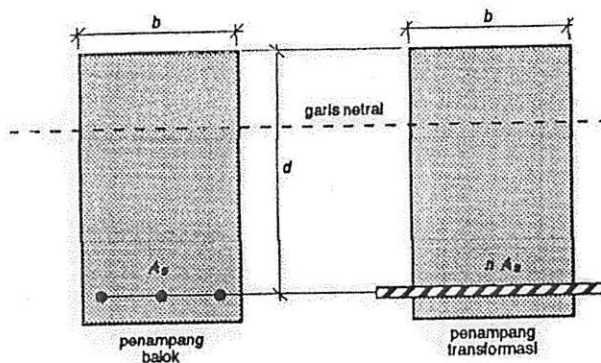
I_g = momen inersia gros ($I_g = bh^3/12$)

$y_t = h/2$, h adalah ketebalan total balok

b. Moment inersia penampang retak

Untuk menghitung moment inersia, harga kedalaman sumbu netral (c), harus ditentukan dari kesetimbangan gaya horizontal. Harga c dapat diperoleh dengan menyelesaikan persamaan, berikut (Istimawan, 2004) :

1. Untuk penampang balok tanpa tulangan desak :



Gambar 2.5 Penampang balok transformasi tanpa tulangan desak

Mencari letak garis netral :

$$by^2/2 + nA_s y - nA_s d = 0$$

Dimana :

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

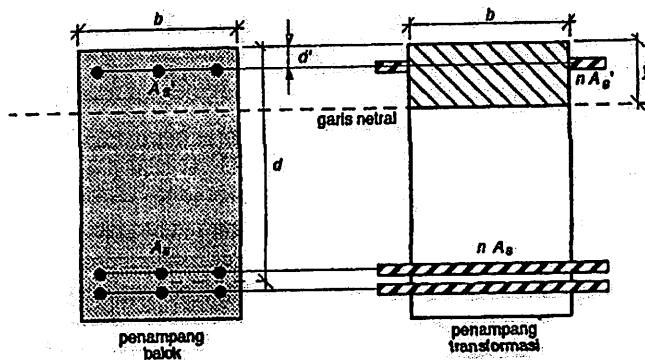
$$E_c = (W_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ atau } E_c = (4700) \sqrt{f'_c}$$

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

dan momen inersia terhadap garis netral dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} b y^3 + n A_s (d - y)^2$$

2. Untuk penampang balok dengan tulangan desak :



Gambar 2.6 Penampang balok transformasi dengan tulangan desak

Menghitung letak garis netral :

$$by^2/2 + nA'_s y - nA'_s d' - nA_s d + nA_s y = 0$$

Keterangan :

b = lebar balok pada sisi tekan

d = kedalaman balok diukur dari serat tekan terluar ke pusat luasan tulangan tarik

h = kedalaman balok total

A_s = luasan tulangan tarik

A'_s = Luasan tulangan tekan

y = kedalaman sumbu netral diukur dari serat-serat tekan terluar

c. Lendutan seketika (Short-term/immediate deflection)

Lendutan seketika pada komponen struktur terjadi apabila segera setelah beban bekerja seketika itu pula terjadi lendutan. Untuk memperhitungkannya komponen struktur dianggap berperilaku elastis sepenuhnya (*Istimawan, 1994*).

Perhitungan lendutan seketika menggunakan nilai momen inersia efektif yang dikembangkan oleh Branson, yaitu :

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

Sehingga lendutan maksimum adalah

$$\Delta_{Maks} = \frac{KW(l_n)^3}{48E_c I_e}$$

Atau dapat dinyatakan dalam moment lentur sebagai berikut :

$$\Delta = \frac{kM(l_n)^2}{E_c I_e}$$

dimana :

K = faktor tingkat kekakuan tumpun

W = beban yang bekerja pada struktur

k = faktor tingkat kekakuan tumpuan dan kondisi beban

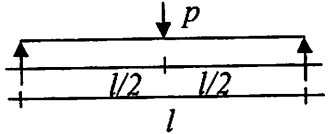
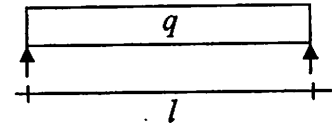
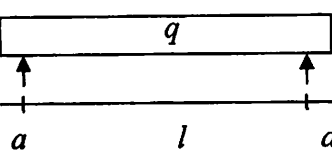
M = momen yang bekerja tepat pada penampang yang ditinjau

M_a = momen maksimum pada komponen struktur saat lendutan dihitung

L_n = panjang bentang bersih

Beberapa rumus perhitungan momen dan lendutan untuk kondisi beban dan pendukung yang paling umum dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Perumusan momen dan lendutan untuk beberapa kondisi beban dan pendukung yang paling umum

Kondisi dan dukungan	Momen	Lendutan
	$M_{maks} = \frac{1}{4} (Pl)$	$\Delta_{maks} = \frac{Pl^3}{48EI}$
	$M_{maks} = \frac{ql^2}{8}$	$\Delta_{maks} = \frac{5ql^4}{384EI}$
	$M_{maks} = \frac{q}{8} [(l^2 - 4a^2)]$	$\Delta_{maks} = \frac{ql^2}{384EI} (5l^2 - 24a^2)$

Sumber : Buku Teknik Sipil hal. 68 dan 73

d. Pengendalian retak

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari keadaan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulangan baja, rusaknya permukaan beton, dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Dengan demikian maka perkiraan lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampuan kelayanaan komponen struktur untuk kondisi pembebanan jangka panjang (Istimawan, 1994).

Lebar retak dinyatakan dalam bilangan z, dengan perhitungan sebagai berikut.

$$z = f_s^3 \sqrt{d_c A}$$

Sebagai alternatif terhadap perhitungan nilai z, dapat dilakukan perhitungan lebar retak menurut rumus Gergely-Lutz yang diberikan oleh SNI-03-2847-2002.

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

Dimana :

Z = bilangan sebagai batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maksimum 30 MN/m bagi struktur terlindung, dan 25 MN/m untuk struktur terbuka yang terpengaruh oleh cuaca luar.

ω = lebar retak. Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0.4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0.3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar, (mm).

$\beta = (h-c)/(d-c)$ = faktor kedalaman; harga rata-rata = 1.20. c merupakan kedalaman sumbu netral diukur dari serat tekan terluar pada penampang balok transformasi.

f_s = tegangan yang diperhitungkan terjadi di dalam baja tulangan pada beban kerja, dihitung sebagai momen dibagi oleh hasil kali luas penampang baja dengan lengan momen dalam, atau diperbolehkan juga menggunakan nilai $0.6f_y$, (MPa).

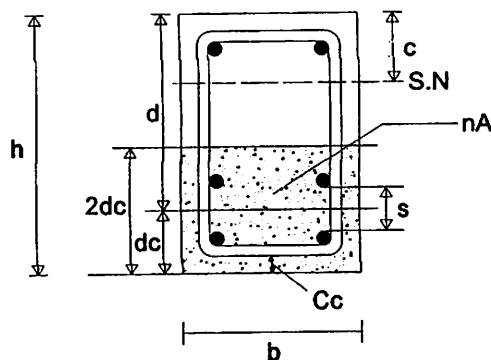
d_c = ketebalan penutup, diukur dari serat tarik tepi ke sumbu batang baja tulangan yang terdekat, (mm).

A = luas efektif beton tarik yang mengelilingi batang baja tulangan pokok tarik, yang kedudukan sumbu titik beratnya berimpit dengan sumbu titik berat tulangan, dibagi dengan jumlah batang baja tulangan, (mm²).

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

b = lebar penampang balok, (mm).

h_r = jarak linear, dua kali jarak dari serat tertarik tepi ke sumbu berat penulangan tarik ($2d_c$), (mm).



Gambar 2.7 Luas tarik efektif beton

2.5. Penelitian Terkait

a. Nikodemus Rizki Adesya (2010)

Dalam skripsi penelitian yang berjudul "*Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT dan Tulangan BJTP pada Komponen Lentur dengan Mutu Beton f_c 24,52 MPa Terhadap Kuat Lentur*" Berdasarkan hasil analisa eksperimen balok dengan tulangan CRT (BB-01) pada beban $P_{ultimate}$ 105 KN mengalami lendutan sebesar 3,01 mm namun pada balok dengan tulangan BJTP (BB-02) pada beban $P_{ultimate}$ 187 KN mengalami lendutan sebesar 5,32 mm. Dengan kata lain penggunaan tulangan CRT mempunyai kuat lentur $P_{ultimate}$ berbeda -43,85% dan lendutan berbeda -43,46%.Maka dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan penggunaan tulangan CRT mengalami lendutan yang lebih besar dari pada tulangan BJTP.

b. Nurul Latifah (2007)

Dalam skripsi penelitian yang berjudul "*Pengaruh Penambahan Serutan Baja Terhadap Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Metode Preplaced pada Kondisi Overreinforced Hanum*" Persyaratan arsitektural maupun teknis pelaksanaan kadang-kadang mengharuskan sebuah elemen struktur mempunyai dimensi terbatas tetapi, memiliki kapasitas kekuatan yang tinggi. Pada elemen balok beton bertulang penambahan tulangan baja tarik dapat meningkatkan kapasitasnya. Penambahan tulangan tarik ini kurang efektif terutama dari segi nilai ekonomi baja tulangan dibanding dengan manfaat yang dicapai. Kombinasi penggunaan material lain yang lebih ekonomis mungkin dapat menjadi salah satu alternatif. Salah satu material tambahan yang dapat memperbaiki sifat-sifat beton adalah *fiber* baja. Penambahan *fiber* baja pada campuran beton bertujuan untuk meningkatkan kuat lentur, kuat tarik, daktilitas , ketahanan terhadap benturan dan kuat geser beton. Bahan lain yang bisa dimanfaatkan sebagai *fiber* baja adalah limbah serutan besi yang dihasilkan dari sisa-sisa tulangan baja, pekerjaan pembuatan mesin otomotif atau yang dihasilkan dari bengkel bubut. Benda uji berupa balok dibuat dalam penelitian ini berukuran 160 x 200 x 2000 mm sebanyak 3 buah, yang terdiri dari beton normal dengan tulangan tarik , beton

normal dengan tulangan tarik-tekan dan, beton *fiber* dengan tulangan lentur. Komposisi *fiber* yang digunakan sebanyak $236,5 \text{ kg/m}^3$ ($V_f=6,98\%$). Rasio antara *Asb* dengan *As* yang digunakan sebesar 1,21% untuk mencapai kondisi overreinforced. Balok– balok tersebut ditumpu sendi–rol dengan jarak tumpuan 1800 mm. Pembebanan berupa beban terpusat ($P/2$) pada jarak 600 mm dari tumpuan. Beban dinaikkan tahap demi tahap hingga mencapai batas maksimum Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok beton bertulangan tarik (BN-T), balok beton bertulangan tarik-tekan(BN-G) dan balok beton *fiber* (BF) memberikan nilai beban ultimit (P) berturut-turut sebesar 164 kN, 193kN dan 188 kN. Lendutan pada beban ultimit untuk balok BN-T, BN-G, dan BF berturut-turut sebesar 16,76 mm, 22,5 mm dan 26,52 mm. Mekanisme struktur balok BN-T berupa kehancuran pada beton tekannya, balok BN-G mengalami kegagalan tarik dan pada balok BF mengalami kehancuran tekan daktail.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Metode penelitian adalah suatu rangkaian pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas suatu permasalahan. Penelitian dapat berjalan dengan sistematis dan lancar, serta mencapai tujuan yang diinginkan tidak terlepas dari metode penelitian yang disesuaikan dengan prosedur, alat dan jenis penelitian.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pelaksanaan : Mei – Juli 2011

Tempat pelaksanaan : 1. Laboratorium Bahan Konstruksi dan Bahan Jalan
Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
Malang.

2. Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin
Institut Teknologi Nasional Malang.

3. Laboratorium Struktur dan Uji Bahan Konstruksi
Universitas Brawijaya Malang.

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian :

- a. Studi pustaka, dilakukan dengan mendalami materi yang relevan dengan penelitian ini. Kepustakaan ini meliputi berbagai buku teks, jurnal, peraturan dan Standar Nasional maupun Internasional. Bertujuan untuk mengkaji hubungan antara variabel yang diteliti berdasarkan teori untuk merumuskan hipotesa penelitian.
- b. Studi eksperimen, dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dan dianalisa secara statistik.

3.4. Bahan dan Benda Uji

3.4.1. Bahan Uji

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semen merek Gresik jenis PPC.
2. Agregat kasar diambil dari daerah Malang.
3. Agregat halus (pasir) diambil dari Malang.
4. Air PDAM dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Baja tulangan polos dengan diameter 7.4 mm untuk tulangan utama dan diameter 5.4 mm untuk tulangan sengkang.
6. Kawat bendrat.
7. Kayu lokal untuk membuat cetakan balok.

3.4.2. Benda Uji

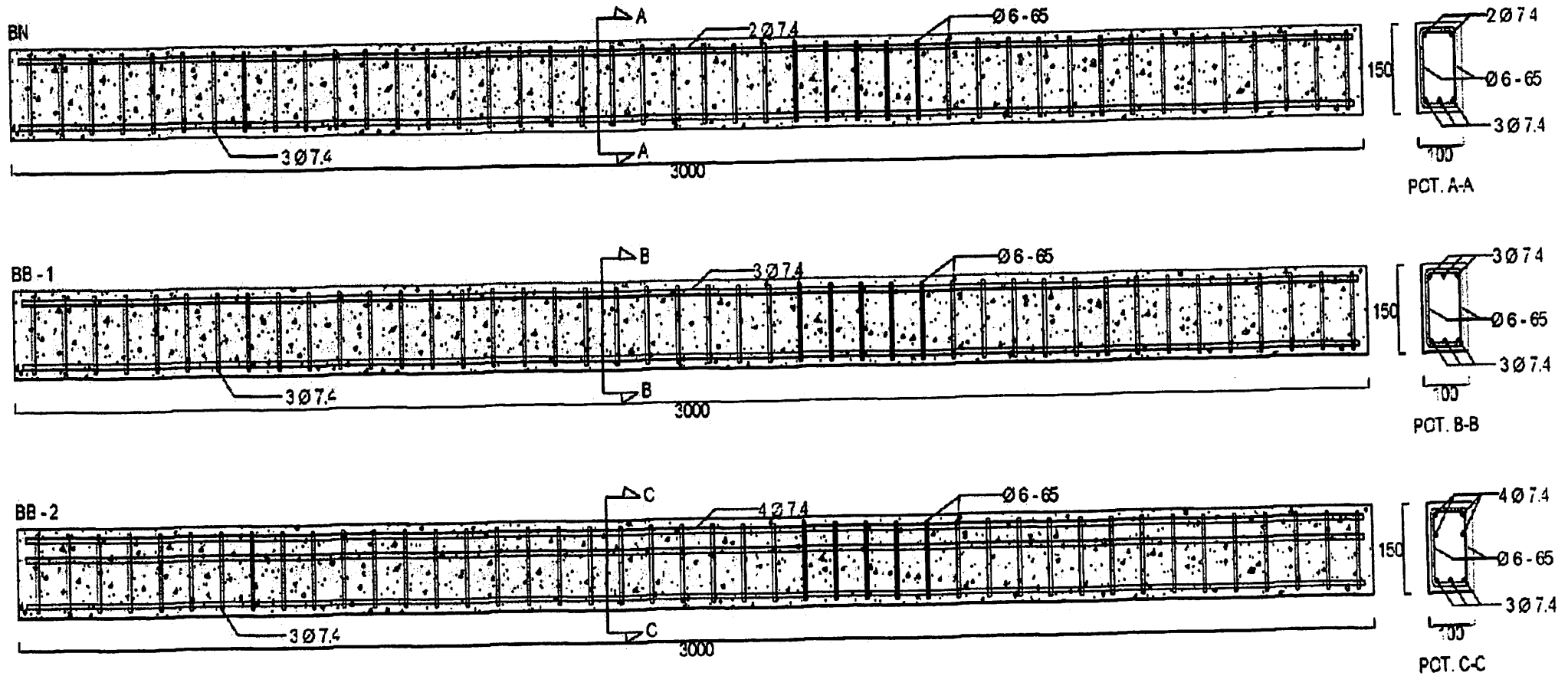
Benda uji berupa balok bertulang berbentuk persegi panjang dengan ukuran 100 x 150 x 3000 mm dengan tiga macam variasi tulangan tekan, yaitu :

1. Dua buah sampel balok normal bertulangan tekan 2Ø7.4, tulangan tarik 3Ø7.4.
2. Dua buah sampel balok variasi tulangan tekan 3Ø7.4 tulangan tarik 3Ø7.4.
3. Dua buah sampel balok variasi tulangan tekan 4Ø7.4 tulangan tarik 3Ø7.4.

Pada setiap pembuatan satu benda uji balok, diambil juga satu buah benda uji silinder beton secara acak. Sehingga diperoleh 6 benda uji untuk mengetahui kuat tekan dan berat satuan beton yang telah dibuat.

Tabel 3.1 Perincian tulangan dan variasi benda uji

Kode Benda Uji	Dimensi Balok (mm)	Tulangan Tarik	Tulangan tekan	Tulangan Sengkang	Jumlah Lapis	Jumlah buah
BN	100x150X3000	3 Ø 7.4	2 Ø 7.4	Ø 6 – 65mm	-	2
BB-1	100x150X3000	3 Ø 7.4	3 Ø 7.4	Ø 6 – 65mm	1 lapis	2
BB-2	100x150X3000	3 Ø 7.4	4 Ø 7.4	Ø 6 – 65mm	2 lapis	2
					Total	6



Gambar 3.1 Sketsa tipe benda uji

3.5. Peralatan Penelitian

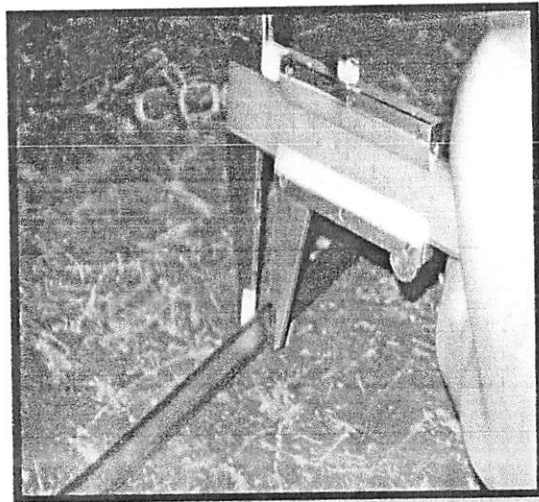
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mistar

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur dimensi cetakan.

2. Kaliper

Digunakan untuk mengukur diameter tulangan.



Gambar 3.2 Kaliper.

3. Timbangan

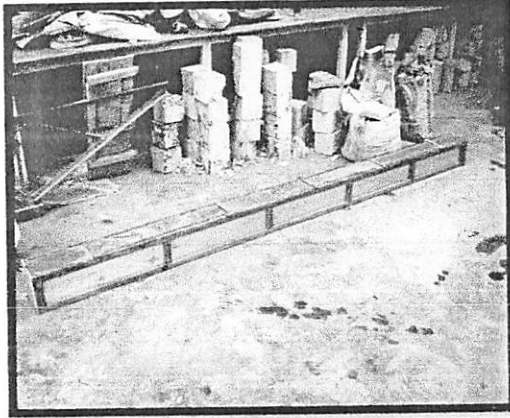
Digunakan untuk menimbang bahan-bahan. Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan merek Nagata dengan kapasitas maksimum 40 kg.



Gambar 3.3 Timbangan.

4. Cetakan balok

Digunakan untuk membuat benda uji. Ukuran cetakan tersebut adalah 100 x 150 x 3000 mm yang dirakit menggunakan kayu lokal dan multiplex.



Gambar 3.4 Cetakan Balok.

5. Mesin aduk (molen)

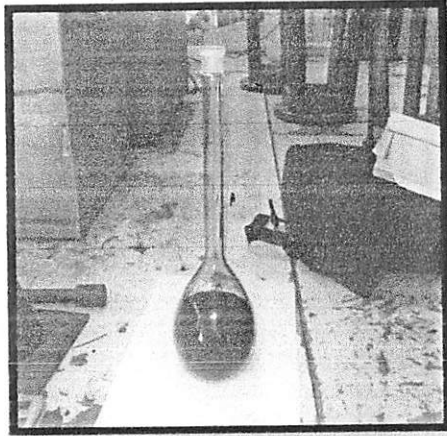
Digunakan untuk mengaduk campuran beton yang akan dibuat.



Gambar 3.5 Mesin Aduk (Molen).

6. Gelas ukur

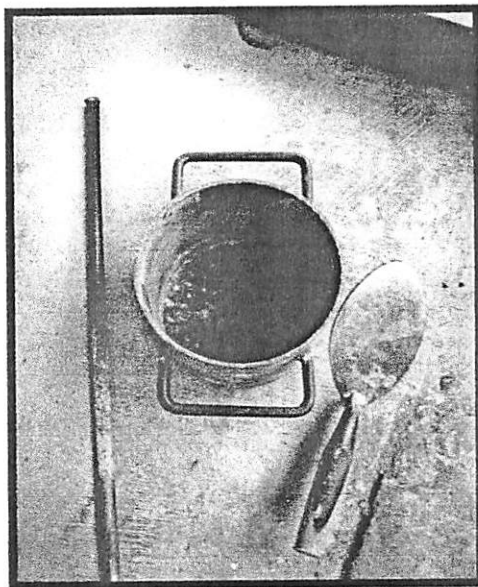
Digunakan untuk menakar jumlah air yang diperlukan.



Gambar 3.6 Gelas Ukur.

7. Kerucut Abrams

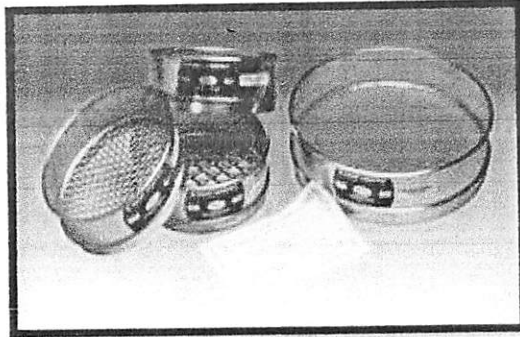
Digunakan untuk mengetahui nilai slump dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm, yang ujungnya berbentuk bulat.



Gambar 3.7 Kerucut Abrams.

8. Saringan

Digunakan untuk menyaring agregat kasar dan agregat halus agar diperoleh diameter yang dibutuhkan.



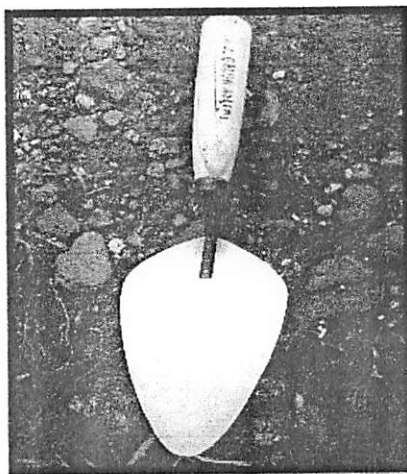
Gambar 3.8 Saringan.

9. Ember

Digunakan sebagai wadah pengambilan dan penimbangan bahan-bahan adukan beton.

10. Cetok

Digunakan untuk memasukan adukan kedalam kerucut Abrams dan kedalam cetakan benda uji.



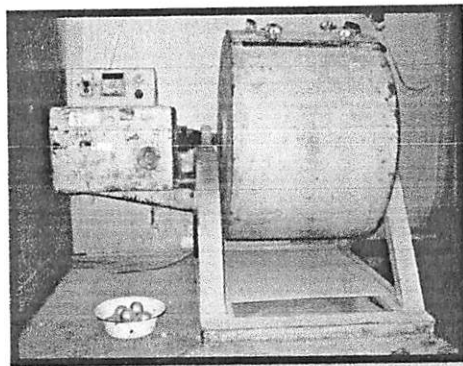
Gambar 3.9 Cetok.

11. Talam

Digunakan untuk menampung agregat dan adukan beton dari molen.

12. Mesin Los Angles

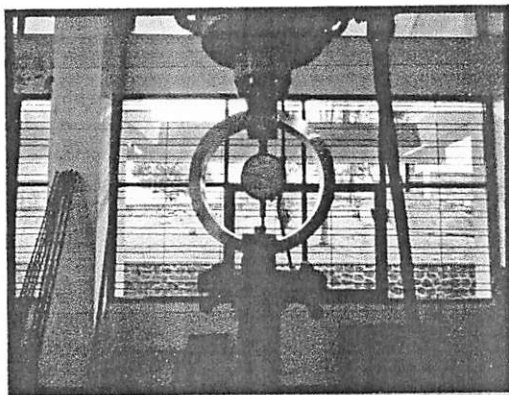
Digunakan untuk Uji keausan agregat, mesin ini dilengkapi dengan 11 buah bola beton.



Gambar 3.10 Mesin Los Angles.

13. Proving ring

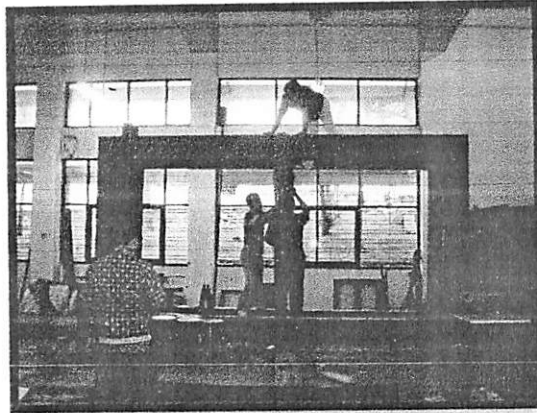
Alat ukur beban dongkrak hidrolik dengan ketelitian 0.01 mm.



Gambar 3.11 Proving Ring.

14. Loading Frame

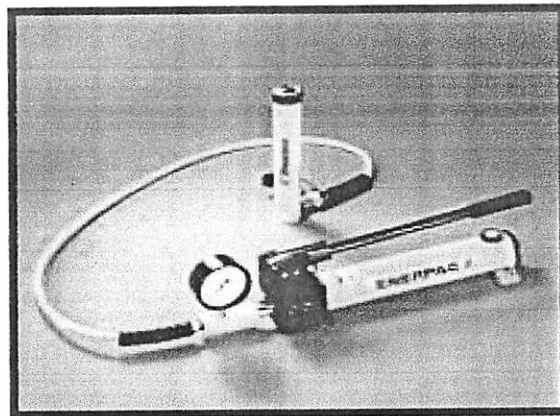
Digunakan sebagai dudukan benda uji



Gambar 3.12 Loading Frame.

15. Hydraulic jack

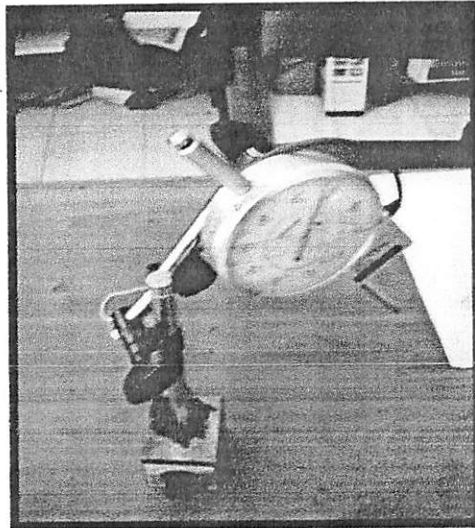
Alat tekan transversal dengan kapasitas 5 ton.



Gambar 3.13 Hydraulic jack.

16. LVDT (Linier Variable Displacement Transducer)

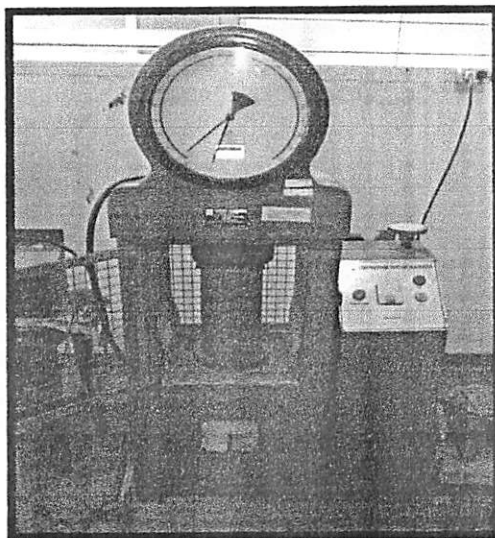
Digunakan sebagai alat untuk sensor lendutan (Alat ukur lendutan)



Gambar 3.14 Linier Variable Displacement Transducer (LVDT)

17. Mesin uji tekan

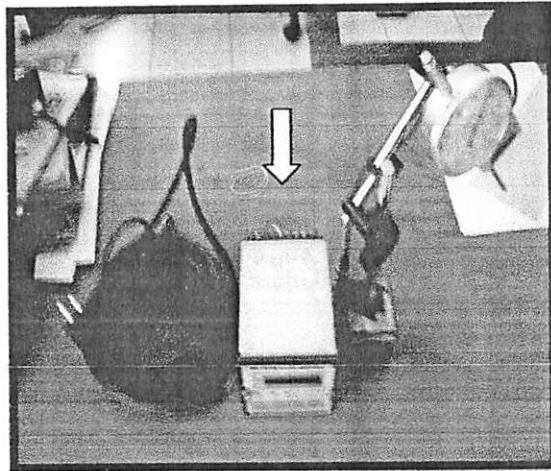
Digunakan untuk mengetahui kuat tekan beton. Alat ini mempunyai kapasitas 1300 kN.



Gambar 3.15 Mesin Uji Tekan.

18. MVD Amplifier

Alat baca digital LVDT



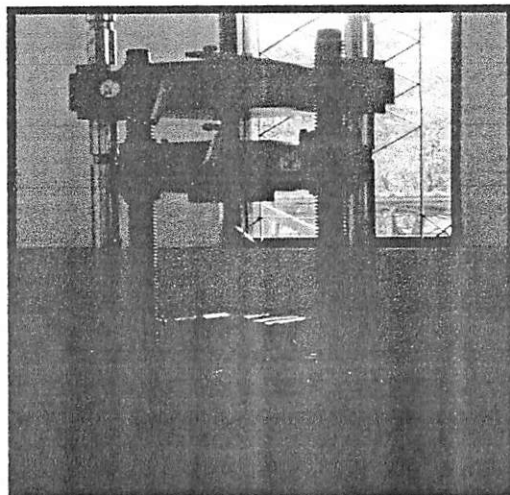
Gambar 3.16 MVD Amplifier.

19. Kamera.

Digunakan untuk dokumentasi penelitian

20. Mesin uji kuat tarik baja

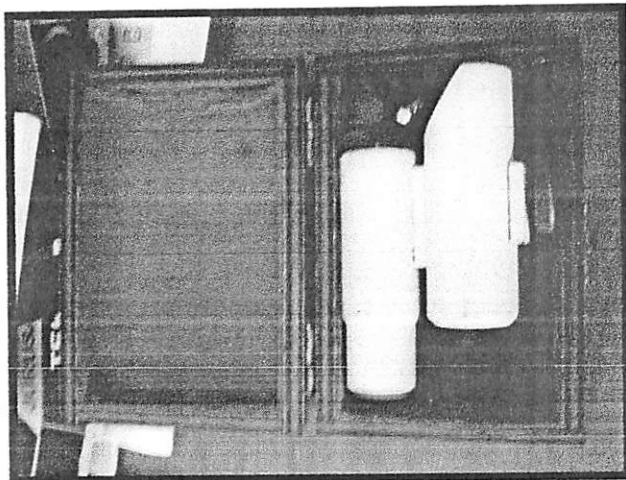
Digunakan untuk mengetahui mutu baja



Gambar 3.17 Mesin Uji Kuat Tarik Baja.

21. Crack Detector

Digunakan untuk membaca retak yang terjadi akibat pembebanan.



Gambar 3.18 Crack Detector.

3.6. Tahapan Pelaksanaan Eksperimen

3.6.1. Persiapan Bahan

Sebelum melakukan eksperimen, bahan-bahan yang digunakan harus memenuhi ketentuan pengujian Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu :

1. Pengujian agregat halus
 - a. Pengujian kadar Lumpur
 - b. Pengujian berat isi.
 - c. Pengujian kadar air
 - d. Pengujian berat jenis (*specifi grafity*)
 - e. Pengujian gradasi
2. Pegujian agregat kasar
 - a. Pengujian berat jenis (*specifi grafity*)
 - b. Pengujian gradasi
 - c. Pengujian abrasi
 - d. Pengujian berat isi
3. Perencanaan adukan beton
4. Pengujian kuat tarik baja.

3.6.2. Pembuatan Sampel

1. Tahapan pembuatan campuran adukan beton
 - a. Menentukan kuat tekan rencana
 - b. Menentukan faktor air semen
 - c. Menentukan nilai *slump*
 - d. Menetapkan kebutuhan air
 - e. Menentukan kebutuhan semen
 - f. Menetapkan volume agregat kasar permeter kubik beton.
 - g. Menghitung kebutuhan pasir
2. Langkah-langkah pembuatan benda uji silinder
 - a. Melakukan penimbangan bahan-bahan, seperti : semen, pasir, kerikil, sesuai dengan kebutuhan rencana campuran adukan beton.

- b. Memasukan semen, pasir, kerikil, air sedikit demi sedikit kedalam molen, kemudian molen dihidupkan \pm 20 menit. Pada saat molen mulai berputar diusahakan selalu dalam keadaan miring sekitar 45° , agar adukan beton merata.
 - c. Setelah adukan beton terlihat merata, dituang secukupnya dan dilakukan pengujian nilai *slump* dengan menggunakan kerucut Abrams.
 - d. Mempersiapkan cetakan-cetakan silinder dengan terlebih dahulu diolesi dengan oli.
 - e. Mengeluarkan adukan beton dari molen, dan ditampung pada talam.
 - f. Masukkan adukan kedalam cetakan dengan memakai cetok, kemudian ditusuk-tusuk dan diketok-ketok sisi agar tidak keropos /gagal.
 - g. Adukan yang telah dicetak diletakkan ditempat yang terlindung dari sinar matahari dan hujan, didiamkan selama 24 jam.
 - h. cetakan dapat dibuka dengan memberikan kode atau keterangan pada setiap sampel uji.
3. Langkah-langkah pembuatan balok uji
- a. Pembuatan benda uji balok dengan tiga variasi, yang pertama merupakan balok normal dengan tulangan tekan $2\phi 7.4$ dan tulangan tarik $3\phi 7.4$ sebanyak 2 buah, yang kedua balok dengan variasi tulangan tekan $3\phi 7.4$ dan tulangan tarik $3\phi 7.4$ sebanyak 2 buah, dan yang ketiga balok dengan variasi tulangan tekan $4\phi 7.4$ dan tulangan tarik $3\phi 7.4$ sebanyak 2 buah.
 - b. Setelah alat dan bahan disiapkan serta rencana campuran beton telah dibuat, dilakukan penimbangan bahan-bahan sesuai proporsi yang telah ditentukan.
 - c. Bahan penyusun beton diaduk menjadi satu berturut-turut, agregat kasar, agregat halus, semen, dan air sedikit demi sedikit sampai campuran rata. Proporsi bahan-bahan ini disesuaikan dengan kapasitas molen yang dipakai.

- d. Untuk mengetahui kelayakan adukan, dilakukan pengujian nilai *slump* dengan kerucut abrams dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm, yang dilengkapi tongkat penumbuk dari baja dengan diameter 16 mm. Pelaksanaan percobaan *slump* dilakukan dengan cara kerucut ditekan kebawah pada penyokong-penyokong kakinya sambil didisi adukan beton. Pengisian adukan beton dibuat tiga lapis adukan, dan tiap lapis ditumbuk ± 25 kali. Bagian atas kerucut diratakan dan didiamkan ± 30 detik, kemudian kerucut Abrams diangkat perlahan-lahan secara tegak lurus dan diletakkan disamping adukan tersebut, selisih tinggi tersebut dinamakan *slump*.
- e. Sebelum dilakukan pengecoran, terlebih dahulu disiapkan tulangan untuk balok. Untuk tulangan pokok pada daerah tarik dan tekan dipakai tulangan dengan diameter 7.4 mm dan untuk tulangan sengkang 5.4 mm.
- f. Adukan beton dituangkan kedalam cetakan balok yang telah dibersihkan dan telah diolesi oli dan pada setiap sisi sudut setiap bagian dalam cetakan balok yang dianggap bocor dilakukan penyumbatan dengan selotip dan kertas semen basah agar adukan beton tidak menetes/merembes keluar. Sisi bekisting balok diketok-ketok dengan menggunakan palu atau diketarkan dengan menggunakan vibrator, sehingga terjadi pemadatan yang sempurna dan gelembung udara yang tertangkap akan keluar.
- g. Cetakan dibuka setelah terjadi pengerasan

3.6.3. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji meliputi berbagai cara, antara lain :

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

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

3.6.4. Proses Pengujian

Pengujian kuat tekan, kuat lentur dan kuat geser dilakukan pada umur 28 hari.

a. Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja.

Pengujian kuat tarik tulangan baja dilakukan di Laboratorium Uji Material Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang. Data yang diambil pada pengujian tarik baja adalah beban maksimum, beban patah, batas luluh awal. Tegangan tarik tulangan baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja.

b. Pengujian Kuat tekan Silinder.

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

1. Mencatat dimensi benda uji yaitu diameter dan tingginya kemudian menimbang benda uji.
2. Meletakkan benda uji diatas mesin uji tekan, lalu dihidupkan dan dilakukan pembebanan secara berangsur-angsur.
3. Mencatat beban maksimum yang terjadi, dimana benda uji mulai telah mengalami kehancuran.

Kuat tekan beton dapat diketahui dengan cara membagi beban ultimit yang dicapai dengan luas permukaan bagian yang ditekan. Secara sistematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dengan :

$f'c$ = Kuat tekan beton karakteristik (MPa)

P = Beban ultimit (N)

A = Luas permukaan benda uji (m^2)

c. Pengujian Kuat Lentur

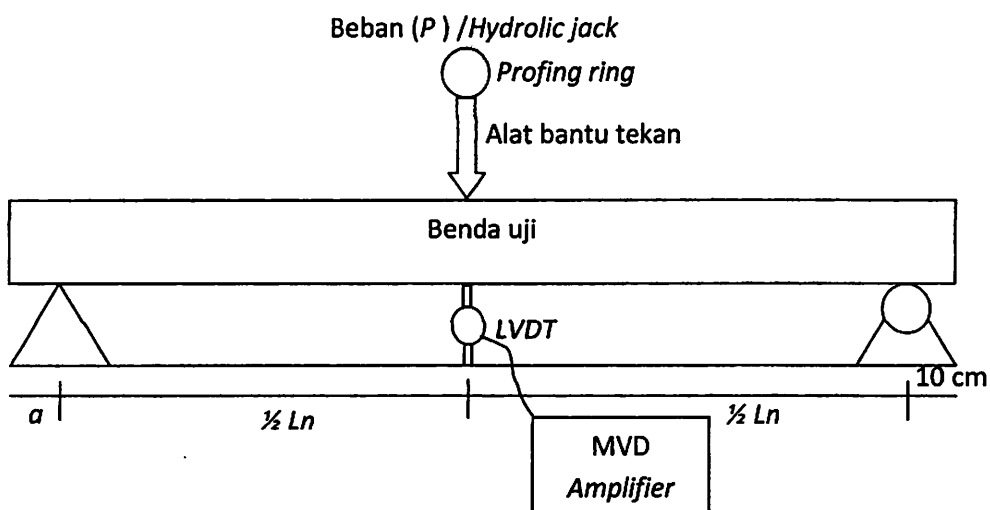
Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Benda uji diletakan pada frame dan diberikan mesin pemberi gaya transversal dengan kekuatan maksimum 5 ton yang berupa *hydraulic jack* dengan perlakuan sendi dan rol.
2. Pada mesin *hydraulic jack*, diberikan alat ukur pembebanan yaitu proving ring.
3. Diatas balok diletakan satu set alat bantu tekan dengan berat 19,4 kg.
4. *Hydraulic jack* dioperasikan hingga posisi proving ring menyentuh permukaan alat bantu tekan dan dalam posisi terkunci rapat.
5. Dial digital (LVDT) diletakan tepat dibawah permukaan balok yang mengalami pembebanan dimana posisinya tepat berada di tengah bentang. Kemudian dihubungkan dengan alat baca digital (*MVD Amplifier*).
6. Pengujian siap dilakukan. Gaya/beban diberikan secara perlahan-lahan beban konstan dan beban dinaikkan secara berangsur-angsur hingga pada batas tertentu sampai pada tegangan maksimum, sehingga benda uji akan mengalami retak, lendutan maksimum dan patah.

7. Retak yang terjadi ditandai pada benda uji saat pengujian, dengan spidol dan diberi keterangan mengenai besar beban yang terjadi. sehingga retakan yang terjadi dapat terekam dengan baik menurut jenjang-jenjang prosesi pemberian beban dilakukan.
8. Lendutan dicatat dengan membaca alat baca digital (MVD *Amplifier*) yang terhubung dengan dial digital (LVDT). Beban-beban dicatat agar dapat diperoleh hubungan dengan lendutan yang terjadi.

Variabel-variabel yang diukur dalam proses pengujian :

1. Beban (P), didapat dengan pencatatan skala proving ring. Dimana 1 satuan proving ring = 23 kg.
2. Lendutan (*deflection*), didapat dengan pencatatan pembacaan alat baca digital (MVD *Amplifier*) yang terhubung dengan dial digital (LVDT). Dengan skala 1 satuan MVD *Amplifier* = 0.01 mm.
3. Lebar retak akhir maksimum diukur dengan *crack detector*. Dengan skala 1 Div = 0.2 mm (1 Div terdiri dari 10 satuan).
4. Panjang retak akhir maksimum.
5. Momen didapat dari perhitungan



Gambar 3.19 Sketsa proses pengujian lendutan

3.7. Prediksi Analitis

Dari kepustakaan yang ada, kami lakukan analisis teoritis kekuatan penampang terhadap beban yang bekerja dan *defleksi* yang terjadi. Dimana data yang kami perhitungkan diperoleh dari hasil eksperimen yang berupa kuat tekan rata-rata silinder beton dari benda uji balok berjumlah 20 buah, dimana kuat tekan rata-ratanya adalah $f'_c=29.71MPa$ dan kuat tarik rata-rata baja diameter 7.4 (\emptyset 7.4) dan diameter 5.4 (\emptyset 5.4) dari sampel berjumlah 3 buah untuk diameter 7.4 (\emptyset 7.4) dan 3 buah sampel untuk diameter 5.4 (\emptyset 5.4) , dimana kuat tarik rata-ratanya adalah $f_y=403.62 Mpa \rightarrow$ diameter 7.4 (\emptyset 7.4) dan $f_y=370.28 MPa \rightarrow$ diameter 5.4 (\emptyset 5.4).

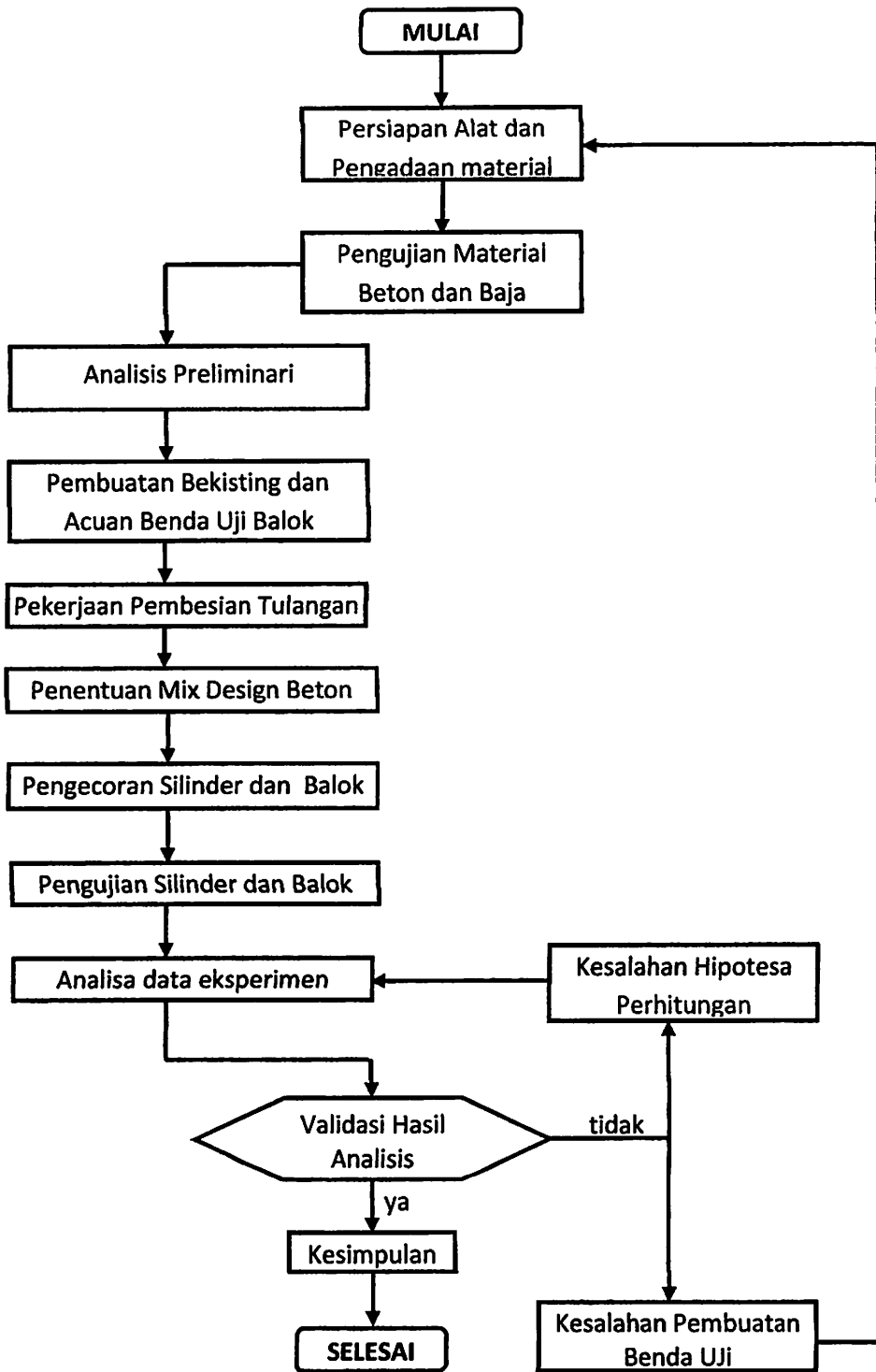
3.8. Laporan yang akan dikerjakan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan dan analisa data. Analisa terhadap data hasil eksperimen meliputi pengkajian terhadap *defleksi* serta model retak yang terjadi selama pembebanan.

Penyajian data-data yang akan dilakukan dari hasil penelitian ini antara lain adalah :

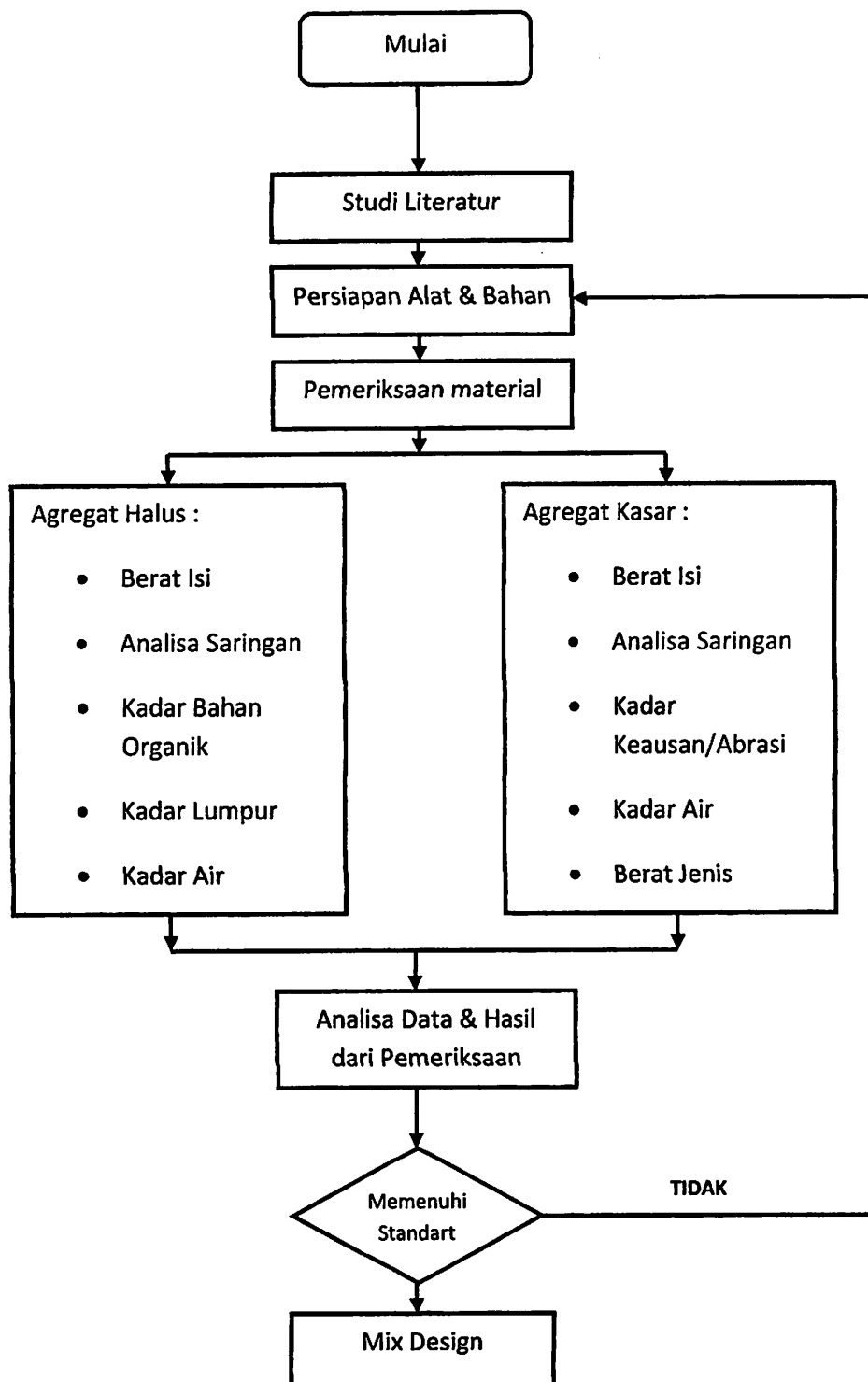
1. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 3Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 4Ø7,4 terhadap *defleksi* (Δ) hasil eksperimen.
2. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 3Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 4Ø7,4 terhadap *defleksi* (Δ) hasil analitis teori.
3. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 3Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 4Ø7,4 terhadap model retak yang terjadi.
4. Membandingkan hasil analitis teori dan eksperimen pada setiap penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 3Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 4Ø7,4.
5. Membandingkan hasil analitis antara balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 3Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 4Ø7,4.

3.9 Bagan Alir Proses Penelitian



Gambar 3.20 Bagan alir rencana penelitian

3.10 Bagan Alir Pengujian Material Beton



Gambar 3.21 Bagan alir pengujian material

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil

Data hasil penelitian dibagi menjadi lima bagian sebagai berikut :

1. Data campuran beton.
2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton.
3. Data dan perhitungan kuat tarik baja.
4. Analisis teoritis
Yang terdiri dari;
 - a. Kontrol momen
 - b. Perhitungan beban
 - c. Perhitungan lebar retak
 - d. Perhitungan lendutan
 - e. Perhitungan retak awal
5. Analisis eksperimen

4.1.1. Data campuran beton

Kuat tekan beton yang digunakan yaitu $f'_c = 29.71$ MPa dengan pengadukan menggunakan molen. Mix desain diperhitungkan menggunakan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Yang mengacu pada *Development of the Environment (DOE) 1975, Design of Normal Concrete Mixes, Building Research Establishment.*

Dengan menggunakan material pasir dan kerikil dari daerah Malang serta Semen Gresik tipe PPC. Hasil perancangan campuran beton untuk 1 m³ dengan komposisi material seperti terlihat pada tabel 4.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.1 Proporsi campuran beton hasil mix design

No.	Material	Volume	Satuan
1	Semen	496.5	kg/m ³
2	Agregat halus	849.89	kg/m ³
3	Agregat kasar	763.105	kg/m ³
4	Air	232.505	kg/m ³

4.1.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Machine (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. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh dan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan silinder beton

No.	Kode silinder beton	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas permukaan (mm ²) $1/4\pi d^2$	Beban maksimum (N)	Kuat tekan (MPa) (g/f)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	M-1	12,58	300	150	17.671,46	580000	32,82
2	M-2	12,58	300	150	17.671,46	525000	29,71
3	M-3	12,57	300	150	17.671,46	480000	27,16
4	M-4	12,69	300	150	17.671,46	700000	39,61
5	M-5	12,66	300	150	17.671,46	580000	32,82
6	M-6	12,64	300	150	17.671,46	540000	30,56
7	M-7	12,49	300	150	17.671,46	620000	35,08
8	M-8	12,74	300	150	17.671,46	540000	30,56
9	M-9	12,81	300	150	17.671,46	655000	37,07
10	M-10	12,44	300	150	17.671,46	500000	28,29
11	M-11	12,59	300	150	17.671,46	460000	26,03
12	M-12	12,44	300	150	17.671,46	580000	32,82
13	M-13	12,42	300	150	17.671,46	520000	29,43
14	M-14	11,96	300	150	17.671,46	435000	24,62
15	M-15	12,38	300	150	17.671,46	445000	25,18
16	M-16	12,04	300	150	17.671,46	470000	26,60
17	M-17	11,91	300	150	17.671,46	315000	17,83
18	M-18	12,01	300	150	17.671,46	400000	22,64
19	M-19	12,72	300	150	17.671,46	680000	38,48
20	M-20	12,60	300	150	17.671,46	480000	27,16
Kuat tekan rata-rata beton							29,71

Kuat tekan mutu beton yang diperoleh dari hasil pengujian di dapat kuat tekan rata-rata sebesar 29.71 MPa. Untuk perhitungan yang digunakan dalam

penelitian kami yang berjudul *PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø7.4 (variasi tulangan tekan 2Ø7.4 , 3Ø7.4 Dan 4Ø 7. 4)* menggunakan mutu beton 29.71 MPa.

4.1.3. Data dan perhitungan kuat tarik baja

Berdasarkan pengujian kuat tarik baja yang telah dilakukan, diperoleh data-data sebagai berikut :

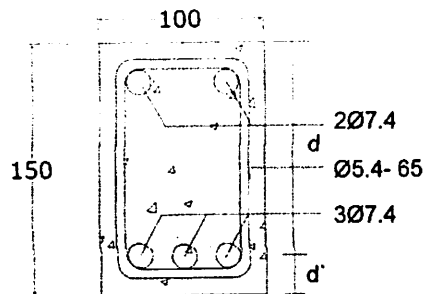
Tabel 4.3 Pemeriksaan mutu baja

No.	Specimen Ø 5.4	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (<i>Newton</i>)	Tegangan Leleh (f_y) MPa.	Tegangan Putus (f_s) MPa.	Regangan (%)
1	5.4 A	22.90	10740.80	378.27	468.99	67.56
2	5.4 B	22.90	10667.30	370.99	465.78	62.93
3	5.4 C	22.90	10089.10	361.58	440.53	60.36
Rata – rata (Σ)				370.28	458.43	
No	Specimen Ø 7.4	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (<i>Newton</i>)	Tegangan Leleh (f_y) MPa.	Tegangan Putus (f_s) MPa.	Regangan (%)
1	7.4 A	43.01	23324.00	413.34	542.31	75.29
2	7.4 B	43.01	23304.40	414.03	541.86	83.91
3	7.4 C	43.01	22481.20	383.49	522.72	83.64
Rata – rata (Σ)				403.62	535.63	

4.2. Analisis Teoritis

4.2.1. Kontrol momen

4.2.1.1. Balok normal

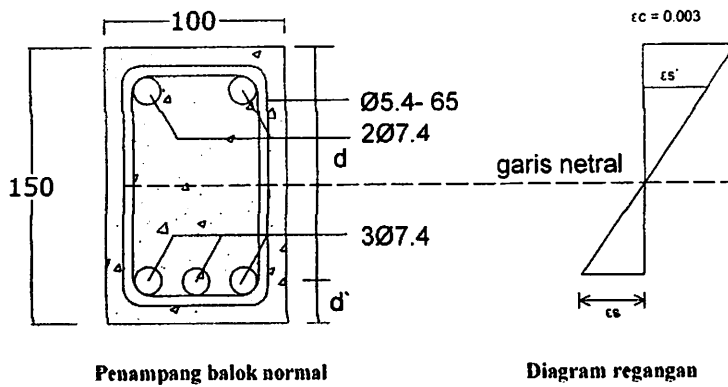


Gambar 4.1 Penampang balok normal

Data benda uji :

- Type : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 3000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 29.71 MPa.
- Mutu baja Ø 7.4 (f_y) : 403.62 MPa.
- Mutu baja Ø 5.4 (f_y) : 370.28 MPa.
- Tulangan utama : Ø 7.4 mm
- Tulangan sengkang : Ø 5.4 mm
- Selimut beton : 10 mm
- Modulus elastis baja (E_s) : 200000 MPa. (SNI-03-2847-2002, Pasal 10.5.2, Hal. 54)
- Regangan mak. beton (ϵ'_c) : 0.003 (SNI-03-2847-2002, Pasal 12.2.3, Hal. 69)
- Tul. tarik As $= 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$
- Tul. tekan A's $= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.02 \text{ mm}^2$
- d' $= 10 + 5.4 + (1/2 \cdot 7.4) = 19.10 \text{ mm}$
- d $= 150 - 19.1 = 130.90 \text{ mm}$
- β_1 (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton) = 0.85
faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa.

Asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik ($d' < c$), maka :



Gambar 4.2 Penampang balok normal asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik

$$Cc = 0.85f'c \times a \times b$$

$$Cs = A's \times f's$$

$$Ts = As \times fy$$

Sehingga untuk mendapatkan nilai c digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\epsilon's}{\epsilon'c} = \frac{c - d'}{c} \rightarrow \epsilon's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c \quad , \quad a = \beta_1 \times c$$

$$f's = \epsilon's \times Es \rightarrow f's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c \times Es \quad , \quad \epsilon'c \times Es = 600$$

$$f's = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

Maka :

$$Cc = 0.85f'c \times a \times b = 0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b$$

$$Cs = A's \times f's = A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$Ts = As \times fy$$

Kontrol $\Sigma H = 0$

$$Ts = Cc + Cs$$

$$As \times fy = (0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right)$$

Sehingga :

$$\frac{A_s \times f_y = (0.85 f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A'_s \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right)}{A_s \times f_y \times c = (0.85 f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c - d') \times 600)} \times c$$

Dimana :

$$A_s \times f_y \times c = (0.85 f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c - d') \times 600)$$

$$86.02 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (86.02 \times c \times 600) -$$

$$(86.02 \times 19.1 \times 600)$$

$$52099.27c = 2146.55c^2 + 51612c - 985789.20$$

$$0 = 2146.55c^2 - 487.27c - 985789.20$$

$$0 = \frac{c^2 - 0.23c - 459.24}{2146.55}$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{0.23 \pm \sqrt{0.23^2 - (4 \times 1 \times -459.24)}}{2 \times 1}$$

$c = 21.55$ mm (memenuhi)

$c = -21.32$ mm (tidak memenuhi)

Karena nilai $c > d'$, maka asumsi di atas benar.

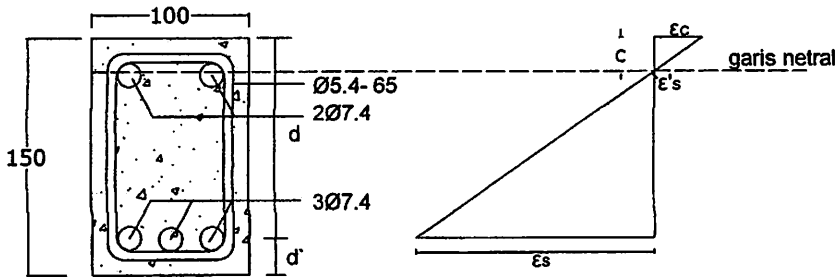


Diagram regangan

Gambar 4.3 Model diagram regangan tulangan

Karena asumsi di atas benar maka letak garis netral berada di antara tulangan tekan regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned}\varepsilon'_s &= \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{21.55 - 19.10}{21.55} \times 0.003 \\ &= 0.00034\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c \\ &= \frac{130.90 - 21.55}{21.55} \times 0.003 \\ &= 0.01522\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{403.62}{200000} \\ &= 0.00202\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f'_s &= \varepsilon'_s \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(21.55-19.10)}{21.55} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{(21.55 - 19.10)}{21.55} \cdot 600 \\ &= 68.21 \text{ MPa} < f_y = 403.62 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 21.55 = 18.32 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

$$C_c = 0.85 f'_c \times a \times b$$

$$C_c = 0.85(29.71) \times 18.32 \times 100 \times 10^{-3} = 46.26 \text{ kN.}$$

$$C_s = A's \times f's$$

$$C_s = 86.02 \times 68.21 \times 10^{-3} = 5.87 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 129.08 \times 403.62 \times 10^{-3} = 52.1 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$52.1 = 46.26 + 5.87$$

$$52.1 \text{ kN} = 52.1 \text{ kN}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

$$d = 150 - 10 - 5.40 - \frac{1}{2}(7.40) = 130.90 \text{ mm}$$

Maka :

$$Z_1 = d - \frac{1}{2}a = 130.90 - \frac{1}{2}(18.32) = 121.74 \text{ mm}$$

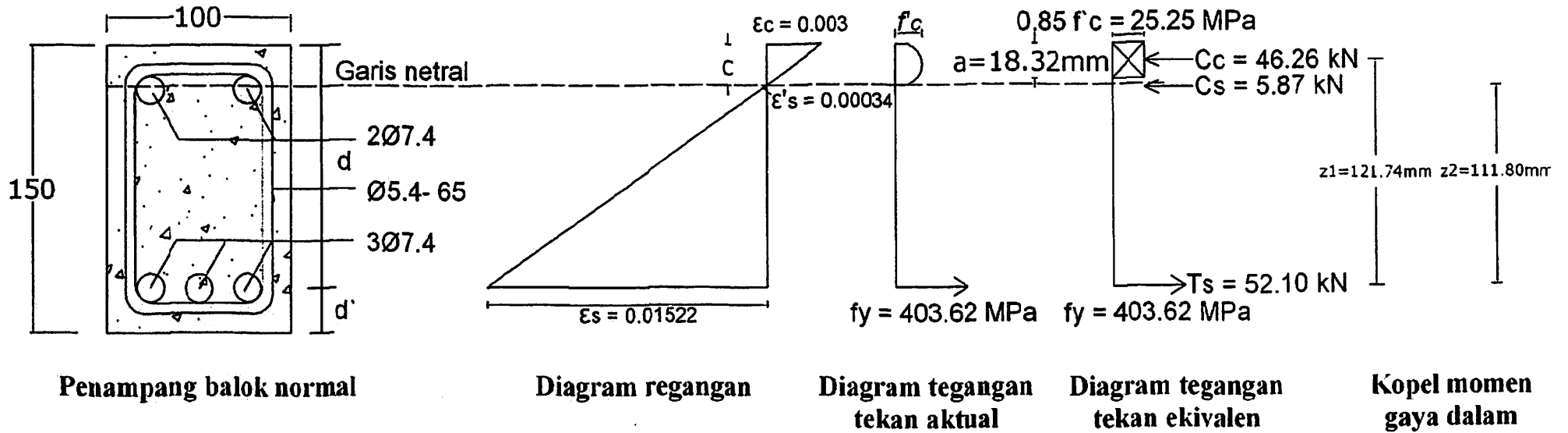
$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.10 = 111.80 \text{ mm}$$

Nilai moment :

$$M_n = C_c * Z_1 + C_s * Z_2$$

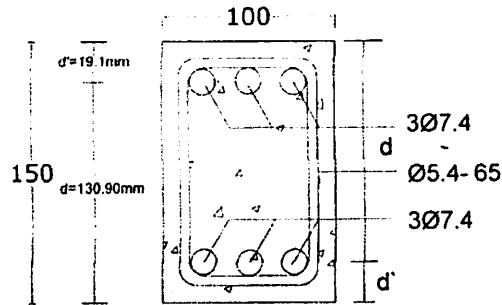
$$M_n = (46.26 \times 121.74 \times 10^{-3}) - (5.87 \times 111.80 \times 10^{-3})$$

$$M_n = 5.63 + 0.66 = 6.29 \text{ kNm}$$



Gambar 4.4 Diagram regangan dan tegangan balok normal

4.2.1.2. Balok variasi 1



Gambar 4.5 Penampang balok variasi 1

Data benda uji :

- Type : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 3000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 29.71 MPa.
- Mutu baja Ø 7.4 (f_y) : 403.62 MPa.
- Mutu baja Ø 5.4 (f_y) : 370.28 MPa.
- Tulangan utama : Ø 7.4 mm
- Tulangan sengkang : Ø 5.4 mm
- Selimut beton : 10 mm
- Modulus elastis baja (E_s) : 200000 MPa. (SNI-03-2847-2002, Pasal 10.5.2, Hal. 54)
- Regangan mak. beton (ϵ'_c) : 0.003 (SNI-03-2847-2002, Pasal 12.2.3, Hal. 69)

- Luas tulangan utama :

$$A_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

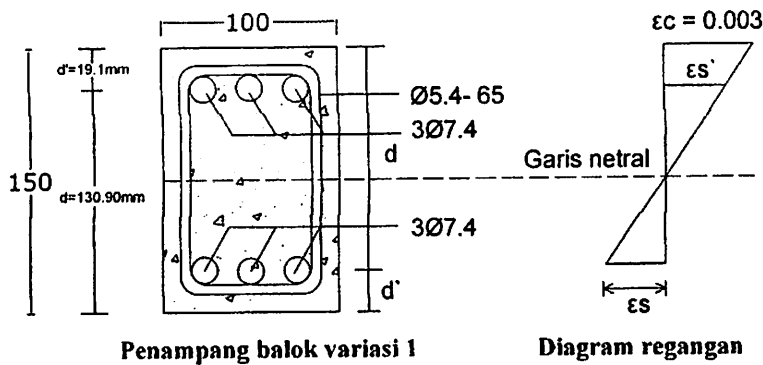
$$d' = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul. utama}}$$

$$d' = 10 + 5.4 + (\frac{1}{2} \cdot 7.4) = 19.10 \text{ mm}$$

$$\beta_1 \text{ (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton)} = 0.85$$

faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa.

Asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik ($d' < c$),
maka :



Gambar 4.6 Penampang balok variasi 1 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik

Kontrol moment

$$Cc = 0.85f'c \times a \times b$$

$$Cs = A's \times f's$$

$$Ts = As \times fy$$

Karena :

$$\frac{\epsilon's}{\epsilon'c} = \frac{c - d'}{c} \rightarrow \epsilon's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c \quad , \quad a = \beta_1 \times c$$

$$f's = \epsilon's \times Es \rightarrow f's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c \times Es \quad , \quad \epsilon'c \times Es = 600$$

$$f's = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

Maka :

$$Cc = 0.85f'c \times a \times b = 0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b$$

$$Cs = A's \times f's = A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$Ts = As \times fy$$

Kontrol $\Sigma H = 0$

$$Ts = Cc + Cs$$

$$As \times fy = (0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right)$$

Sehingga :

$$\frac{A_s \times f_y = (0.85f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A'_s \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right)}{A_s \times f_y \times c = (0.85f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c - d') \times 600)} \times c$$

Maka :

$$A_s \times f_y \times c = (0.85f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c - d') \times 600)$$

$$129.08 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.08 \times c \times 600) -$$

$$(129.08 \times 19.10 \times 600).$$

$$52099.27c = 2146.55c^2 + 77448c - 1479256.80$$

$$0 = 2146.55c^2 + 25348.73c - 1479256.80$$

$$0 = \frac{c^2}{1} + \frac{11.81c}{1} - \frac{689.13}{1} : 2146.55$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

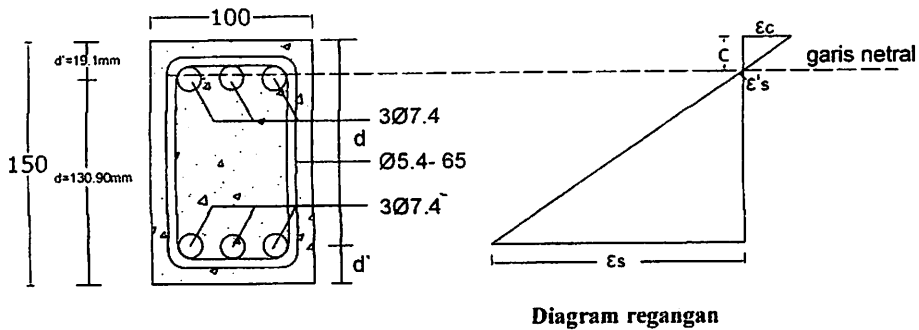
$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-11.81 \pm \sqrt{11.81^2 - (4 \times 1 \times -689.13)}}{2 \times 1}$$

c = 21.00 mm (memenuhi)

c = -32.81 mm (tidak memenuhi)

Karena c > d', maka asumsi di atas benar.



Gambar 4.7 Penampang balok variasi 1 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan

Karena asumsi di atas benar maka letak garis netral berada diantara tulangan tekan
Regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned}\epsilon's &= \frac{c-d'}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{21.00-19.1}{21.00} \cdot 0,003 = 0.00027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{130.90-21.00}{21.00} \cdot 0,003 = 0.0157\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{403.62}{200.000} \\ &= 0,00202\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon's \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{(21.00-19.1)}{21.00} \cdot 600 = 54.29 \text{ MPa} < 403.62 \text{ MPa (belum leleh)}\end{aligned}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 21.00 = 17.85 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

$$C_c = 0.85 f'_c \times a \times b$$

$$C_c = 0.85(29.71) \times 17.85 \times 100 \times 10^{-3} = 45.08 \text{ kN.}$$

$$C_s = A'_s \times f'_s = A'_s \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$C_s = 129.08 \times 54.29 \times 10^{-3} = 7.01 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 129.08 \times 403.62 \times 10^{-3} = 52.1 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$52.1 = 45.08 + 7.01$$

$$52.1 \text{ kN} = 52.1 \text{ kN.}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

$$d = 150 - 10 - 5.4 - \frac{1}{2}(7.4) = 130.90 \text{ mm}$$

Maka :

$$Z_1 = d - \frac{1}{2}a = 130.90 - \frac{1}{2}(17.85) = 121.98 \text{ mm}$$

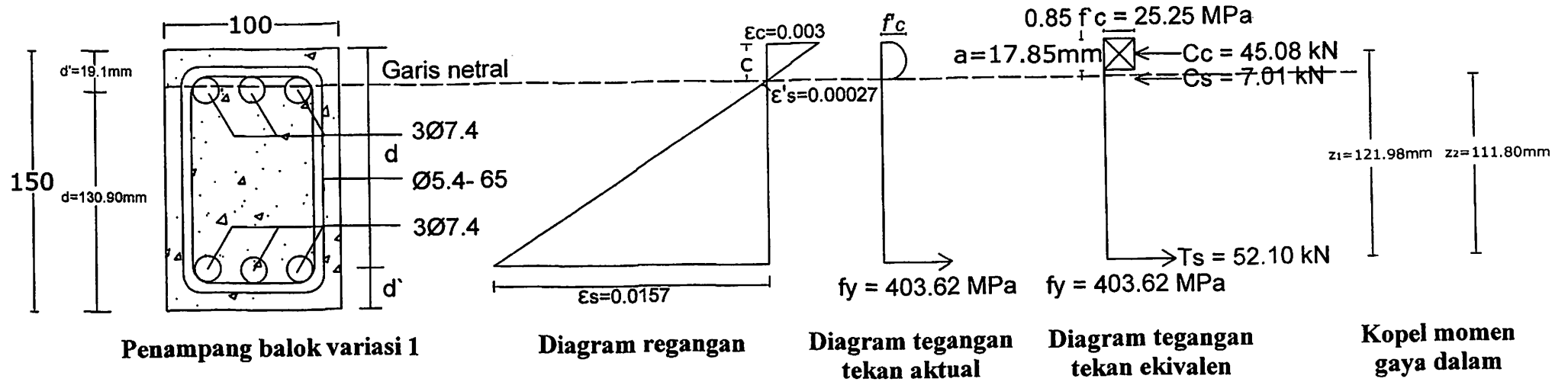
$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.10 = 111.80 \text{ mm}$$

Nilai moment :

$$M_n = C_c \cdot Z_1 + C_s \cdot Z_2$$

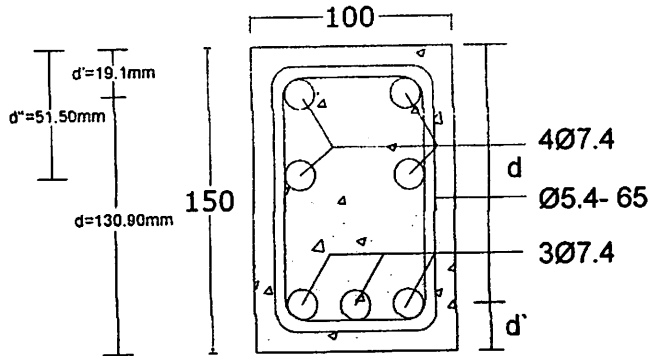
$$M_n = (45.08 \times 121.98 \times 10^{-3}) + (7.01 \times 111.80 \times 10^{-3})$$

$$M_n = 5.50 + 0.78 = 6.28 \text{ kNm.}$$



Gambar 4.8 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 1

4.2.1.3. Balok variasi 2



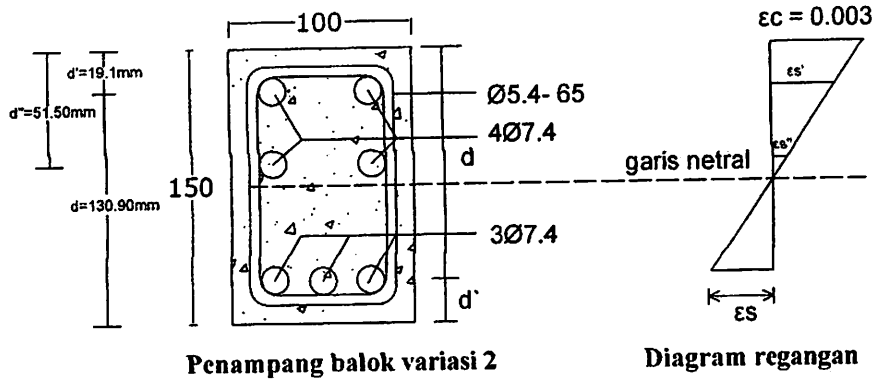
Gambar 4.9 Penampang balok variasi 2

Data benda uji :

- Type : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 3000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 29.71 MPa.
- Mutu baja Ø 7.4 (f_y) : 403.62 MPa.
- Mutu baja Ø 5.4 (f_y) : 370.28 MPa.
- Tulangan utama : Ø 7.4 mm
- Tulangan sengkang : Ø 5.4 mm
- Selimut beton : 10 mm
- Modulus elastis baja (E_s) : 200000 MPa. (SNI-03-2847-2002, Pasal 10.5.2, Hal. 54)
- Regangan mak. beton (ϵ'_c) : 0.003 (SNI-03-2847-2002, Pasal 12.2.3, Hal. 69)
- Luas tulangan utama (A_s/A'_s) :
 - $A_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$
 - $A'_s/A''_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.02 \text{ mm}^2$
- $d' = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul.utama}}$
 - $d' = 10 + 5.4 + (\frac{1}{2} \cdot 7.4) = 19.10 \text{ mm}$
- $d'' = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{sengkang}} + \varnothing_{\text{tul.utama}} + d_{\text{Tul.Sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{tul.utama}}$
 - $d'' = 10 + 5.4 + 7.4 + 25 + (\frac{1}{2} \cdot 7.4) = 51.50 \text{ mm}$

- β_1 (faktor reduksi tinggi balok tegangan tekan ekivalen beton) = 0.85
faktor β_1 diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih kecil daripada atau sama dengan 30 MPa.

Asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik ($d'' < c$),
maka :



Gambar 4.10 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan dan tulangan tarik

Kontrol moment

$$C_c = 0.85f'_c \times a \times b$$

$$C_{s1} = A's \times f's$$

$$C_{s2} = A''s \times f's$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

Karena :

$$\frac{\epsilon's}{\epsilon'c} = \frac{c - d'}{c} \rightarrow \epsilon's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c, \quad a = \beta_1 \times c$$

$$f's = \epsilon's \times E_s \rightarrow f's = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon'c \times E_s, \quad \epsilon'c \times E_s = 600$$

$$f's = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

Maka :

$$C_c = 0.85f'_c \times a \times b = 0.85f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b$$

$$C_{s1} = A's \times f's = A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$C_{s2} = A''s \times f's = A''s \times \frac{c - d''}{c} \times 600$$

$$Ts = As \times fy$$

$$\text{Kontrol } \Sigma H = 0$$

$$Ts = Cc + C_{s1} + C_{s2}$$

$$As \times fy = (0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right) + \left(A''s \times \frac{c - d''}{c} \times 600 \right)$$

Sehingga :

$$\frac{As \times fy = (0.85f'c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A's \times \frac{c - d'}{c} \times 600 \right) + \left(A''s \times \frac{c - d''}{c} \times 600 \right)}{As \times fy \times c = (0.85f'c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A's \times (c - d') \times 600) + (A''s \times (c - d'') \times 600)} \times c$$

Maka :

$$As \times fy \times c = (0.85f'c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A's \times (c - d') \times 600) + (A''s \times (c - d'') \times 600)$$

$$129.08 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (86.02 \times c \times 600) -$$

$$(86.02 \times 19.10 \times 600) + (86.02 \times c \times 600) - (86.02 \times 51.50 \times 600)$$

$$52099.3c = 2146.55c^2 + 51612c - 985789.20 + 51612c - 2658018$$

$$0 = 2146.55c^2 + 51124.73c - 3643807.20 : 2146.55$$

$$0 = c^2 + 23.82c - 1697.52$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-23.82 \pm \sqrt{23.82^2 - (4 \times 1 \times -1697.52)}}{2 \times 1}$$

$$c = 30.98 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$c = -54.80 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

Karena $d'' > c$, maka asumsi di atas salah. Maka letak garis netral dihitung berdasarkan letaknya di antara tulangan tekan.

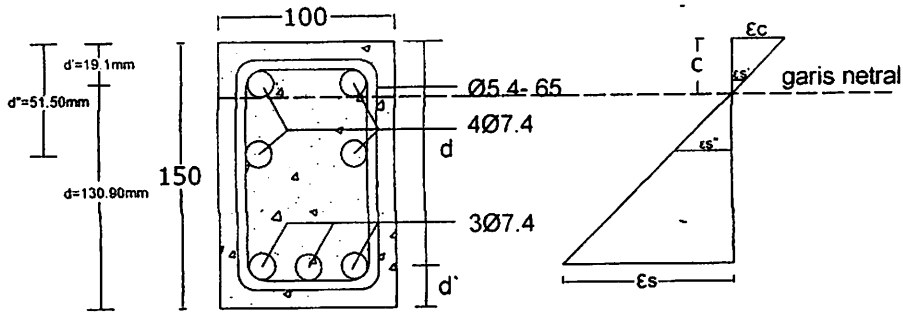


Diagram regangan

Gambar 4.11 Penampang balok variasi 2 asumsi garis netral berada diantara tulangan tekan

Kontrol $\Sigma H = 0$

$$T_{s1} + T_{s2} = Cc + C_s$$

$$A_s \times f_y + \left(A'_s \times \frac{d''-c}{c} \times 600 \right) = (0.85f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A'_s \times \frac{c-d'}{c} \times 600 \right)$$

Sehingga :

$$\frac{A_s \times f_y + \left(A'_s \times \frac{d''-c}{c} \times 600 \right) = (0.85f'_c \times (\beta_1 \times c) \times b) + \left(A'_s \times \frac{c-d'}{c} \times 600 \right)}{(A_s \times f_y \times c) + (A'_s \times (d''-c) \times 600) = (0.85f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c-d') \times 600)} \times c$$

Maka :

$$(A_s \times f_y \times c) + (A'_s \times (d''-c) \times 600) = (0.85f'_c \times \beta_1 \times c^2 \times b) + (A'_s \times (c-d') \times 600)$$

$$(129.08 \times 403.62 \times c) - (86.02 \times c \times 600) + (86.02 \times 51.50 \times 600) = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (86.02 \times c \times 600) - (86.02 \times 19.10 \times 600)$$

$$52099.27c - 51612c + 2658018 = 2146.55c^2 + 51612c - 985789.20$$

$$-2146.55c^2 - 51124.73c + 3643807.20 = 0$$

$$\underline{c^2 + 23.82c - 1697.52 = 0} \quad : -2146.55$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-23.82 \pm \sqrt{23.82^2 - (4 \times 1 \times -1697.52)}}{2 \times 1}$$

$c = 30.98$ mm (memenuhi)

$c = -54.80$ mm (tidak memenuhi)

maka asumsi diatas benar bahwa letak garis netral berada diantara tulangan tekan.

Regangan tulangan yang terjadi.

$$\begin{aligned}\epsilon's &= \frac{c-d'}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{30.98-19.10}{30.98} \cdot 0,003 = 0.00115\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon''s &= \frac{d''-c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{51.50-30.98}{30.98} \cdot 0,003 = 0.00198\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot \epsilon_c \\ &= \frac{130.90-30.98}{30.98} \cdot 0,003 = 0.00967\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{403.62}{200.000} \\ &= 0.00202\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f's &= \epsilon's \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(c-d')}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{(30.98-19.10)}{30.98} \cdot 600 = 230.08 \text{ MPa} < 403.62 \text{ MPa (belum leleh)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f''s &= \epsilon''s \cdot E_s \\ &= \frac{(d''-c)}{c} \cdot \epsilon_c \cdot E_s \\ &= \frac{(d''-c)}{c} \times 0,003 \times 200.000 \\ &= \frac{(d''-c)}{c} \cdot 600\end{aligned}$$

$$= \frac{(51.50 - 30.98)}{30.98} \cdot 600 = 397.42 \text{ MPa} < 403.62 \text{ MPa (belum leleh)}$$

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 30.98 = 26.33 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

$$C_c = 0.85 f'_c \times a \times b$$

$$C_c = 0.85(29.71) \times 26.33 \times 100 \times 10^{-3} = 66.49 \text{ kN.}$$

$$C_s = A'_s \times f'_s = A'_s \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 600$$

$$C_s = 86.02 \times 230.08 \times 10^{-3} = 19.79 \text{ kN}$$

$$T_s'' = A''_s \times f'_s = A''_s \times \left(\frac{d'' - c}{c} \right) \times 600$$

$$T_s'' = 86.02 \times \left(\frac{51.5 - 30.98}{30.98} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 34.19 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 129.078 \times 403.62 \times 10^{-3} = 52.1 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s + T_s'' = C_c + C_s$$

$$52.1 + 34.19 = 66.49 + 19.79$$

$$86.29 \text{ kN} = 86.29 \text{ kN}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

$$d = 150 - 10 - 5.4 - \frac{1}{2}(7.4) = 130.90 \text{ mm}$$

Maka :

$$Z_1 = d - 1/2a = 130.90 - \frac{1}{2}(26.33) = 117.73 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.1 = 111.80 \text{ mm}$$

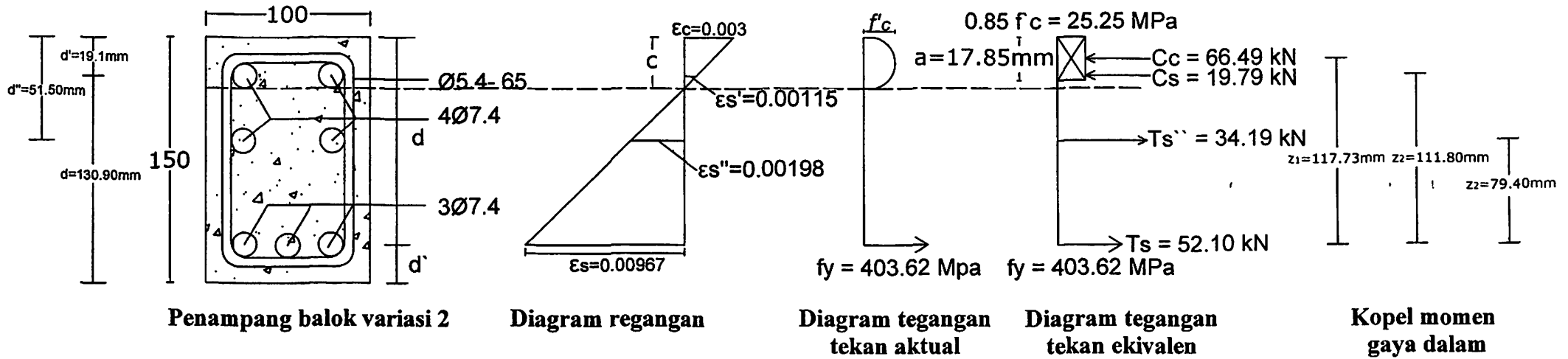
$$Z_3 = d - d'' = 130.90 - 51.5 = 79.40 \text{ mm}$$

Nilai moment :

$$Mn = Cc * Z_1 + Cs * Z_2 - Ts'' * Z_3$$

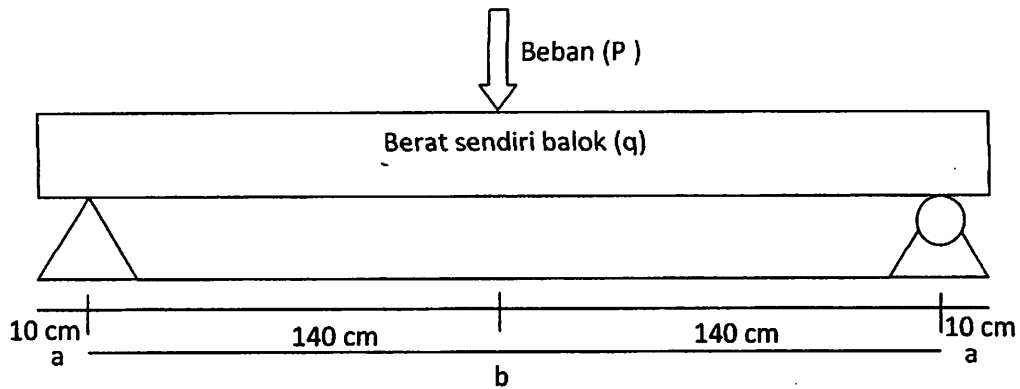
$$Mn = (66.49 \times 117.73 \times 10^{-3}) + (19.79 \times 111.80 \times 10^{-3}) - (34.19 \times 79.40 \times 10^{-3})$$

$$Mn = 7.83 + 2.21 - 2.71 = 7.33 \text{ kNm.}$$



Gambar 4.12 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2

4.2.2 Perhitungan beban (P)



Gambar 4.13 Sketsa penempatan balok saat pengujian

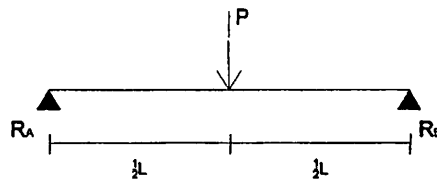
Gaya yang bekerja merupakan beban terbagi rata dari berat sendiri balok yang diperhitungkan sebagai beban mati dan beban terpusat yang diperhitungkan sebagai beban hidup.

Dimana :

Berat jenis beton = 23.5 kN/m ³	Faktor reduksi beban : Mati	= 1.2
$q = (b \cdot h) \cdot \text{berat jenis beton}$	Hidup	= 1.6
$q = (0.10 \times 0.15) \times 23.5$	Faktor reduksi kekuatan (ϕ)	= 0.8
$q = 0.353 \text{ kN/m}$	$l = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm}$	$l_n = 2.8 \text{ m} = 2800 \text{ mm}$

maka :

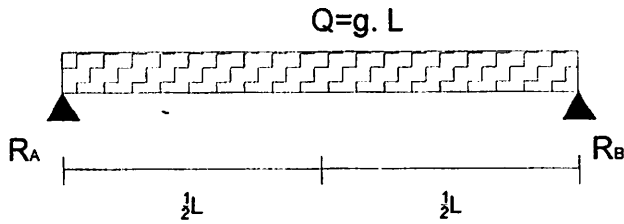
$$M_l = 1/4 P \cdot l \text{ (Moment maksimal beban terpusat)}$$



Gambar 4.14 sketsa pembebanan terpusat

$$\begin{aligned}
 R_A &= P/2 \\
 M_A &= R_A \times (L/2) \\
 &= (P/2) \times (L/2) \\
 &= (1/4) \times P \times L \text{ (Momen maksimum pada beban terpusat)}
 \end{aligned}$$

$$M_2 = 1/8 \cdot q \cdot l^2 \text{ (moment maksimal beban terbagi rata)}$$



Gambar 4.15 sketsa pembebanan merata

$$\begin{aligned} M_x &= R_{av} \cdot x - q \cdot x \cdot 1/2x \\ &= \frac{q \cdot L}{2} \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2} \end{aligned}$$

$$\frac{dmx}{dx} = 0 \quad \frac{q \cdot L}{2} - \frac{2q \cdot x}{2}$$

$$\frac{L}{2} - x = 0 \quad x = \frac{L}{2} \text{ letak momen maksimum}$$

$$M_{max} = \frac{q \cdot L}{2} \cdot \frac{L}{2} - \frac{q \cdot (\frac{L}{2})^2}{2}$$

$$= \frac{q \cdot L^2}{4} - \frac{q \cdot (\frac{L}{4})^2}{2}$$

$$= \frac{q \cdot L^2}{4} - \frac{q \cdot L^2}{4} \cdot \frac{1}{2} = \frac{q \cdot L^2}{4} - \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{2qL^2}{8} - \frac{q \cdot L^2}{8}$$

$$= \frac{1}{8} qL^2$$

$$M_{1,2} = Mn_1 + Mn_2$$

$$M_{1,2} = (1/4P \cdot l) + (1/8 \cdot q \cdot l^2)$$

Moment ultimate :

$$0.8Mn = 1.6(1/4P \cdot l) + 1.2(1/8 \cdot q \cdot l^2)$$

$$0.8Mn - 1.6(1/4P \cdot l) = 1.2(1/8 \cdot q \cdot l^2)$$

$$0.8Mn - 0.4P \cdot l = 0.15q \cdot l^2$$

Sehingga :

$$-0.4P \cdot l = 0.15q \cdot l^2 - 0.8M_n$$

$$P = \frac{0.15q \cdot l^2}{-0.4l} - \frac{0.8M_n}{-0.4l}$$

Hitungan balok normal :

M_n normal = 6.29 kNm.

$$P = -\frac{(0.15 \times 0.353 \cdot 2.8^2)}{0.4 \times 2.8} + \frac{0.8 \times 6.29}{0.4 \times 2.8}$$

$$P = -0.371 + 3.087$$

$$P = 4.12 \text{ kN} = 0.42 \text{ Ton}$$

Maka, beban maksimum teoritis untuk balok normal adalah 0.42 Ton.

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Analisis teoritis untuk pembebanan maksimum

No	Benda uji	M_n (Knm)	a (m)	b (m)	L/L _n (m)	q (kn/m)	P_{maks} (Kn)	P_{maks} (ton)
1	Normal	6.29	0.1	2.8	2.8	0.35	4.12	0.42
2	BB-1	6.28	0.1	2.8	2.8	0.35	4.12	0.42
3	BB-2	7.33	0.1	2.8	2.8	0.35	4.87	0.50

4.2.3 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 :

$$b = 100 \text{ mm} \quad \varnothing_{\text{Tul. utama}} = 7.4 \text{ mm}$$

$$h = 150 \text{ mm} \quad \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} = 5.4 \text{ mm}$$

$$f_y = 403.62 \text{ MPa} \quad d_{\text{selimut}} = 10 \text{ mm}$$

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

$$= 150 - 10 - 5.4 - 1/2(7.4) = 130.90 \text{ mm}$$

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

$$= 10 + 5.4 + 1/2(7.4) = 19.10 \text{ mm}$$

$$f_s = 60\% f_y = 60\% (403.62) = 242.172 \text{ MPa}$$

c = Letak garis netral diukur dari serat tekan terluar. Nilainya diambil dari perhitungan momen.

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

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

Dimana :

$$hr = 2d_c = 2 \times 19.1 = 38.2 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 3 buah

$$A = \frac{100 \times 38.2}{3} = 1273.33 \text{ mm}^2$$

Maka retak yang terjadi pada balok normal (BN) adalah:

$$\omega = (11 \times 10^{-6}) \times (1.175 \times 242.172) \sqrt[3]{19.1 \times 1273.33}$$

$$= (1.1 \times 10^{-5}) \times (284.552) \sqrt[3]{24320.603}$$

$$= (1.1 \times 10^{-5}) \times (284.552) \times (28.973)$$

$$\omega = 0.090 \text{ mm}$$

Analisis teoritis retak untuk balok normal sebesar 0.090 mm, untuk analisis retak balok selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel.4.5 Analisis teoritis retak

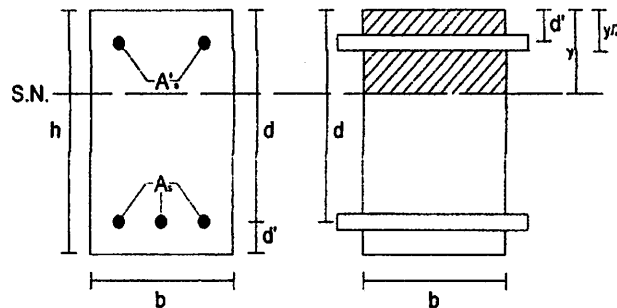
No.	Benda uji	f_y (MPa)	f_s (MPa)	b (mm)	h (mm)	d (mm)	c (mm)	β	d_c (mm)	A (mm ²)	ω (mm)
1	BN	403.62	242.172	100	150	130.9	21.55	1.175	19.1	1273.33	0.0904
2	BB-1	403.62	242.172	100	150	130.9	21.00	1.174	19.1	1273.33	0.0903
3	BB-2	403.62	242.172	100	150	130.9	30.98	1.191	19.1	1273.33	0.0916

4.2.4 Letak garis netral penampang transformasi

Data perhitungan :

h	$= 150 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{Tul. sengkang}}$	$= 5.4 \text{ mm}$
b	$= 100 \text{ mm}$	$\varnothing_{\text{Tul. utama}}$	$= 7.4 \text{ mm}$
d_{selimut}	$= 10 \text{ mm}$	E_s	$= 200000 \text{ MPa}$

- Balok Normal



Gambar 4.16 Penampang transformasi balok normal

Luas tulangan utama (A_s dan A'_s):

$$A_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

$$A'_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 86.02 \text{ mm}^2$$

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

$$d' = 10 + 5.4 + (\frac{1}{2} \cdot 7.4) = 19.10 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

$$\frac{nA_s d + nA'_s d' + by (\frac{1}{2}y)}{by + nA_s + nA'_s} = y$$

$$nA_s d + nA'_s d' + by (\frac{1}{2}y) = by^2 + nA_s y + nA'_s y$$

$$\frac{1}{2} by^2 + nA'_s y - nA'_s d' - nA_s d + nA_s y = 0$$

Maka :

a. Balok normal dengan nilai kuat tekan ($f'_c = 29.71 \text{ MPa}$):

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \sqrt{29.71} = 25618.234 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.233} = 7.807$$

$$\cdot \frac{1}{2}(100)y^2 + 7.807 \cdot 86.02 \cdot y - 7.807 \cdot 86.02 \cdot 19.1 - 7.807 \cdot 129.08 \cdot 130.9 + 7.807 \cdot 129.08 \cdot y = 0$$

$$50y^2 + 671.56y - 12826.76 - 131911.54 + 1007.73y = 0$$

$$\cdot 50y^2 + 1679.29y - 144738.30 = 0$$

$$\frac{y^2 + 33.59y - 2894.77}{2 \times 1} = 0 \quad : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

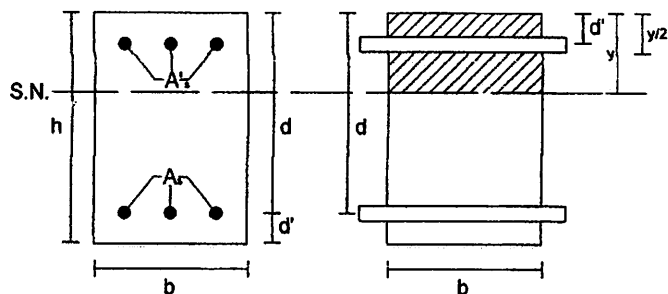
$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-33.59 \pm \sqrt{33.59^2 - (4 \times 1 \times -2894.77)}}{2 \times 1}$$

$y = 39.57$ mm (memenuhi)

$y = -73.16$ mm (tidak memenuhi)

- Balok variasi 1



Gambar 4.17 Penampang transformasi balok variasi 1

Dimana luasan tulangan daerah tekan dan daerah tarik (A_s dan $A's$) :

$$A_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

$$A's = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

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

$$d' = 10 + 5.40 + (\frac{1}{2} \cdot 7.40) = 19.10 \text{ mm}$$

Lengan moment :

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

$$d = 150 - 10 - 5.40 - \frac{1}{2}(7.40) = 130.90 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

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

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

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

Maka :

a. Balok variasi 1 dengan nilai kuat tekan ($f'_c = 29.71 \text{ MPa}$) :

$$Ec = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{29.71} = 25618.23 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{200000}{25618.233} = 7.81$$

$$\frac{1}{2}(100)y^2 + 7.81 \cdot 129.08 \cdot y - 7.81 \cdot 129.08 \cdot 19.10 - 7.81 \cdot 129.08 \cdot 130.90 + 7.81 \cdot 129.08 \cdot y = 0$$

$$50y^2 + 1008.11y - 19254.99 - 131962.23 + 1008.11y = 0$$

$$\frac{50y^2 + 2016.22y - 151217.22 = 0}{y^2 + 40.32y - 3024.34 = 0} : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

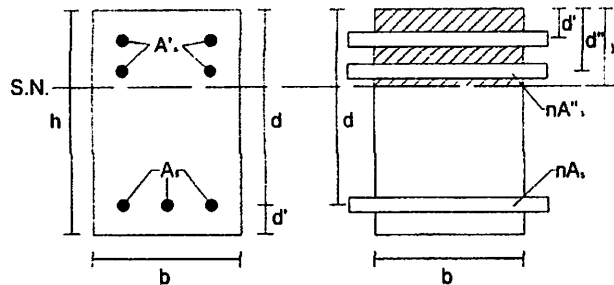
$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-40.32 \pm \sqrt{40.32^2 - (4 \times 1 \times -3024.34)}}{2 \times 1}$$

$$y = 38.41 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -78.73 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

-Balok variasi 2



Gambar 4.18 Penampang transformasi balok variasi 2

Luas tulangan utama ($A_s/A's$) :

$$A_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.40^2 = 129.08 \text{ mm}^2$$

$$A's/A's = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.40^2 = 86.02 \text{ mm}^2$$

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

$$d' = 10 + 5.40 + (\frac{1}{2} \cdot 7.40) = 19.10 \text{ mm}$$

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

$$d'' = 10 + 5.40 + 7.40 + 25 + (\frac{1}{2} \cdot 7.40) = 51.50 \text{ mm}$$

Lengan moment :

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

$$d = 150 - 10 - 5.40 - \frac{1}{2}(7.40) = 130.90 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

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

$$nA_s''d'' + nA_s d + nA_s' d' + by (1/2y) = by^2 + nA_s y + nA_s' y + nA_s'' y$$

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

Maka :

a. Balok variasi 2 dengan nilai kuat tekan ($f_c = 29.71 \text{ MPa}$) :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{29.71} = 25618.23 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.233} = 7.81$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(100)y^2 + 7.81 \cdot 86.02 \cdot y - 7.81 \cdot 86.02 \cdot 19.10 - 7.81 \cdot 129.08 \cdot 130.90 + \\ & 7.81 \cdot 129.08 \cdot y + 7.81 \cdot 86.02 \cdot y - 7.81 \cdot 86.02 \cdot 51.50 = 0 \\ & 50y^2 + 671.82y - 12831.69 - 131962.23 + 1008.11y + 671.82y - \\ & 34598.53 = 0 \\ & 50y^2 + 2351.75y - 179392.45 = 0 \\ & \frac{y^2 + 47.03y - 3587.85}{y^2 + 47.03y - 3587.85} = 0 : 50 \end{aligned}$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

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

$$y = \frac{-47.03 \pm \sqrt{47.03^2 - (4 \times 1 \times -3587.85)}}{2 \times 1}$$

$$y = 40.83 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -87.86 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

4.2.5 Momen inersia penampang retak transformasi

1. Momen inersia terhadap garis netral dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

- Untuk balok normal dan variasi 1

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

- Untuk balok variasi 2

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

Data dan hasil perhitungan :

Tabel 4.6 Momen Inersia Penampang retak Transformasi Teoritis

No	Benda uji	n	As (mm ²)	A's (mm ²)	As'' (mm ²)	b (mm)	d (mm)	d' (mm)	d'' (mm)	y (mm)	I _G (mm ⁴)
1	BN	7.81	129.08	86.02	-	100	130.90	19.1	-	39.57	10716181.43
2	BB-1	7.81	129.08	129.08	-	100	130.90	19.1	-	38.41	10836966.15
5	BB-2	7.81	129.08	86.02	86.02	100	130.90	19.1	51.50	40.83	10787286.92

4.2.6 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 :

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

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

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

Moment retak dihitung berdasarkan rumus :

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

Dimana :

$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c} = 0.7 \sqrt{29.71} = 3.82$$

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

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

$$M_{cr} = \frac{3.82 * 28125000}{75} = 1430805.61 \text{ Nmm}$$

$$P \text{ retak awal} = \frac{4 * M_{cr}}{L} - \frac{1}{2} * q * L$$

$$P \text{ retak awal} = \frac{4 * 1430805.61}{2800} - \frac{1}{2} * 0.353 * 2800$$

$$= 1549.81 \text{ N}$$

$$= 157.98 \text{ Kg}$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 4.7 di bawah ini:

Tabel 4.7 Momen Inersia Timbul Retak Pertama Kali

No	Benda uji	f_c (MPa)	f_r (MPa)	I_g (mm ⁴)	h (mm)	Y_t (mm)	M_{cr} (Nmm)	P retak pertama (N)	P retak pertama (Kg)
1	BN	29.71	3.82	28125000	150	75	1430805.61	1549.81	157.98
2	BB-1	29.71	3.82	28125000	150	75	1430805.61	1549.81	157.98
3	BB-2	29.71	3.82	28125000	150	75	1430805.61	1549.81	157.98

4.2.8 Moment inersia efektif (I_e)

Moment 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 :

$$M_a = 1/4Pl \text{ (untuk beban terpusat)}$$

$$M_a = [1/8 * q * l^2] \text{ (untuk berat sendiri balok)}$$

Penyelesaian untuk balok normal :

$$I_e = \left(\frac{1430805.61}{3226815.94}\right)^3 * 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430805.61}{3226815.94}\right)^3\right] 10716181.43$$

$$I_e = 12233890.813 \text{ mm}^4$$

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 4.8.

4.2.9 Lendutan (Δ_{maks})

Karena berupa beban titik, dan berat sendiri balok, maka lendutan dihitung berdasarkan rumus :

$$\Delta_{Maks} = \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5qb^4}{384E_c I_e}$$

Maka, untuk hitungan adalah :

$$P = 2716.49 \text{ N} \quad q = 0.353 \text{ n/mm} \quad E_c = 25618.71 \text{ MPa}$$

$$l/b = 2800 \text{ mm} \quad I_e = 13005853.5 \text{ mm}^4$$

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

$$\Delta = \frac{4115.537(2800)^3}{48 \times 25618.23 \times 12233890.81} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.23 \times 12233890.81}$$

$$\Delta = 6,907 \text{ mm}$$

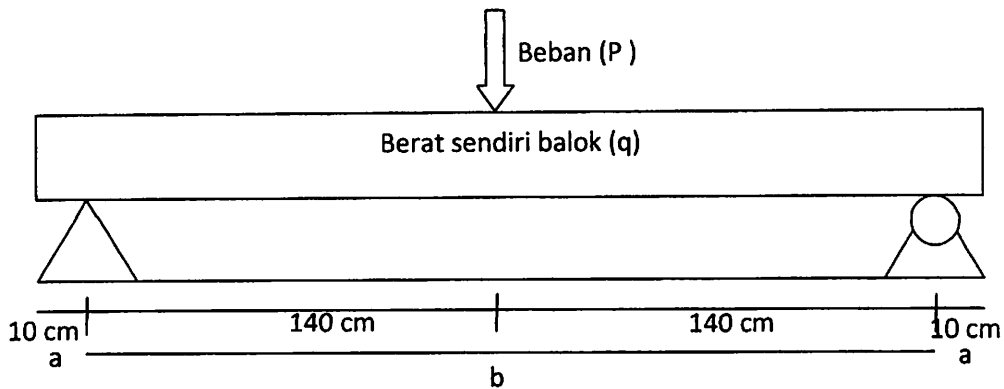
Adapun hasil perhitungan lainnya kami tampilkan pada tabel 4.9

Tabel 4.8 Hasil Analisis Momen Inersia Efektif (I_e) Akibat berat Sendiri dan Beban Terpusat Teoritis

No	Benda uji	q (N/mm)	P (N)	a (mm)	$L_n=b$ (mm)	M_a (Nmm)	E_c (MPa)	M_{cr} (Nmm)	I_g (mm ⁴)	I_{cr} (mm ⁴)	I_e (mm ⁴)
1	BN	0.353	4115.54	100	2800	3226815.94	25618.23374	1430805.61	28125000.00	10716181.43	12233890.81
2	BB-1	0.353	4115.54	100	2800	3226815.94	25618.23374	1430805.61	28125000.00	10836966.15	12344145.47
3	BB-2	0.353	4865.54	100	2800	3751815.94	25618.23374	1430805.61	28125000.00	10787286.92	11748919.43

Tabel 4.9 Hasil Analisis Lendutan (Δ) Teoritis

No	Benda uji	$L_n = b$ (mm)	a	q (N/mm)	P (N)	E_c (MPa)	I_e (mm ⁴)	$\Delta_{maks.}$ (mm)
1	BN	2800	100	0.353	4115.537	25618.23374	12233890.813	6.907
2	BB-1	2800	100	0.353	4115.537	25618.23374	12344145.466	6.845
3	BB-2	2800	100	0.353	4865.537	25618.23374	11748919.435	8.332



Gambar 4.19 Sketsa penempatan balok saat pengujian

1. Lendutan Balok Teoritis

a. Balok normal dengan berat sendiri.

Dengan kondisi balok hanya menerima beban sendiri belum mengalami retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.10 bahwa, $M_a = 345940,00 \text{ Nmm} < M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$, maka perhitungan lendutan pada balok Menggunakan Inersia penampang utuh (I_g)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.23 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 10716181.43 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

$$q = 0.353 \text{ N/mm}$$

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

$$l = 2800 \text{ mm}$$

maka :

karena balok belum mengalami retak maka *Inersia efektif* = *Inersia gross*

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

Sehingga :

$$\Delta = \frac{5 * q * b^4}{384 * E_c * I_g}$$

$$\Delta = \frac{5 \cdot 0.353 \cdot 2800^4}{384 \cdot 25618.23 \cdot 28125000}$$

$$= 0,39 \text{ mm}$$

- b. Balok normal dengan berat sendiri dan $P = 1544.094 \text{ N}$

Dengan kondisi balok menerima beban $P = 1544.094 \text{ N}$, belum mengalami retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.10 bahwa, $M_a = 1426805.80 \text{ Nmm} < M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$, maka perhitungan lendutan pada balok Menggunakan Inersia penampang utuh (I_g)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.23 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 10716181.43 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

$$q = 0.353 \text{ N/mm}$$

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

$$l = 2800 \text{ mm}$$

maka :

karena balok belum mengalami retak maka *Inersia efektif* = *Inersia gross*

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

Sehingga :

$$\Delta = \frac{P \cdot (Ln)^3}{48 \cdot E_c \cdot I_g} + \frac{5 \cdot q \cdot b^4}{384 \cdot E_c \cdot I_g}$$

$$\Delta = \frac{1544.094 \cdot (2800)^3}{48 \cdot 25618.23 \cdot 28125000} + \frac{5 \cdot 0.353 \cdot 2800^4}{384 \cdot 25618.23 \cdot 28125000}$$

$$= 1,372 \text{ mm}$$

c. Balok normal dengan berat sendiri dan $P = 3800.394 \text{ N}$

Dengan kondisi balok menerima beban $P = 3800.394 \text{ N}$ Sudah mengalami retak, hal ini dapat dilihat pada tabel 16 bahwa, $M_a = 3006215,80 \text{ Nmm} > M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$, Maka perhitungan lendutan pada balok Menggunakan Inersia efektif (I_e)

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.23 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430805.61 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 10716181.43 \text{ mm}^4$$

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

Maka, untuk hitungan adalah :

$$q = 0.353 \text{ N/mm}$$

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

$$l = 2800 \text{ mm}$$

$$P = 3800.394 \text{ N}$$

maka :

$$M = 1/8 * q * l^2 + (1/4) * P * L$$

$$= 1/8 * 0.353 * 2800^2 + (1/4) * 3800.394 * 2800 = 3004450,80 \text{ Nmm}$$

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

$$I_e = \left(\frac{1430805.61}{3006215,80} \right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430805.61}{3006215,80} \right)^3 \right] \times 10716181.43$$

$$I_e = 12593122.95 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

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

$$\Delta = \frac{3800.394 * (2800)^3}{48 * 25618.23 * 12593122.95} + \frac{5 * 0.353 * 2800^4}{384 * 25618.23 * 12593122.95}$$

$$= 6.26 \text{ mm}$$

Perhitungan diatas digunakan juga pada perhitungan balok untuk variasi balok 1 dan variasi balok 2.

Tabel 4.10 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) balok normal (BN)

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 Batas retak BN teoritis (mm)	Δ BN teoritis (mm)	Δ Batas runtuh BN teoritis (mm)
1	0	0	0.353	2800	345940.00	1430805.61	10716181.43	28125000	28125000.00	25618.23	0.39	0.39	1.03
2	65.40	641.574	0.353	2800	795041.80	1430805.61	10716181.43	28125000	28125000.00	25618.23	0.80	0.80	2.10
3	111.40	1092.834	0.353	2800	1110923.80	1430805.61	10716181.43	28125000	28125000.00	25618.23	1.09	1.09	2.85
4	157.40	1544.094	0.353	2800	1426805.80	1430805.61	10716181.43	28125000	28125000.00	25618.23	1.37	1.37	3.60
5	157.98	1549.808	0.353	2800	1430805.61	1430805.61	10716181.43	28125000	28125000.00	25618.23	1.38	1.38	3.61
6	203.40	1995.354	0.353	2800	1742687.80	1430805.61	10716181.43	28125000	20351197.15	25618.23	1.66	2.29	4.35
7	249.40	2446.614	0.353	2800	2058569.80	1430805.61	10716181.43	28125000	16561583.76	25618.23	1.95	3.30	5.10
8	295.40	2897.874	0.353	2800	2374451.80	1430805.61	10716181.43	28125000	14525270.48	25618.23	2.23	4.32	5.86
9	341.40	3349.134	0.353	2800	2690333.80	1430805.61	10716181.43	28125000	13334923.33	25618.23	2.52	5.31	6.61
10	387.40	3800.394	0.353	2800	3006215.80	1430805.61	10716181.43	28125000	12593122.95	25618.23	2.80	6.26	7.36
11	433.40	4251.654	0.353	2800	3322097.80	1430805.61	10716181.43	28125000	12107011.14	25618.23	3.09	7.18	8.11
12	479.40	4702.914	0.353	2800	3637979.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11775265.29	25618.23	3.38	8.07	8.86
13	525.40	5154.174	0.353	2800	3953861.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11541167.74	25618.23	3.66	8.93	9.62
14	571.40	5605.434	0.353	2800	4269743.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11371278.64	25618.23	3.95	9.77	10.37
15	617.40	6056.694	0.353	2800	4585625.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11245010.55	25618.23	4.24	10.60	11.12
16	663.40	6507.954	0.353	2800	4901507.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11149215.54	25618.23	4.52	11.41	11.87
17	709.40	6959.214	0.353	2800	5217389.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11075228.47	25618.23	4.81	12.21	12.62
18	755.40	7410.474	0.353	2800	5533271.80	1430805.61	10716181.43	28125000	11017180.52	25618.23	5.10	13.01	13.37
19	801.40	7861.734	0.353	2800	5849153.80	1430805.61	10716181.43	28125000	10971000.59	25618.23	5.38	13.80	14.13
20	847.40	8312.994	0.353	2800	6165035.80	1430805.61	10716181.43	28125000	10933804.23	25618.23	5.67	14.58	14.88
21	893.40	8764.254	0.353	2800	6480917.80	1430805.61	10716181.43	28125000	10903508.98	25618.23	5.96	15.36	15.63

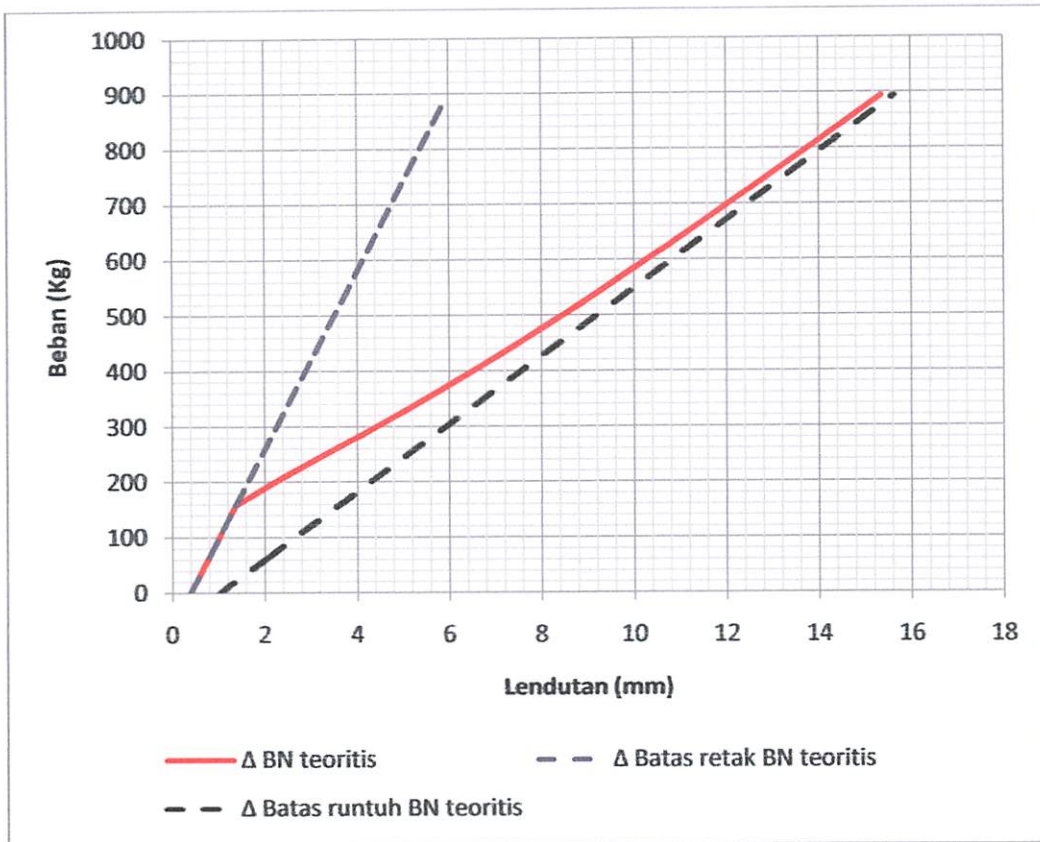
Tabel 4.11 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 1 (BB-1)

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 Batas retak BB-1 teoritis (mm)	Δ BB-1 teoritis (mm)	Δ Batas runtuh BB-1 teoritis (mm)
1	0	0	0.353	2800	345940.00	1430805.61	10836966.15	28125000	28125000.00	25618.23	0.39	0.39	1.02
2	65.40	641.574	0.353	2800	795041.80	1430805.61	10836966.15	28125000	28125000.00	25618.23	0.80	0.80	2.07
3	111.40	1092.834	0.353	2800	1110923.80	1430805.61	10836966.15	28125000	28125000.00	25618.23	1.09	1.09	2.82
4	157.40	1544.094	0.353	2800	1426805.80	1430805.61	10836966.15	28125000	28125000.00	25618.23	1.37	1.37	3.56
5	157.98	1549.808	0.353	2800	1430805.61	1430805.61	10836966.15	28125000	28125000.00	25618.23	1.38	1.38	3.57
6	203.40	1995.354	0.353	2800	1742687.80	1430805.61	10836966.15	28125000	20405132.84	25618.23	1.66	2.29	4.30
7	249.40	2446.614	0.353	2800	2058569.80	1430805.61	10836966.15	28125000	16641812.30	25618.23	1.95	3.29	5.05
8	295.40	2897.874	0.353	2800	2374451.80	1430805.61	10836966.15	28125000	14619627.23	25618.23	2.23	4.29	5.79
9	341.40	3349.134	0.353	2800	2690333.80	1430805.61	10836966.15	28125000	13437538.86	25618.23	2.52	5.27	6.53
10	387.40	3800.394	0.353	2800	3006215.80	1430805.61	10836966.15	28125000	12700885.20	25618.23	2.80	6.21	7.28
11	433.40	4251.654	0.353	2800	3322097.80	1430805.61	10836966.15	28125000	12218146.10	25618.23	3.09	7.11	8.02
12	479.40	4702.914	0.353	2800	3637979.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11888701.95	25618.23	3.38	7.99	8.76
13	525.40	5154.174	0.353	2800	3953861.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11656228.60	25618.23	3.66	8.84	9.51
14	571.40	5605.434	0.353	2800	4269743.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11487518.21	25618.23	3.95	9.67	10.25
15	617.40	6056.694	0.353	2800	4585625.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11362126.19	25618.23	4.24	10.49	10.99
16	663.40	6507.954	0.353	2800	4901507.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11266995.81	25618.23	4.52	11.29	11.74
17	709.40	6959.214	0.353	2800	5217389.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11193522.07	25618.23	4.81	12.08	12.48
18	755.40	7410.474	0.353	2800	5533271.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11135876.87	25618.23	5.10	12.87	13.22
19	801.40	7861.734	0.353	2800	5849153.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11090017.34	25618.23	5.38	13.65	13.97
20	847.40	8312.994	0.353	2800	6165035.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11053079.05	25618.23	5.67	14.42	14.71
21	893.40	8764.254	0.353	2800	6480917.80	1430805.61	10836966.15	28125000	11022994.00	25618.23	5.96	15.19	15.46

Tabel 4.12 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 2 (BB-2)

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 Batas retak BB-2 teoritis (mm)	Δ BB-2 teoritis (mm)	Δ Batas runtuh BB 2 teoritis (mm)
1	0	0	0.353	2800	345940.00	1430805.61	10787286.92	28125000	28125000.00	25618.23	0.39	0.39	1.02
2	65.40	641.574	0.353	2800	795041.80	1430805.61	10787286.92	28125000	28125000.00	25618.23	0.80	0.80	2.08
3	111.40	1092.834	0.353	2800	1110923.80	1430805.61	10787286.92	28125000	28125000.00	25618.23	1.09	1.09	2.83
4	157.40	1544.094	0.353	2800	1426805.80	1430805.61	10787286.92	28125000	28125000.00	25618.23	1.37	1.37	3.58
5	157.98	1549.808	0.353	2800	1430805.61	1430805.61	10787286.92	28125000	28125000.00	25618.23	1.38	1.38	3.59
6	203.40	1995.354	0.353	2800	1742687.80	1430805.61	10787286.92	28125000	20382948.88	25618.23	1.66	2.29	4.32
7	249.40	2446.614	0.353	2800	2058569.80	1430805.61	10787286.92	28125000	16608813.98	25618.23	1.95	3.29	5.07
8	295.40	2897.874	0.353	2800	2374451.80	1430805.61	10787286.92	28125000	14580817.93	25618.23	2.23	4.30	5.82
9	341.40	3349.134	0.353	2800	2690333.80	1430805.61	10787286.92	28125000	13395332.69	25618.23	2.52	5.29	6.56
10	387.40	3800.394	0.353	2800	3006215.80	1430805.61	10787286.92	28125000	12656562.16	25618.23	2.80	6.23	7.31
11	433.40	4251.654	0.353	2800	3322097.80	1430805.61	10787286.92	28125000	12172435.85	25618.23	3.09	7.14	8.06
12	479.40	4702.914	0.353	2800	3637979.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11842045.00	25618.23	3.38	8.02	8.81
13	525.40	5154.174	0.353	2800	3953861.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11608903.62	25618.23	3.66	8.88	9.55
14	571.40	5605.434	0.353	2800	4269743.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11439708.42	25618.23	3.95	9.71	10.30
15	617.40	6056.694	0.353	2800	4585625.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11313956.07	25618.23	4.24	10.53	11.05
16	663.40	6507.954	0.353	2800	4901507.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11218552.32	25618.23	4.52	11.34	11.79
17	709.40	6959.214	0.353	2800	5217389.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11144867.45	25618.23	4.81	12.14	12.54
18	755.40	7410.474	0.353	2800	5533271.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11087056.60	25618.23	5.10	12.93	13.29
19	801.40	7861.734	0.353	2800	5849153.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11041065.28	25618.23	5.38	13.71	14.03
20	847.40	8312.994	0.353	2800	6165035.80	1430805.61	10787286.92	28125000	11004020.85	25618.23	5.67	14.49	14.78
21	893.40	8764.254	0.353	2800	6480917.80	1430805.61	10787286.92	28125000	10973849.34	25618.23	5.96	15.26	15.53
22	939.40	9215.514	0.353	2800	6796799.80	1430805.61	10787286.92	28125000	10949027.98	25618.23	6.24	16.03	16.27
23	985.40	9666.774	0.353	2800	7112681.80	1430805.61	10787286.92	28125000	10928421.54	25618.23	6.53	16.80	17.02

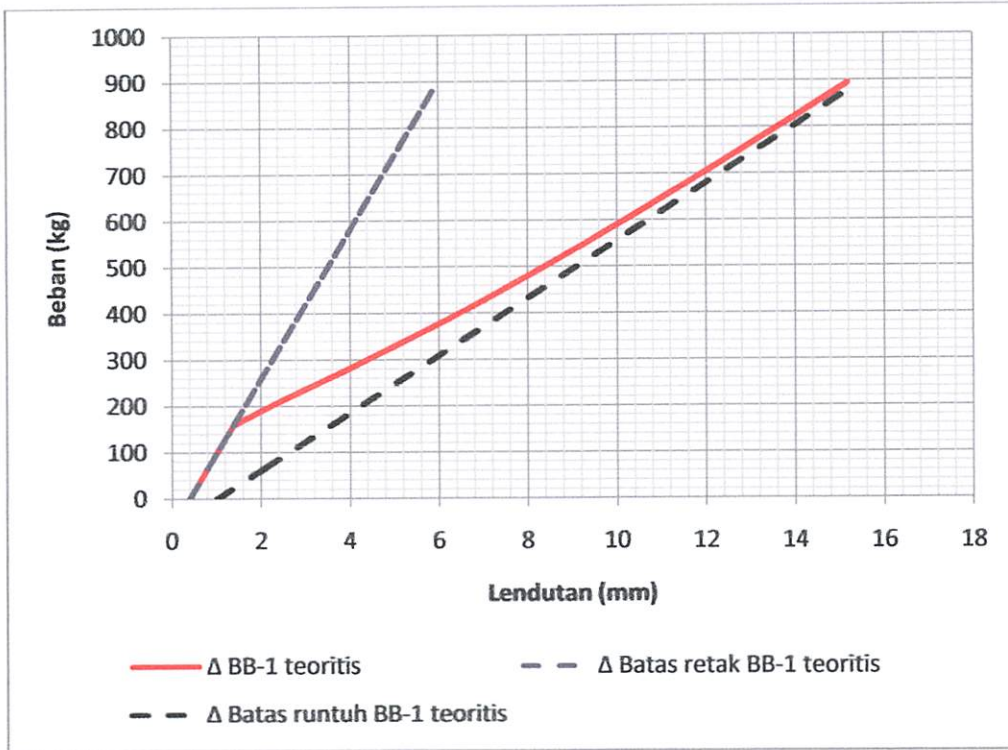
- Hasil analisa teoritis balok normal (BN) mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.98 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.38 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr}).
- Hasil analisa teoritis balok variasi 1 (BB-1) mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.98 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.38 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr}).
- Hasil analisa teoritis balok variasi 2 (BB-2) mempunyai nilai beban retak awal P sebesar 157.98 Kg dan mempunyai lendutan teoritis 1.38 mm. Hasil perhitungan lendutan sebelum retak menggunakan Inersia gross (I_g) ditandai dengan nilai $M < M_{cr}$ maka balok belum mengalami retak. Perhitungan lendutan setelah retak menggunakan Inersia kritis (I_{cr}) balok mengalami retak ditandai dengan nilai $M > M_{cr}$. Perhitungan lendutan batas retak menggunakan nilai inersia gross (I_g) dan perhitungan lendutan batas runtuh menggunakan nilai Inersia kritis (I_{cr}).



Gambar 4.20 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok normal (BN)

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.10* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 12 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14.

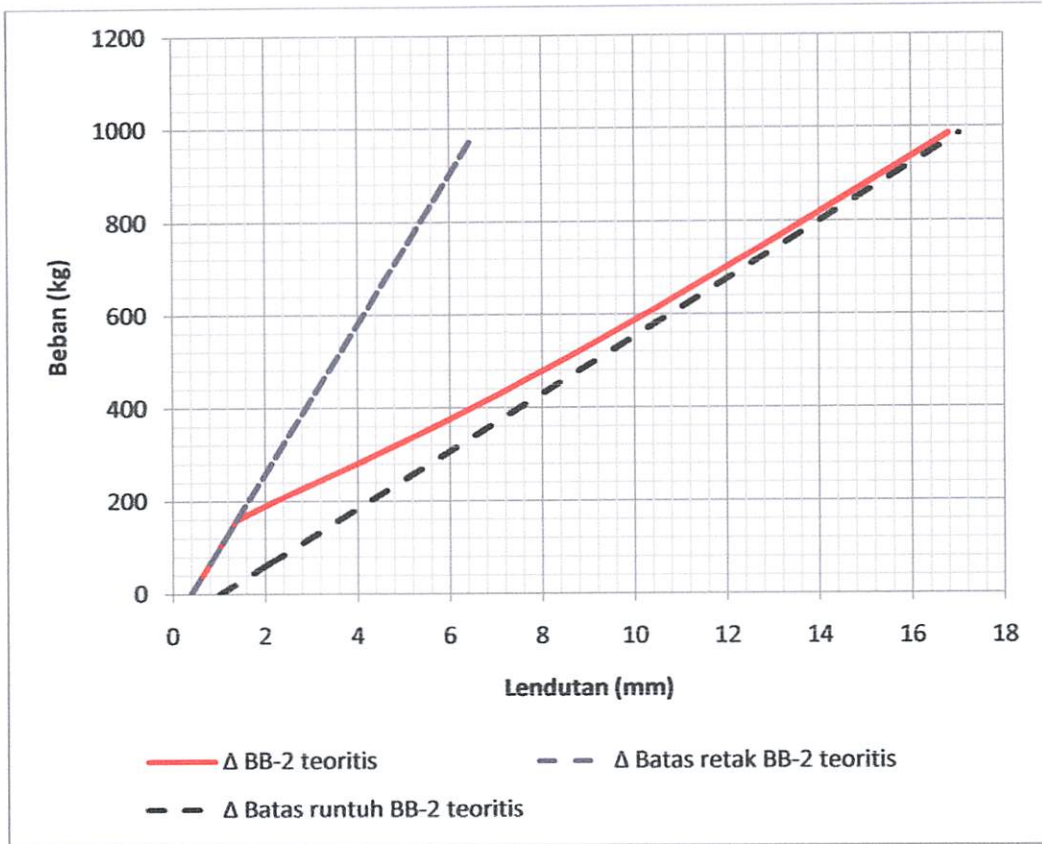
Kurva hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P sebesar 157.98 Kg dan nilai lendutan 1.38 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan beban P= 893.40 Kg dengan nilai lendutan 15.36 mm



Gambar 4.21 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok variasi 1 (BB-1)

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.10* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 12 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14.

Kurva hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P sebesar 157.98 Kg dan nilai lendutan 1.38 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan beban P= 893.40 Kg dengan nilai lendutan 15.19 mm



Gambar 4.22 Grafik hubungan beban dan lendutan teoritis balok variasi 2 (BB-2)

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal dengan hasil analisa teoritis dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.10* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 13 untuk normal teoritis, untuk batas retak dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 12 dan batas runtuh dengan cara menghubungkan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 14.

Kurva hasil analisa teoritis mempunyai nilai retak awal beban P sebesar 157.98 Kg dan nilai lendutan 1.38 mm dan nilai beban akhir yang digunakan untuk perhitungan teoritis dengan beban $P= 985.40$ Kg dengan nilai lendutan 16.80 mm

4.2.10 Data Lab Hasil Pengujian Lendutan.

1. Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BN-1B

Tanggal pengujian : 22/07-2011

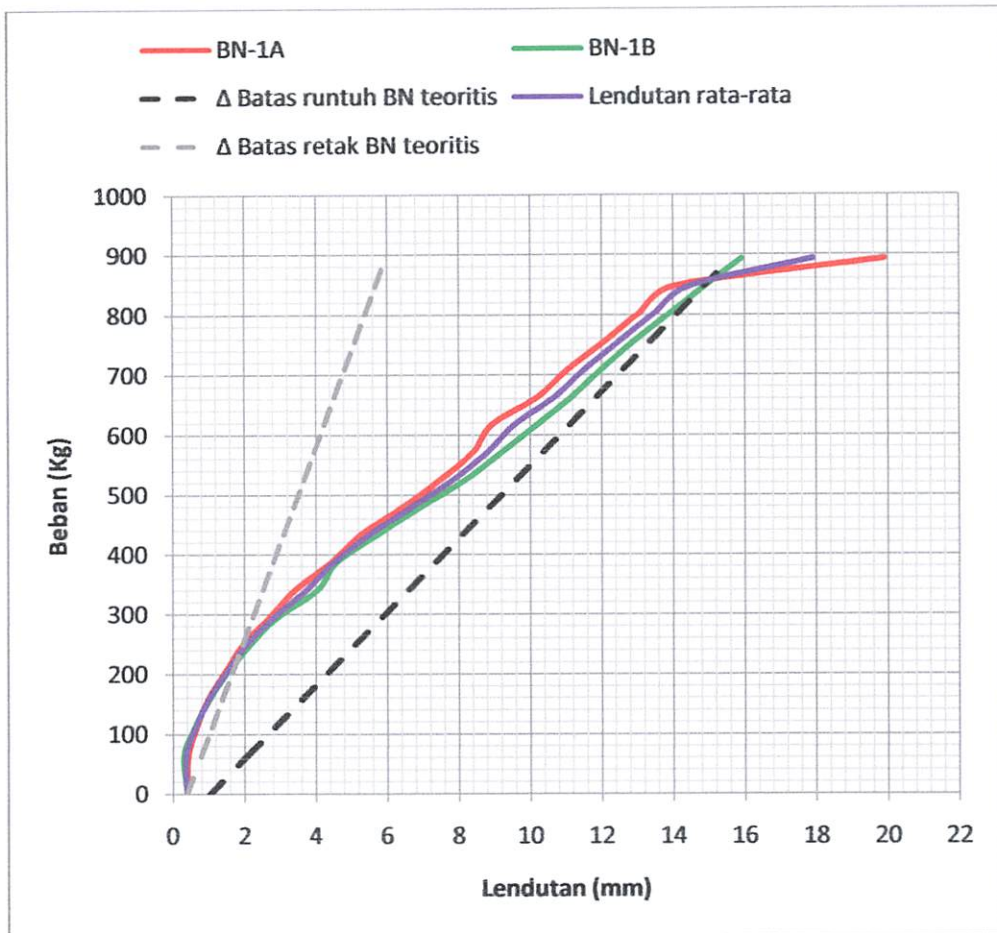
$f'_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ MPa

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Balok Normal

No	Beban (Kg)	BN-1A	BN-1B	Lendutan rata-rata (mm)
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0.39	0.39	0.39
2	65.40	0.43	0.31	0.37
3	111.40	0.66	0.60	0.63
4	157.40	0.97	1.01	0.99
5	203.40	1.45	1.52	1.49
6	249.40	1.96	2.15	2.06
7	295.40	2.70	2.92	2.81
8	341.40	3.42	4.05	3.74
9	387.40	4.44	4.60	4.52
10	433.40	5.27	5.73	5.50
11	479.40	6.43	6.92	6.68
12	525.40	7.48	8.19	7.84
13	571.40	8.41	9.22	8.82
14	617.40	8.93	10.19	9.56
15	663.40	10.22	11.17	10.70
16	709.40	11.06	12.00	11.53
17	755.40	12.07	12.90	12.49
18	801.40	13.04	13.90	13.47
19	847.40	14.04	14.89	14.47
20	893.40	19.91	15.91	17.91

Pengujian hasil eksperimen BN-1A mengalami retak awal pada beban 295.4 Kg nilai lendutan 2.70 mm dengan beban optimum 839.4 Kg dengan nilai lendutan 19.91 mm. Pengujian hasil eksperimen BN-1B mengalami retak awal pada beban 387.4 Kg nilai lendutan 4.60 mm dengan beban optimum 893.4 Kg dengan nilai lendutan 15.91 mm.



Gambar 4.23 Grafik hubungan beban-lendutan eksperimen balok normal 1A dan 1B

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal-1A dengan Balok normal 1-B hasil eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.13* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 3 untuk balok normal 1A dan angka –angka pada kolom 2 dan kolom 4 untuk balok eskperimen 1B dan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 5 untuk lendutan rata-rata balok normal .

Pada pengujian yang kami lakukan tidak sampai pada tahap balok runtuh di karenakan sewaktu pengujian di lab Universitas brawijaya alat yang digunakan untuk mengukur lendutan (LVDT) tidak terdapat pelindung. jadi pengujian kita hentikan sampai pada tahap beban optimum.

2. Balok variasi 1

Benda uji : Variasi-1A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : Variasi-1B

Tanggal pengujian : 24/07-2011

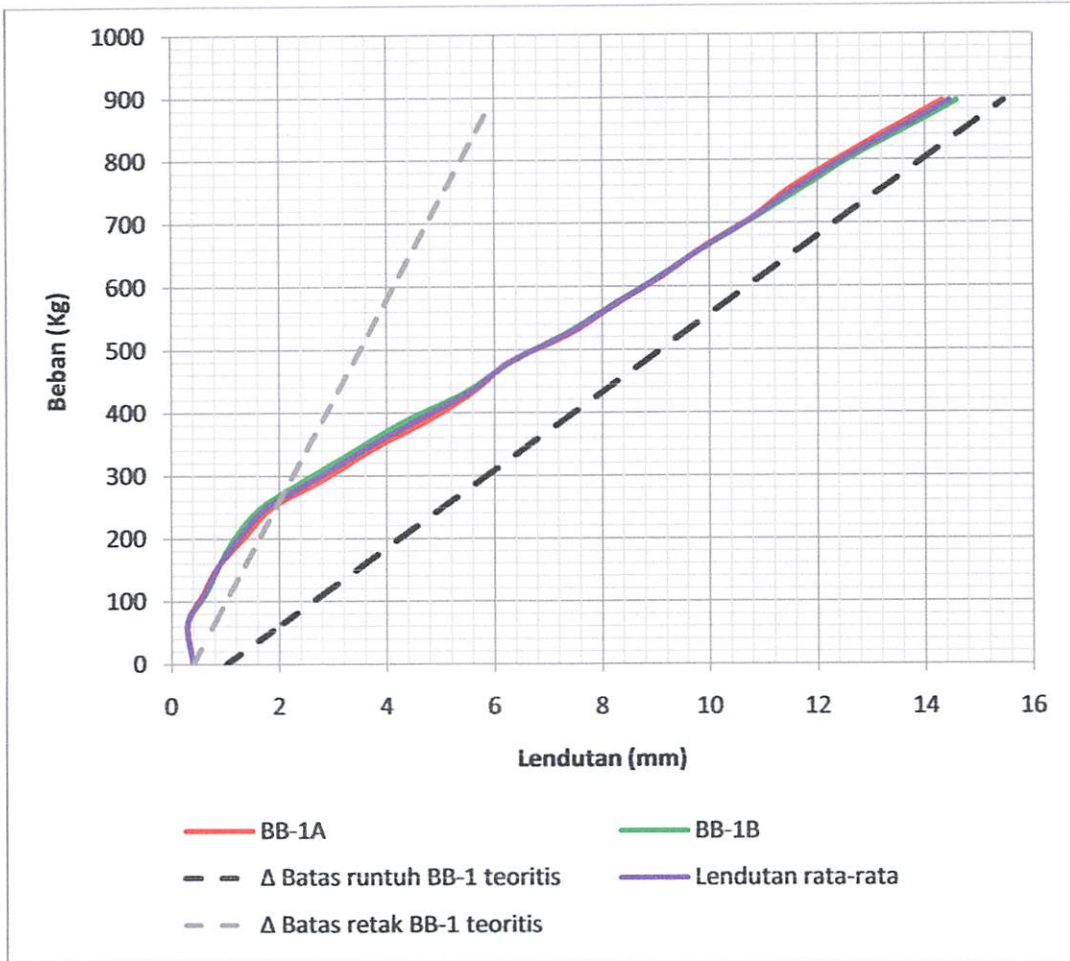
$f'_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ MPa

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Balok Variasi 1

No	Beban (Kg)	BB-1A	BB-1B	Lendutan rata-rata (mm)
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0.39	0.39	0.39
2	65.40	0.30	0.30	0.30
3	111.40	0.59	0.62	0.61
4	157.40	0.88	0.89	0.89
5	203.40	1.37	1.21	1.29
6	249.40	1.88	1.69	1.79
7	295.40	2.85	2.54	2.70
8	341.40	3.72	3.45	3.59
9	387.40	4.75	4.37	4.56
10	433.40	5.61	5.50	5.56
11	479.40	6.27	6.29	6.28
12	525.40	7.41	7.34	7.38
13	571.40	8.25	8.22	8.24
14	617.40	9.14	9.11	9.13
15	663.40	9.92	9.94	9.93
16	709.40	10.82	10.85	10.84
17	755.40	11.51	11.72	11.62
18	801.40	12.41	12.58	12.50
19	847.40	13.35	13.59	13.47
20	893.40	14.32	14.58	14.45

Pengujian hasil eksperimen BB-1A mengalami retak awal pada beban 525.4 Kg nilai lendutan 7.41 mm dengan beban optimum 893.4 Kg dengan nilai lendutan 14.32 mm. Pengujian hasil eksperimen BB-1B mengalami retak awal pada beban 617.4 Kg nilai lendutan 9.11 mm dengan beban optimum 893.4 Kg dengan nilai lendutan 14.58 mm.



Gambar 4.24 Grafik hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 1A dan 1B

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok variasi-1A dengan Balok variasi-1B hasil eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.14* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 3 untuk balok variasi-1A dan angka –angka pada kolom 2 dan kolom 4 untuk balok variasi eksperimen 1B. dan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 5 untuk lendutan rata-rata balok variasi 1.

Pada pengujian yang kami lakukan tidak sampai pada tahap balok runtuh di karenakan sewaktu pengujian di lab Universitas Brawijaya alat yang digunakan untuk mengukur lendutan (LVDT) tidak terdapat pelindung. jadi pengujian kita hentikan sampai pada tahap beban optimum.

3. Balok Variasi 2

Benda uji : BB-2A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : BB-2B

Tanggal pengujian : 24/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

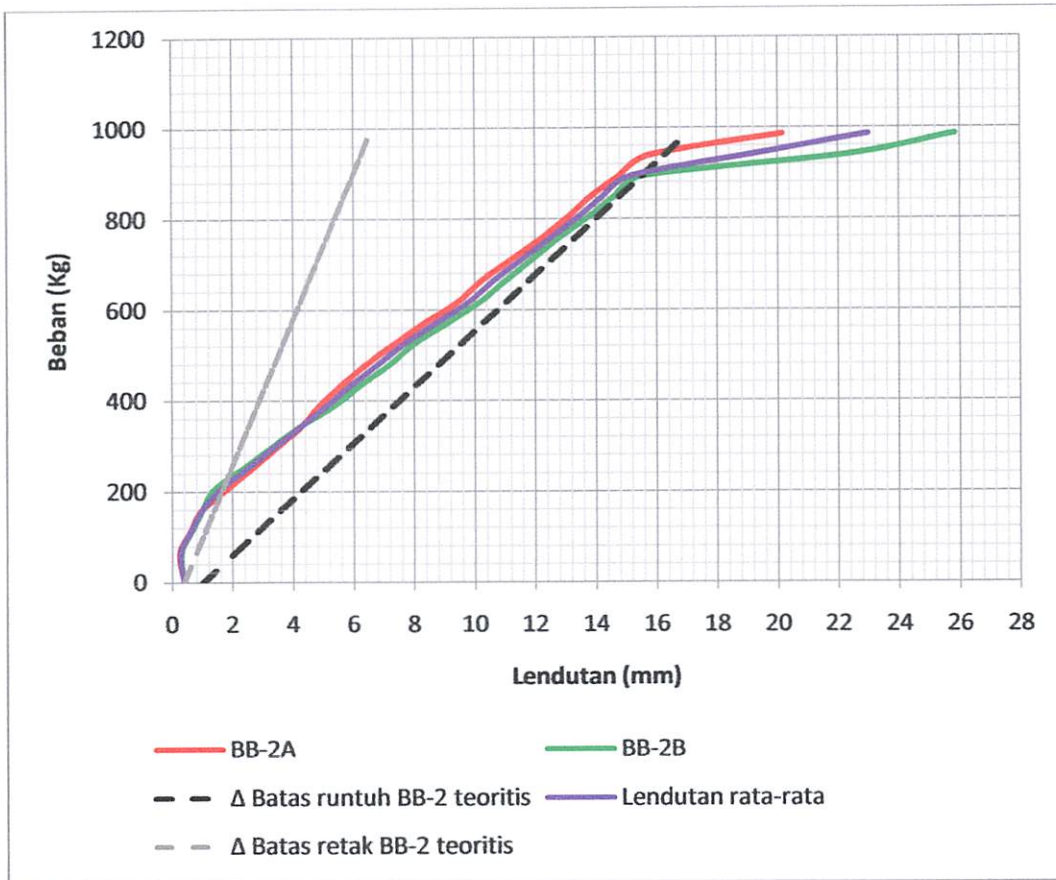
$f_y = 403.62$ MPa

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Balok Variasi 2

No	Beban (Kg)	BB-2A	BB-2B	Lendutan rata-rata (mm)
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0.39	0.39	0.39
2	65.4	0.25	0.30	0.28
3	111.4	0.59	0.63	0.61
4	157.4	0.96	0.99	0.98
5	203.4	1.78	1.37	1.58
6	249.4	2.60	2.31	2.46
7	295.4	3.42	3.26	3.34
8	341.4	4.24	4.18	4.21
9	387.4	4.85	5.32	5.09
10	433.4	5.58	6.21	5.90
11	479.4	6.40	7.18	6.79
12	525.4	7.35	8.01	7.68
13	571.4	8.36	9.11	8.74
14	617.4	9.44	10.17	9.81
15	663.4	10.22	11.01	10.62
16	709.4	11.19	11.88	11.54
17	755.4	12.18	12.74	12.46
18	801.4	13.05	13.72	13.39
19	847.4	13.83	14.60	14.22
20	893.4	14.75	15.54	15.15
21	939.4	15.79	22.25	19.02
22	985.4	20.15	25.84	23.00

Pengujian hasil eksperimen BB-2A mengalami retak awal pada beban 709.4 Kg nilai lendutan 11.19 mm dengan beban optimum 985.4 Kg dengan nilai lendutan 20.15 mm. Pengujian hasil eksperimen BB-2B mengalami

retak awal pada beban 341.4 Kg nilai lendutan 4.18 mm dengan beban optimum 985.4 Kg dengan nilai lendutan 25.84 mm.



Gambar 4.25 Grafik hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 2A dan 2B

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok variasi-2A dengan Balok variasi 2-B hasil eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.15* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 3 untuk balok variasi-2A dan angka –angka pada kolom 2 dan kolom 4 untuk balok variasi eskperimen 2B. dan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 5 untuk lendutan rata-rata balok variasi 2.

Pada pengujian yang kami lakukan tidak sampai pada tahap balok runtuh di karenakan sewaktu pengujian di lab Universitas brawijaya alat yang digunakan untuk mengukur lendutan (LVDT) tidak terdapat pelindung. jadi pengujian kita hentikan sampai pada tahap beban optimum.

4.2.11 Retak

1 Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BN-1B

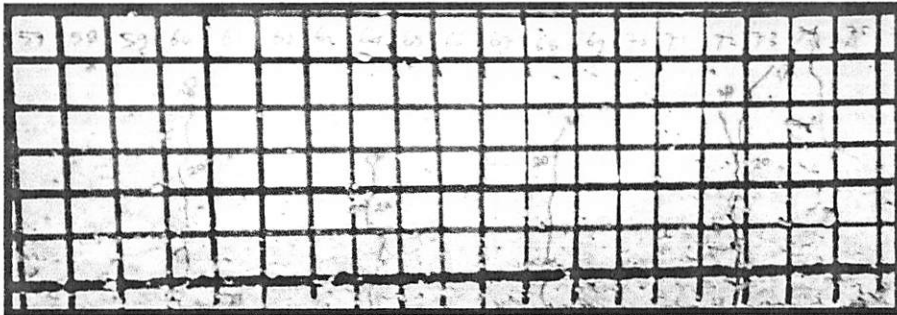
Tanggal pengujian : 22/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

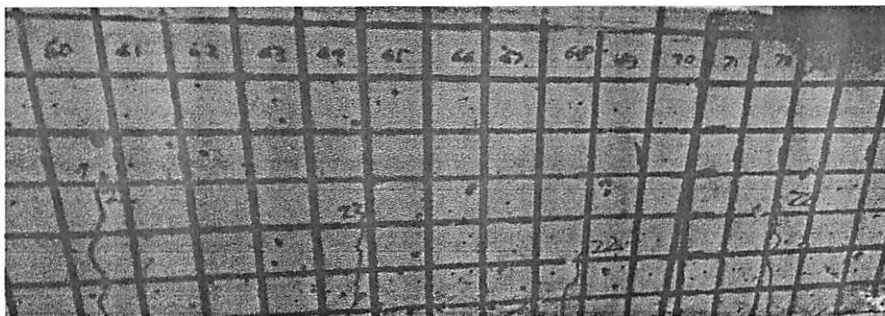
$f_y = 403.62$ MPa

Pada balok normal 1A, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 20 satuan atau sebesar 479.4 Kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kiri. Panjang retak sebesar ± 8.37 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.84 mm pada kotak 72G kiri.

Pada balok normal 1B, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 22 satuan atau sebesar 525.4 Kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kiri. Panjang retak sebesar ± 10.1 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.50 mm pada kotak 72G kiri.



Gambar 4.26 Retak awal yang terjadi pada balok normal 1A



Gambar 4.27 Retak awal yang terjadi pada balok normal 1B

2 Balok variasi I

Benda uji : BB-1A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : BB-1B

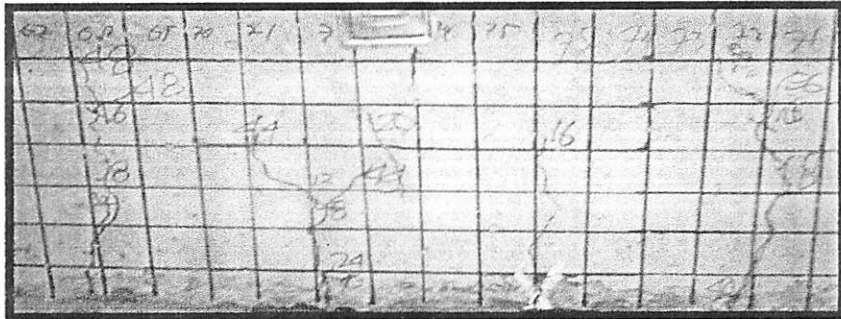
Tanggal pengujian : 24/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

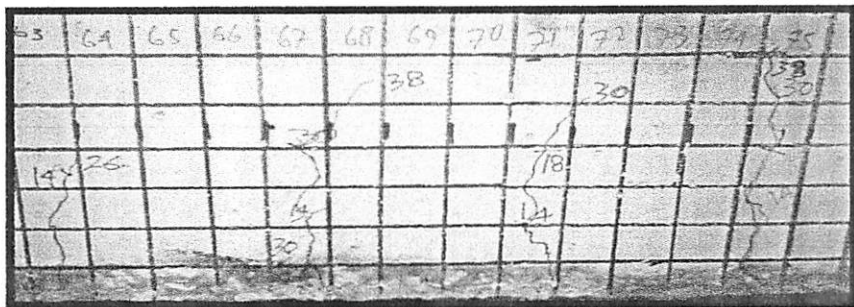
$f_y = 403.62$ MPa

Pada balok variasi 1A, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 12 satuan atau sebesar 525.4 Kg pada posisi 71 kotak dari tumpuan kiri. Panjang retak sebesar ± 14.2 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.9 mm pada kotak 72F kanan.

Pada balok variasi 1B, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 14 satuan atau sebesar 617.4 Kg pada posisi 75 kotak dari tumpuan kiri. Panjang retak sebesar ± 14.3 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.1 mm pada kotak 72F kiri.



Gambar 4.28 Retak awal yang terjadi pada balok variasi IA



3 Balok variasi 2

Benda uji : BB-2A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : BB-2B

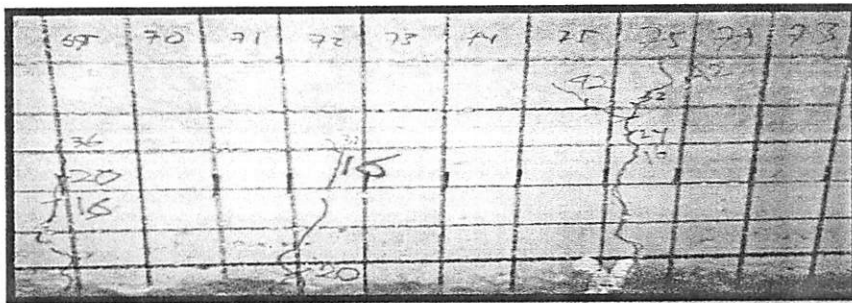
Tanggal pengujian : 24/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

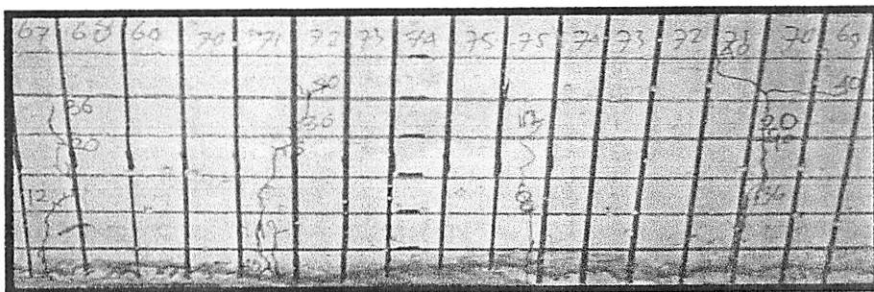
$f_y = 403.62$ MPa

Pada balok variasi 2A, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 16 satuan atau sebesar 387.4 Kg pada posisi 75 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 12.8 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.7 mm pada kotak 75F kanan.

Pada balok variasi 2B, retak pertama terekam pada saat bacaan proving ring sebesar 8 satuan atau sebesar 203.4 Kg pada posisi 75 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 13.4 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.480 mm pada kotak 71G kanan.



Gambar 4.30 Retak awal yang terjadi pada balok variasi 2A



Gambar 4.31 Retak awal yang terjadi pada balok variasi 2B

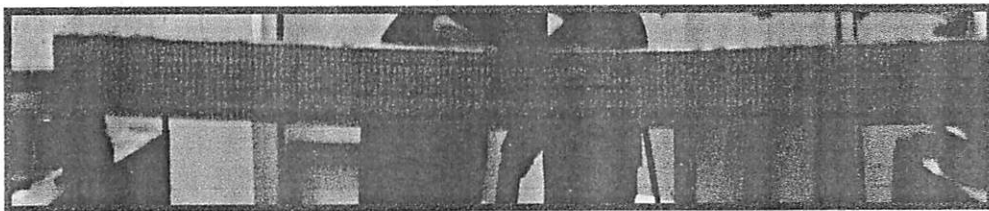
4.3 Pembahasan

4.3.1 Mekanisme balok terlentur maksimal

Proses pengujian kuat lentur terhadap keseluruhan benda uji balok, diberikan perlakuan yang sama yaitu balok diberikan 2 buah tumpuan sendi dengan jarak 2,80 m. Masing – masing tumpuan diletakkan sejauh 0.1 m dari ujung balok. Kemudian balok diberikan beban terpusat (P) secara konstan dengan kenaikan 65.4 Kg tiap pembebanan. Pembebanan dilakukan secara kontinyu hingga balok mengalami lenturan maksimal akibat beban puncak.

Mekanisme balok BN-1A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 8.37 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 479.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 893.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.84 mm yang terdapat pada kotak 72G kiri.

Mekanisme balok BN-1B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 10.1 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 524.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 893.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.50 mm yang terdapat pada kotak 72G kiri.

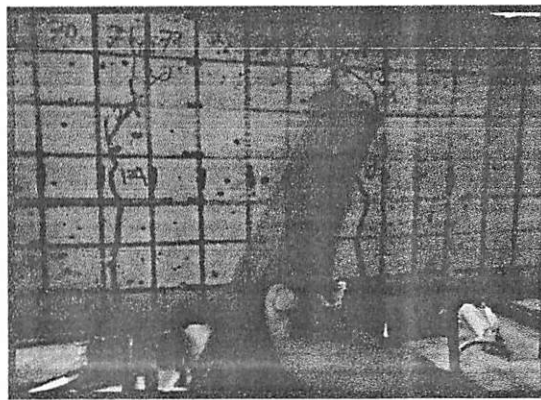


Gambar 4.32 Balok mengalami lendutan akibat beban puncak

Mekanisme balok BB-1A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 14.2 cm pada tengah balok di posisi 71 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 524.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban

puncak sebesar 893.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.9 mm yang terdapat pada kotak 72F kanan.

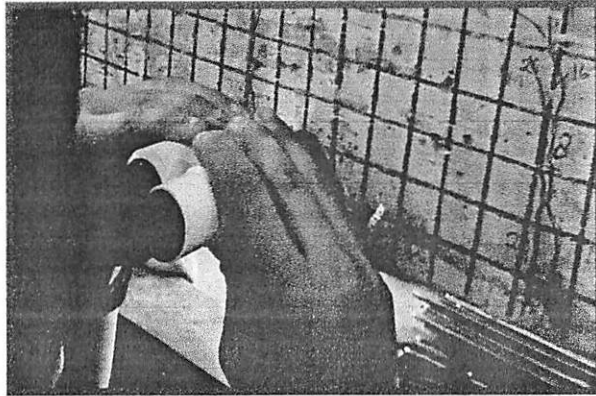
Mekanisme balok BB-1B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 14.3 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 617.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 893.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.1 mm yang terdapat pada kotak 72F kiri.



Gambar 4.33 Pengukuran panjang retak

Mekanisme balok BB-2A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 12.8 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 709.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 985.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.7 mm yang terdapat pada kotak 75F kanan.

Mekanisme balok BB-2B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 13.4 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 341.4$ Kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 985.4 Kg. Lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.48 mm yang terdapat pada kotak 71G kanan.



Gambar 4.34 Pengukuran lebar retak akhir

4.3.2. Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen setiap balok

Berdasarkan beban maksimum teoritis kami menghitung lendutan yang terjadi dan membandingkannya dengan lendutan yang terjadi pada hasil eksperimen.

Untuk lendutan teoritis diperoleh dengan menghitung beban eksperimen secara teoritis sedang lendutan eksperimen adalah hasil pengamatan yang kami dapatkan di laboratorium. Perbandingannya kami tampilkan dalam bentuk presentase dan kurva hubungan beban lendutan. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut.

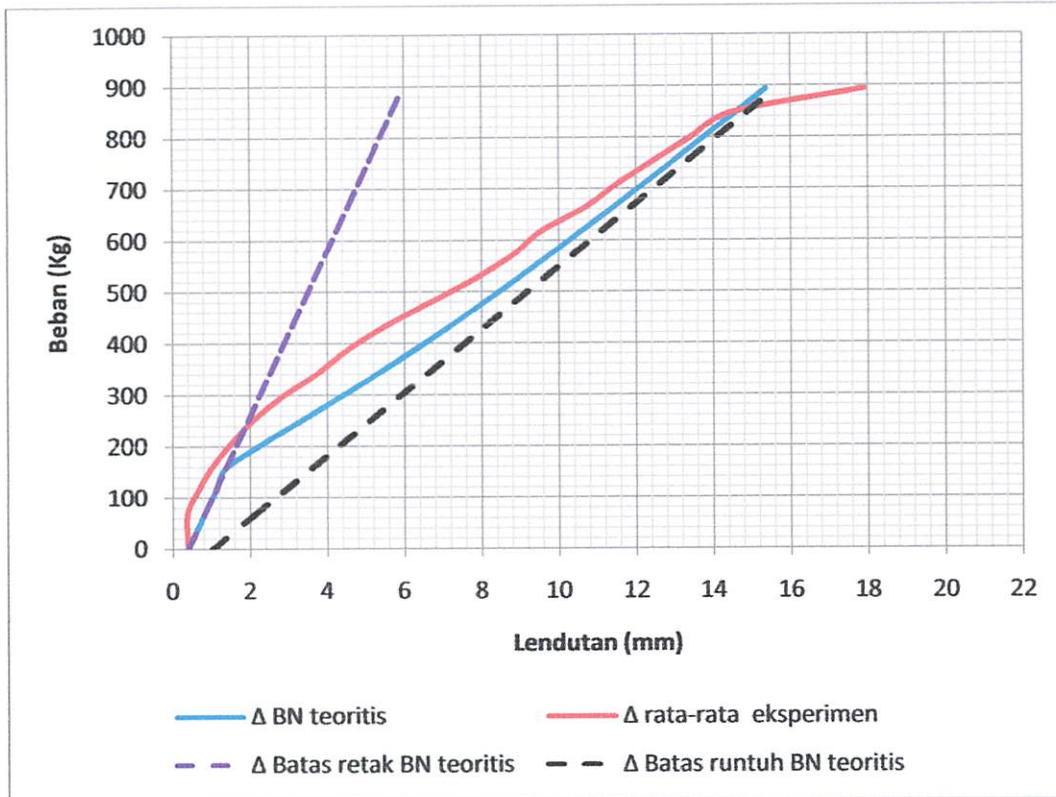
1. Balok normal

Perbandingan antara lendutan balok normal (BN) teoritis dan lendutan eksperimen balok normal ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah 0.80 % pada beban 847.4 Kg dan yang terbesar adalah 53.71% pada beban 65.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata adalah sebesar 18.20% (tabel 4.16). tanda minus menandakan nilai lendutan teoritis berada di bawah nilai lendutan eksperimen.

Perbandingan lendutan secara teoritis dan eksperimen kami gambarkan dalam kurva hubungan beban dan lendutan dengan cara menghubungkan beban yang terjadi dengan nilai lendutan rata-rata eksperimen Tabel 4.16 seperti terlihat pada gambar 4.35.

Tabel 4.16 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok normal

No	Beban (P) (Kg)	Δ rata-rata BN teoritis (mm)	Δ rata-rata BN eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0.39	0.39	0.00
2	65.40	0.80	0.37	53.71
3	111.40	1.09	0.63	41.98
4	157.40	1.37	0.99	27.85
5	203.40	2.29	1.49	35.21
6	249.40	3.30	2.06	37.79
7	295.40	4.32	2.81	34.97
8	341.40	5.31	3.74	29.67
9	387.40	6.26	4.52	27.83
10	433.40	7.18	5.50	23.40
11	479.40	8.07	6.68	17.25
12	525.40	8.93	7.84	12.24
13	571.40	9.77	8.82	9.77
14	617.40	10.60	9.56	9.78
15	663.40	11.41	10.70	6.26
16	709.40	12.21	11.53	5.59
17	755.40	13.01	12.49	4.03
18	801.40	13.80	13.47	2.38
19	847.40	14.58	14.47	0.80
20	893.40	15.36	17.91	-16.60
Rata-rata				18.20



Gambar 4.35 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok normal.

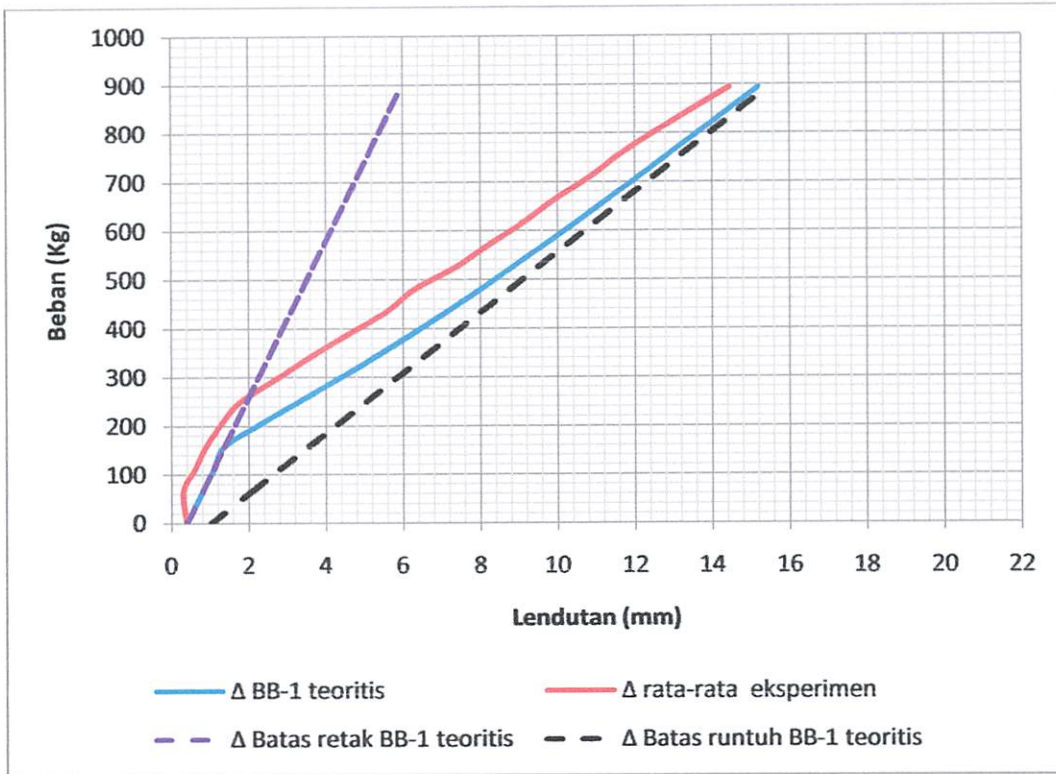
2. Balok variasi 1

Perbandingan antara lendutan balok variasi 1 (BB-1) teoritis dan lendutan eksperimen balok variasi 1 ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah 4.90% pada beban 893.4 Kg dan terbesar 62.47% pada beban 65.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 23.36% (tabel 4.17).

Perbandingan lendutan secara teoritis dan eksperimen kami gambarkan dalam kurva hubungan beban dan lendutan dengan cara menghubungkan beban yang terjadi dengan nilai lendutan rata-rata eksperimen Tabel 4.17 seperti terlihat pada gambar 4.36.

Tabel 4.17 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 1

No	Beban (P) (Kg)	Δ rata-rata BB-1 teoritis (mm)	Δ rata-rata BB-1 eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0.39	0.39	0
2	65.40	0.80	0.30	62.47
3	111.40	1.09	0.61	44.28
4	157.40	1.37	0.89	35.50
5	203.40	2.29	1.29	43.57
6	249.40	3.29	1.79	45.70
7	295.40	4.29	2.70	37.22
8	341.40	5.27	3.59	31.97
9	387.40	6.21	4.56	26.57
10	433.40	7.11	5.56	21.92
11	479.40	7.99	6.28	21.40
12	525.40	8.84	7.38	16.57
13	571.40	9.67	8.24	14.85
14	617.40	10.49	9.13	12.99
15	663.40	11.29	9.93	12.05
16	709.40	12.08	10.84	10.34
17	755.40	12.87	11.62	9.75
18	801.40	13.65	12.50	8.46
19	847.40	14.42	13.47	6.61
20	893.40	15.19	14.45	4.90
Rata-rata				23.36



Gambar 4.36 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 1

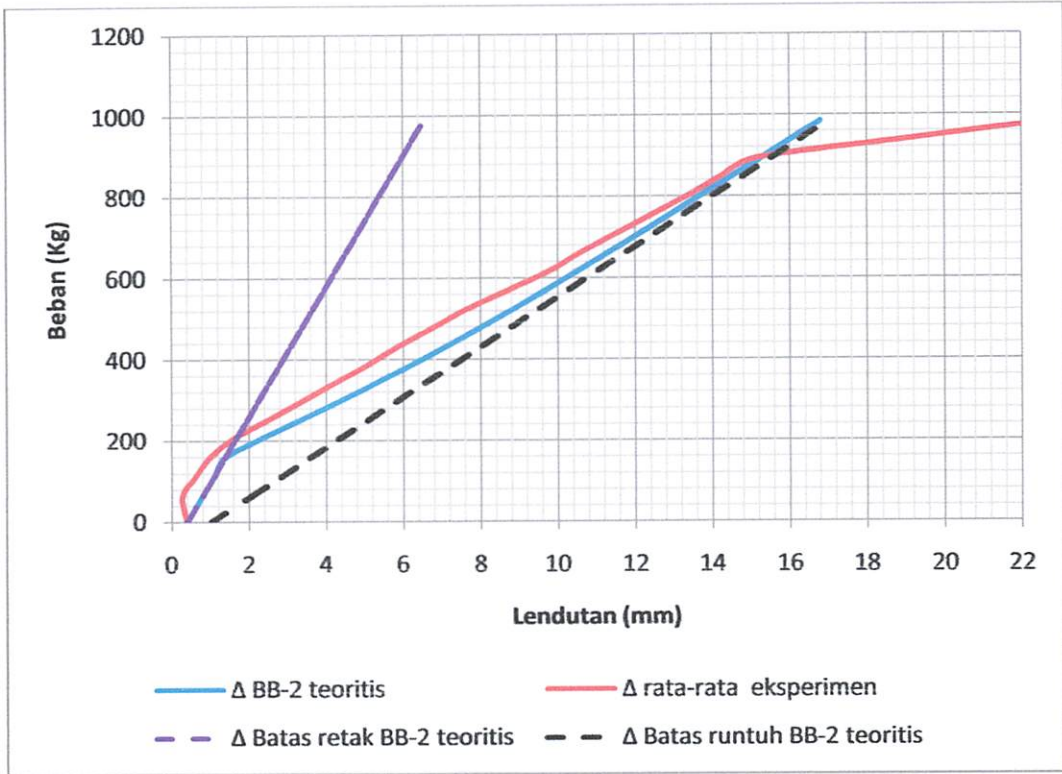
3. Balok variasi 2

Perbandingan antara lendutan balok variasi 2 teoritis dan lendutan eksperimen balok variasi 2 ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah -36.87% pada beban 985.4 Kg dan terbesar 65.60% pada beban 65.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 12.90% (tabel 4.18). Nilai minus menandakan, nilai lendutan teoritis berada di bawah nilai lendutan eksperimen.

Perbandingan lendutan secara teoritis dan eksperimen kami gambarkan dalam kurva hubungan beban dan lendutan dengan cara menghubungkan beban yang terjadi dengan nilai lendutan rata-rata eksperimen Tabel 4.18 seperti terlihat pada gambar 4.37.

Tabel 4.18 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen balok variasi 2

No	Beban (P) (Kg)	Δ rata-rata BB-2 teoritis (mm)	Δ rata-rata BB-2 eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0.39	0.39	0
2	65.40	0.80	0.28	65.60
3	111.40	1.09	0.61	43.82
4	157.40	1.37	0.98	28.95
5	203.40	2.29	1.58	31.18
6	249.40	3.29	2.46	25.46
7	295.40	4.30	3.34	22.40
8	341.40	5.29	4.21	20.37
9	387.40	6.23	5.09	18.40
10	433.40	7.14	5.90	17.45
11	479.40	8.02	6.79	15.35
12	525.40	8.88	7.68	13.47
13	571.40	9.71	8.74	10.05
14	617.40	10.53	9.81	6.90
15	663.40	11.34	10.62	6.39
16	709.40	12.14	11.54	4.96
17	755.40	12.93	12.46	3.61
18	801.40	13.71	13.39	2.37
19	847.40	14.49	14.22	1.89
20	893.40	15.26	15.15	0.77
21	939.40	16.03	19.02	-18.63
22	985.40	16.80	23.00	-36.87
Rata-rata				12.90



Gambar 4.37 Grafik lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 2

4.3.3. Perbandingan teoritis antar balok

Untuk perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen, kami tampilkan dalam bentuk tabel 4.19 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban lendutan pada gambar 4.38.

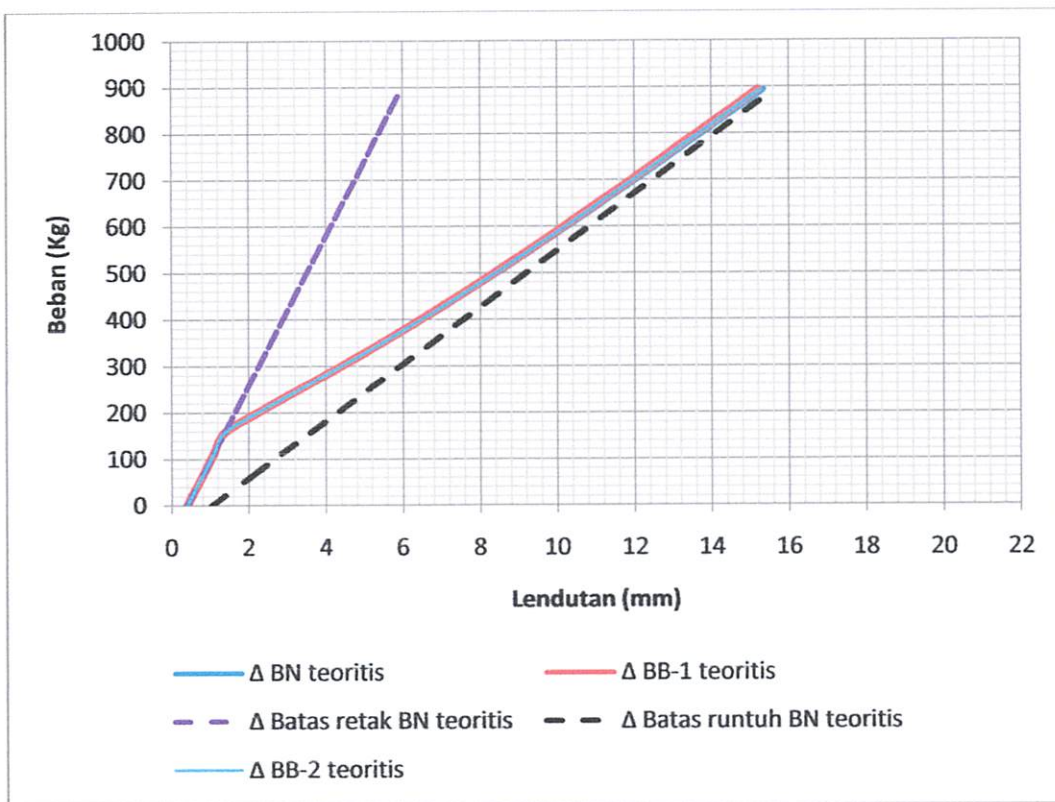
Tabel 4.19 Perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen

No	Beban (P) (Kg)	Δ BN teoritis (mm)	Δ BB-1 teoritis (mm)	Δ BB-2 teoritis (mm)	Perbedaan Δ (%) terhadap BN		Perbedaan Δ BB-1 dan BB-2 (%)
					BB-1	BB-2	
1	0	0.392	0.392	0.392	0.00	0.00	0.00
2	65.40	0.799	0.799	0.799	0.00	0.00	0.00
3	111.40	1.086	1.086	1.086	0.00	0.00	0.00
4	157.40	1.372	1.372	1.372	0.00	0.00	0.00
5	203.40	2.292	2.286	2.289	-0.26	-0.16	0.11
6	249.40	3.303	3.287	3.294	-0.48	-0.28	0.20
7	295.40	4.321	4.293	4.304	-0.65	-0.38	0.27
8	341.40	5.311	5.270	5.287	-0.76	-0.45	0.31
9	387.40	6.263	6.210	6.232	-0.85	-0.50	0.35
10	433.40	7.180	7.115	7.141	-0.91	-0.54	0.37
11	479.40	8.066	7.989	8.021	-0.95	-0.56	0.39
12	525.40	8.928	8.840	8.876	-0.99	-0.58	0.41
13	571.40	9.770	9.671	9.711	-1.01	-0.60	0.42
14	617.40	10.596	10.487	10.531	-1.03	-0.61	0.42
15	663.40	11.410	11.290	11.339	-1.05	-0.62	0.43
16	709.40	12.213	12.084	12.137	-1.06	-0.62	0.43
17	755.40	13.009	12.870	12.927	-1.07	-0.63	0.44
18	801.40	13.798	13.650	13.710	-1.07	-0.63	0.44
19	847.40	14.581	14.424	14.488	-1.08	-0.64	0.44
20	893.40	15.361	15.194	15.262	-1.08	-0.64	0.45
21	939.40	-	-	16.033	-	-	-
22	985.40	-	-	16.800	-	-	-
Rata-rata					-0.72	-0.42	0.29

Berdasarkan perhitungan lendutan secara teoritis untuk beban eksperimen diperoleh variasi lendutan untuk beban yang sama terhadap BN. Seperti pada

beban 663.4 kg terdapat perbedaan sebesar -1.05% untuk BB-1 dan perbedaan sebesar -0.62 % untuk BB-2 sedang antara BB-1 dan BB-2 sebesar 0.43%

Rata-rata perbedaan lendutan teoritis antar balok terhadap balok normal sebesar -0.72 % untuk BB-1 dan -0.42% untuk BB-2 sedang antar BB-1 dan BB-2 sebesar 0.29%. Nilai minus menandakan, nilai lendutan BB-1 dan BB-2 berada di bawah nilai lendutan BN ($\Delta BN > \Delta BB-1 > \Delta BB-2$). Ini menandakan, penambahan tulangan tekan mengurangi nilai lendutan untuk nilai beban yang sama.



Gambar 4.38 Grafik lendutan teoritis antar balok akrobat beban eksperimen

4.3.4. Perbandingan eksperimen antar balok

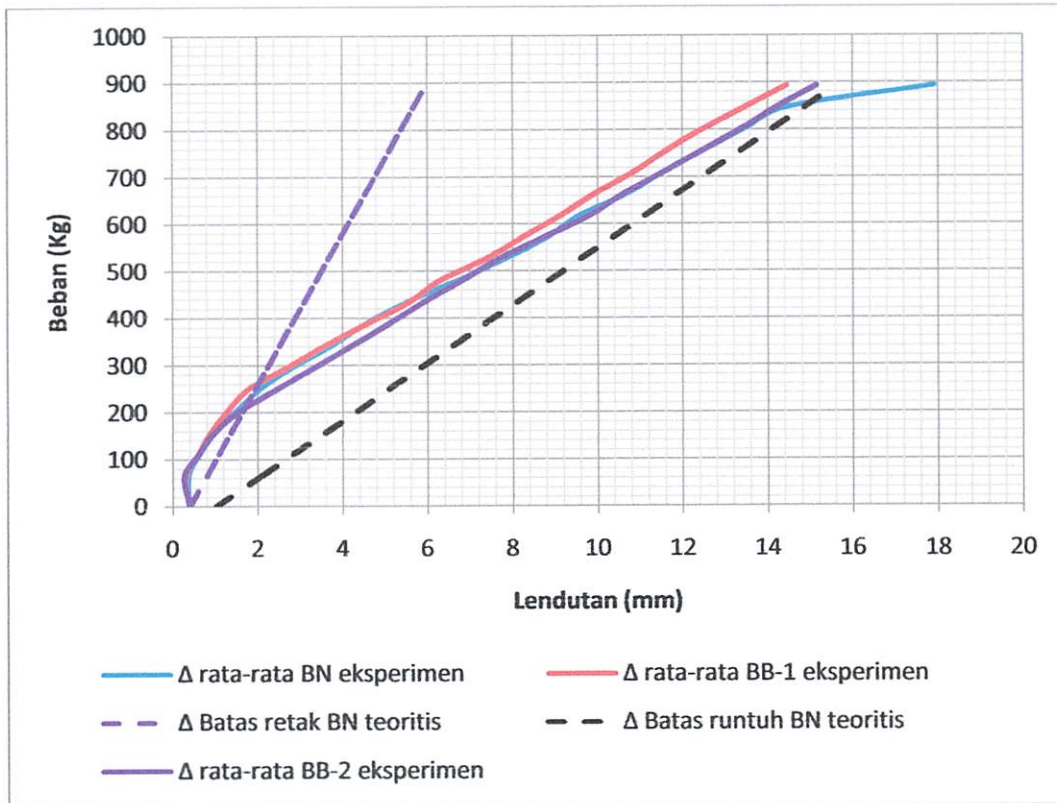
Untuk perbandingan lendutan eksperimen antar balok, kami tampilkan dalam bentuk tabel 4.20 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban lendutan pada gambar 4.39

Berdasarkan hasil perbandingan lendutan hasil eksperimen antar balok, diperoleh variasi lendutan pada masing-masing balok terhadap beban yang sama.

Secara rata-rata diperoleh perbedaan lendutan terhadap BN sebesar -7.13 % untuk BB-1 dan 0.96% untuk BB-2 sedang antar BB-1 dan BB-2 sebesar 7.86%. Nilai minus menandakan, nilai lendutan BB-1 dan BB-2 berada di bawah nilai lendutan BN ($\Delta_{BN} > \Delta_{BB-1} > \Delta_{BB-2}$). Ini menandakan, penambahan tulangan tekan mengurangi nilai lendutan untuk nilai beban yang sama.

Tabel 4.20 Perbandingan lendutan eksperimen antar balok

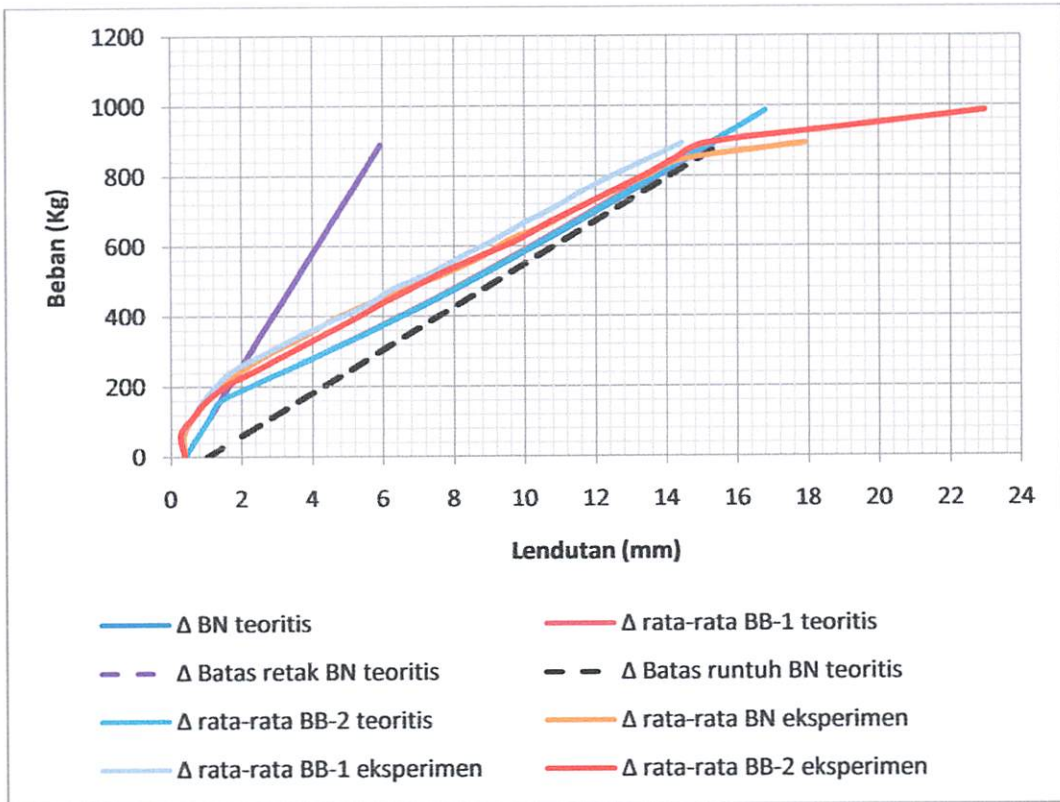
No	Beban (P) (Kg)	Δ rata-rata BN eksperimen (mm)	Δ rata-rata BB-1 eksperimen (mm)	Δ rata-rata BB-2 eksperimen (mm)	Perbedaan Δ (%) terhadap BN		Perbedaan Δ BB-1 dan BB-2 (%)
					BB-1	BB-2	
1	0	0.392	0.392	0.392	0.00	0.00	0.00
2	65.40	0.370	0.300	0.275	-18.92	-25.68	-8.33
3	111.40	0.630	0.605	0.610	-3.97	-3.17	0.82
4	157.40	0.990	0.885	0.975	-10.61	-1.52	9.23
5	203.40	1.485	1.290	1.575	-13.13	5.71	18.10
6	249.40	2.055	1.785	2.455	-13.14	16.29	27.29
7	295.40	2.810	2.695	3.340	-4.09	15.87	19.31
8	341.40	3.735	3.585	4.210	-4.02	11.28	14.85
9	387.40	4.520	4.560	5.085	0.88	11.11	10.32
10	433.40	5.500	5.555	5.895	0.99	6.70	5.77
11	479.40	6.675	6.280	6.790	-5.92	1.69	7.51
12	525.40	7.835	7.375	7.680	-5.87	-1.98	3.97
13	571.40	8.815	8.235	8.735	-6.58	-0.91	5.72
14	617.40	9.560	9.125	9.805	-4.55	2.50	6.94
15	663.40	10.695	9.930	10.615	-7.15	-0.75	6.45
16	709.40	11.530	10.835	11.535	-6.03	0.04	6.07
17	755.40	12.485	11.615	12.460	-6.97	-0.20	6.78
18	801.40	13.470	12.495	13.385	-7.24	-0.63	6.65
19	847.40	14.465	13.470	14.215	-6.88	-1.73	5.24
20	893.40	17.910	14.450	15.145	-19.32	-15.44	4.59
21	939.40	-	-	19.020	-	-	-
22	985.40	-	-	22.995	-	-	-
Rata-rata					-7.13	0.96	7.86



Grafik 4.39 Grafik lendutan eksperimen antar balok

Grafik hubungan beban dan lendutan beton balok normal dengan balok variasi 1 dan variasi 2 hasil eksperimen dapat digambarkan dengan cara menghubungkan angka-angka pada *Tabel 4.20* yaitu angka-angka pada kolom 2 dan kolom 3 untuk lendutan rata-rata eksperimen balok normal dan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 4 untuk lendutan rata-rata eksperimen balok variasi 1, dan angka-angka pada kolom 2 dan kolom 5 untuk lendutan rata-rata eksperimen balok variasi 2.

Dari gambar grafik diperoleh beban ultimate rata-rata hasil pengujian balok untuk balok normal $P = 893.4$ Kg dengan nilai lendutan 17.91 mm. Untuk balok variasi 1 $P = 893.4$ Kg dengan nilai lendutan 14.45 mm. Untuk balok variasi 2 $P = 985.4$ Kg dengan nilai lendutan 23.00 mm.



Grafik 4.40 Grafik lendutan teoritis dan eksperimen antar balok

Dari hasil grafik gabungan diperoleh nilai masing-masing lendutan. Lendutan teoritis untuk balok normal beban 893.4 Kg nilai lendutannya adalah 15.36 mm. untuk teoritis balok variasi 1 beban 893.4 Kg nilai lendutan 15.19 mm dan untuk teoritis balok variasi 2 beban 985.4 Kg nilai lendutan 16.80 mm.

4.3.5. Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan

Untuk hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan, kami peroleh dengan membandingkan lendutan hasil setiap beban dengan variasi tulangan tekan. Seperti yang tertera dalam bentuk tabel 4.21 dan 4.22 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban - lendutan pada gambar 4.41.

Tabel 4.21 Hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan

Beban (Kg)	Variasi tulangan tekan		
	2 Ø7.4	3 Ø7.4	4 Ø7.4
0	0.39	0.39	0.39
65.4	0.80	0.80	0.80
111.4	1.09	1.09	1.09
157.4	1.37	1.37	1.37
203.4	2.29	2.29	2.29
249.4	3.30	3.29	3.29
295.4	4.32	4.29	4.30
341.4	5.31	5.27	5.29
387.4	6.26	6.21	6.23
433.4	7.18	7.11	7.14
479.4	8.07	7.99	8.02
525.4	8.93	8.84	8.88
571.4	9.77	9.67	9.71
617.4	10.60	10.49	10.53
663.4	11.41	11.29	11.34
709.4	12.21	12.08	12.14
755.4	13.01	12.87	12.93
801.4	13.80	13.65	13.71
847.4	14.58	14.42	14.49
893.4	15.36	15.19	15.26

Lendutan (mm)

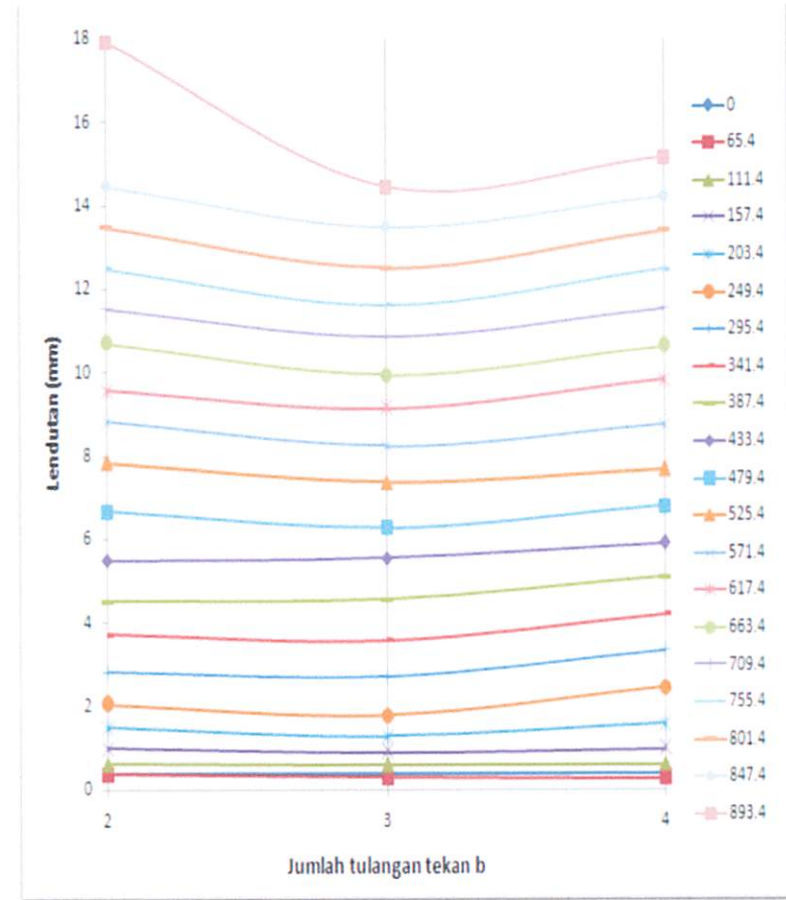
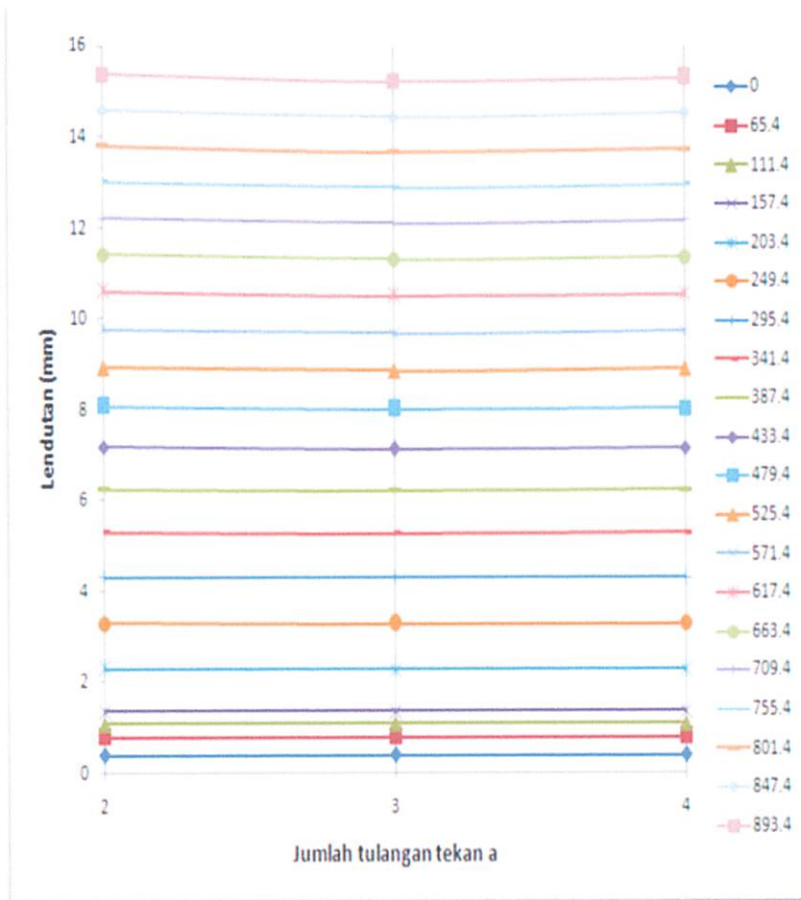
Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan berbanding terbalik (Gambar 4.41a) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.19 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar -0.72% untuk tulangan

tekan 3Ø7.4 dan -0.42% untuk tulangan tekan 4Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4.

Tabel 4.22 Hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan

Beban (Kg)	Variasi tulangan tekan			Lendutan (mm)
	2 Ø7.4	3 Ø7.4	4 Ø7.4	
0	0.39	0.39	0.39	
65.4	0.37	0.30	0.28	
111.4	0.63	0.61	0.61	
157.4	0.99	0.89	0.98	
203.4	1.49	1.29	1.58	
249.4	2.06	1.79	2.46	
295.4	2.81	2.70	3.34	
341.4	3.74	3.59	4.21	
387.4	4.52	4.56	5.09	
433.4	5.50	5.56	5.90	
479.4	6.68	6.28	6.79	
525.4	7.84	7.38	7.68	
571.4	8.82	8.24	8.74	
617.4	9.56	9.13	9.81	
663.4	10.70	9.93	10.62	
709.4	11.53	10.84	11.54	
755.4	12.49	11.62	12.46	
801.4	13.47	12.50	13.39	
847.4	14.47	13.47	14.22	
893.4	17.91	14.45	15.15	

Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan cenderung berbanding terbalik (gambar 4.41b) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.20 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar -7.13% untuk tulangan tekan 3Ø7.4 dan 0.96% untuk tulangan tekan 4Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4.



Gambar 4.41 Grafik Hubungan lendutan dan penambahan tulang tekan; (a) teoritis, (b) eksperimen

4.3.6. Perbandingan lebar retak arah horizontal eksperimen dan teoritis

Dari hasil perhitungan teoritis (tabel 4.5) dan pengamatan lebar retak eksperimen, ditemukan perbedaan sebesar 94.59 % untuk balok normal, 93.98% untuk balok variasi 1 dan 95.62 % untuk balok variasi 2. Selengkapnya terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.23 Perbandingan lebar retak horisontal eksperimen dan teoritis

No	Benda uji	Lebar retak eksperimen (mm)	Rata-rata (mm)	Lebar retak teoritis (mm)	Perbedaan (%)
1	BN-A	1.84	1.67	0.0904	94.59
2	BN-B	1.50			
3	BB-1A	1.90	1.50	0.0903	93.98
4	BB-1B	1.10			
5	BB-2A	2.70	2.09	0.0916	95.62
6	BB-2B	1.48			

4.3.7. Hubungan beban dan pola retak dengan penambahan tulangan tekan

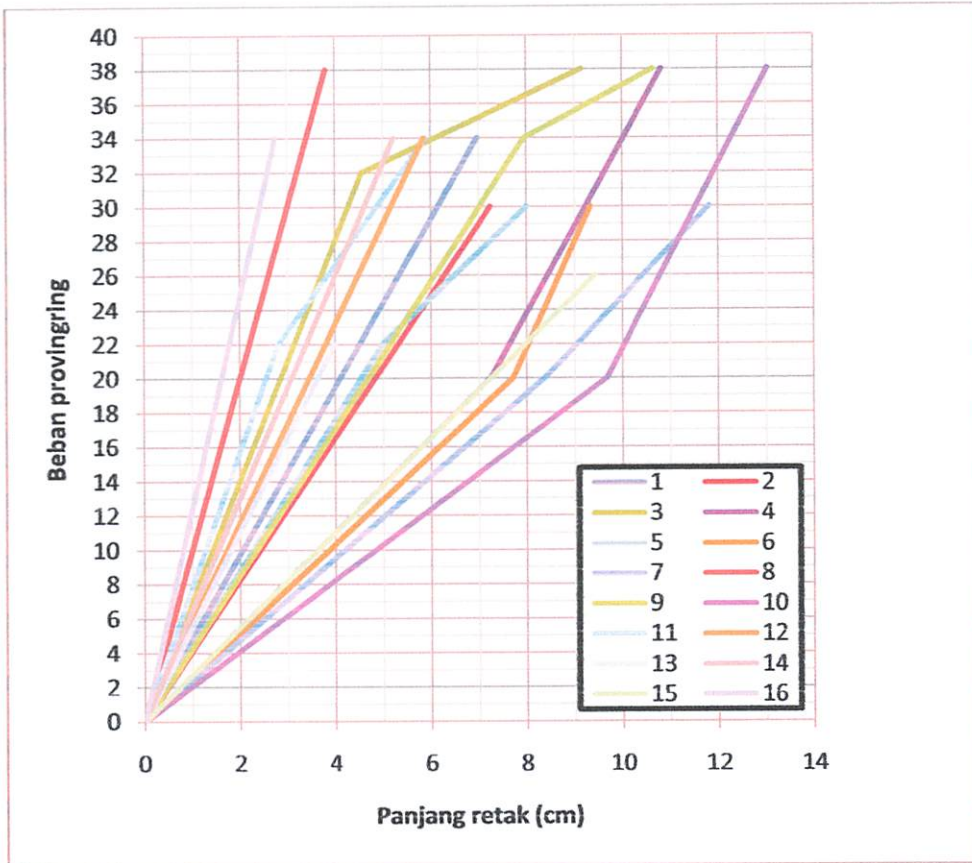
Menganalisa hasil pengamatan retak, kami menemukan hubungan antara beban dan retak yang terjadi dengan pengaruh penambahan tulangan tekan pada balok.

Dimana data retak yang kami ambil berupa panjang retak arah vertikal yang terjadi pada saat penambahan beban. Adapun hasil pengamatan dan analisa, kami tampilkan pada tabel-tabel dan grafik-grafik di bawah ini.

Tabel 4.24 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1A

Retak	Beban proving ring							
	0	20	22	26	30	32	34	38
1	0						6.96	
2	0				7.24			
3	0					4.55		9.15
4	0	7.24						10.82
5	0		4.98		8.00			
6	0	7.71			9.33			
7	0	8.37			11.81			
8	0							3.80
9	0						7.95	10.65
10	0	9.67						13.03
11	0		2.80				5.89	
12	0						5.85	
13	0		3.98					
14	0						5.22	
15	0			9.42				
16	0						2.75	

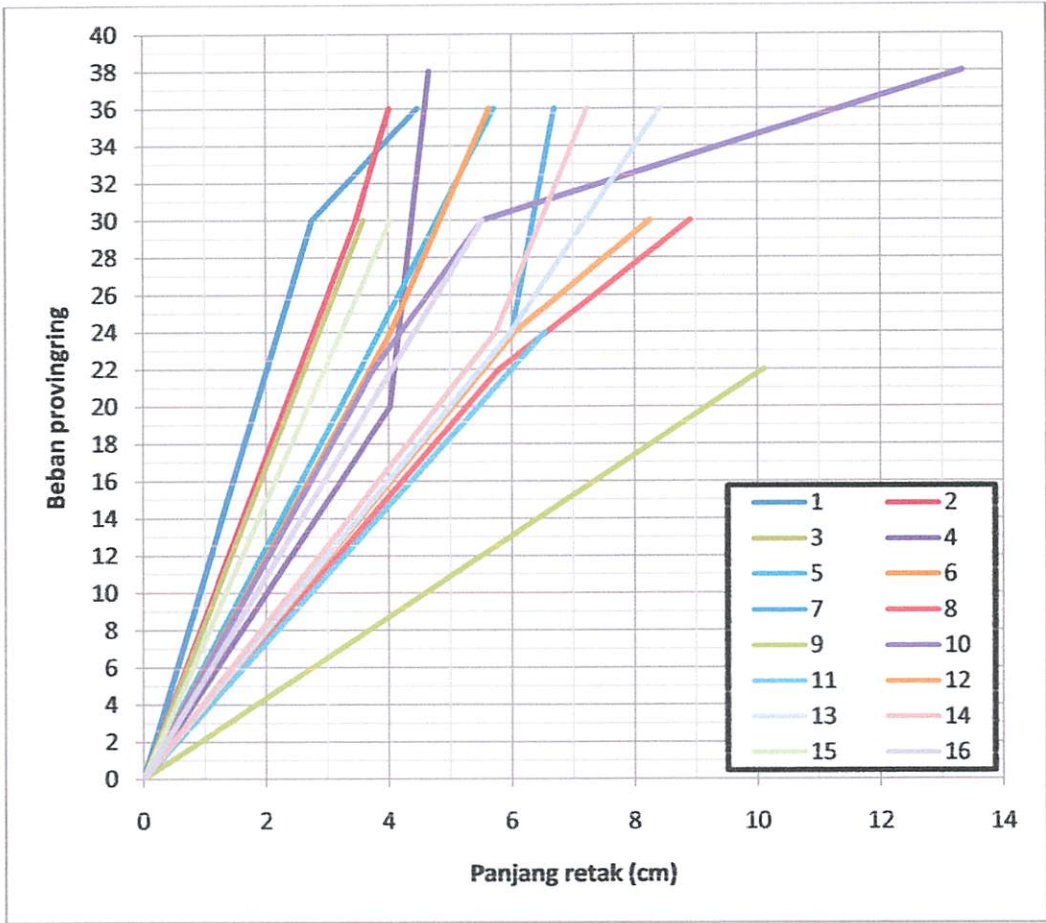
Panjang retak vertikal (cm)



Gambar 4.42 Grafik Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1A

Tabel 4.25 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1B

Retak	Beban proving ring						Panjang retak vertikal
	0	22	24	30	36	38	
1	0			2.75	4.47		
2	0			3.46	4.01		
3	0			3.58			
4	0			4.02	4.66		
5	0		3.85		5.71		
6	0		4.03		5.63		
7	0		6.00		6.70		
8	0	5.79		8.91			
9	0	10.1					
10	0	3.75		5.52		13.34	
11	0		6.54				
12	0		6.04	8.25			
13	0		5.98		8.41		
14	0		5.74		7.23		
15	0			4.03			
16	0			5.52			

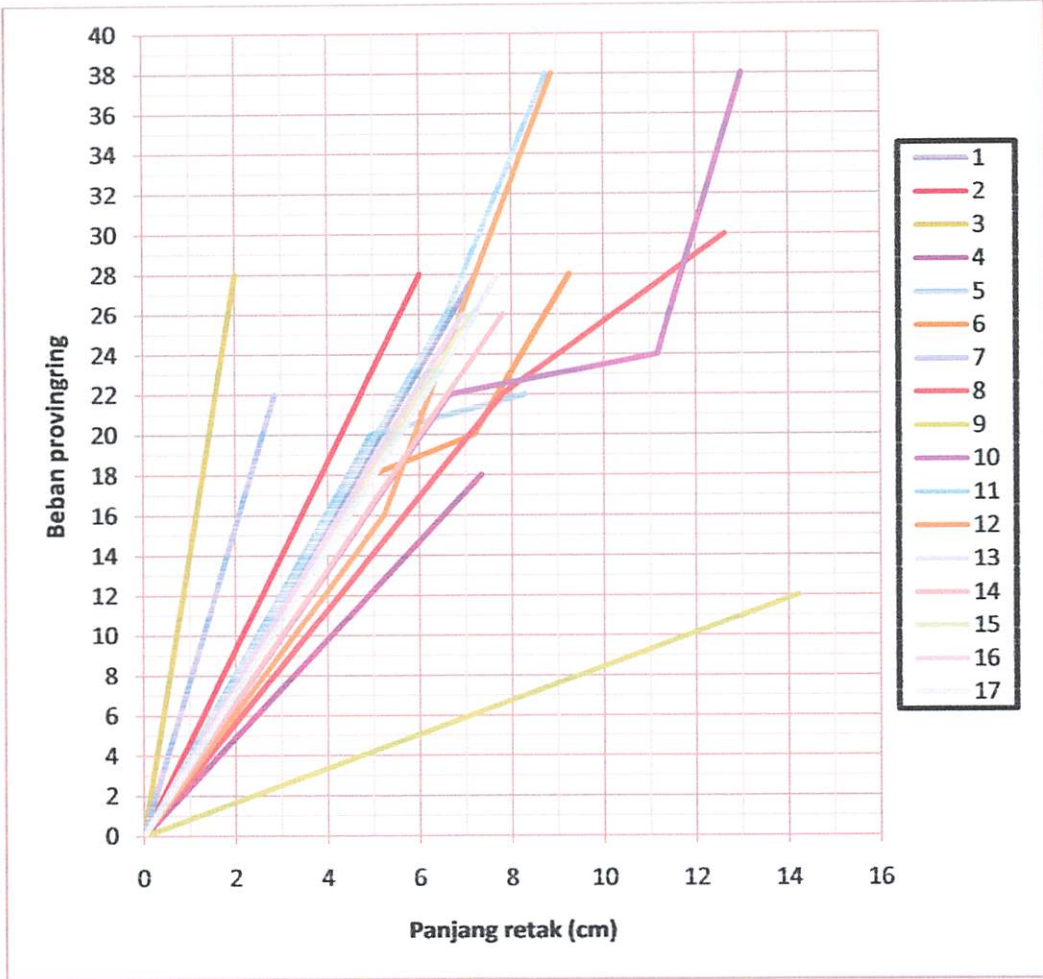


Gambar 4.43 Grafik Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1B

Tabel 4.26 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok variasi 1A

Retak	Beban proving ring										
	0	12	16	18	20	22	24	26	28	30	38
1	0								7.22		
2	0								6.00		
3	0								2.00		
4	0			7.34							
5	0				4.93	8.29					
6	0			4.96	7.17				9.26		
7	0					2.85					
8	0					7.79				12.63	
9	0	14.2									
10	0					6.65	11.16				13.00
11	0							6.58			8.76
12	0		5.23								8.88
13	0								7.71		
14	0							7.81			
15	0							7.12			
16	0							6.94			
17	0							7.25			

Panjang retak vertikal

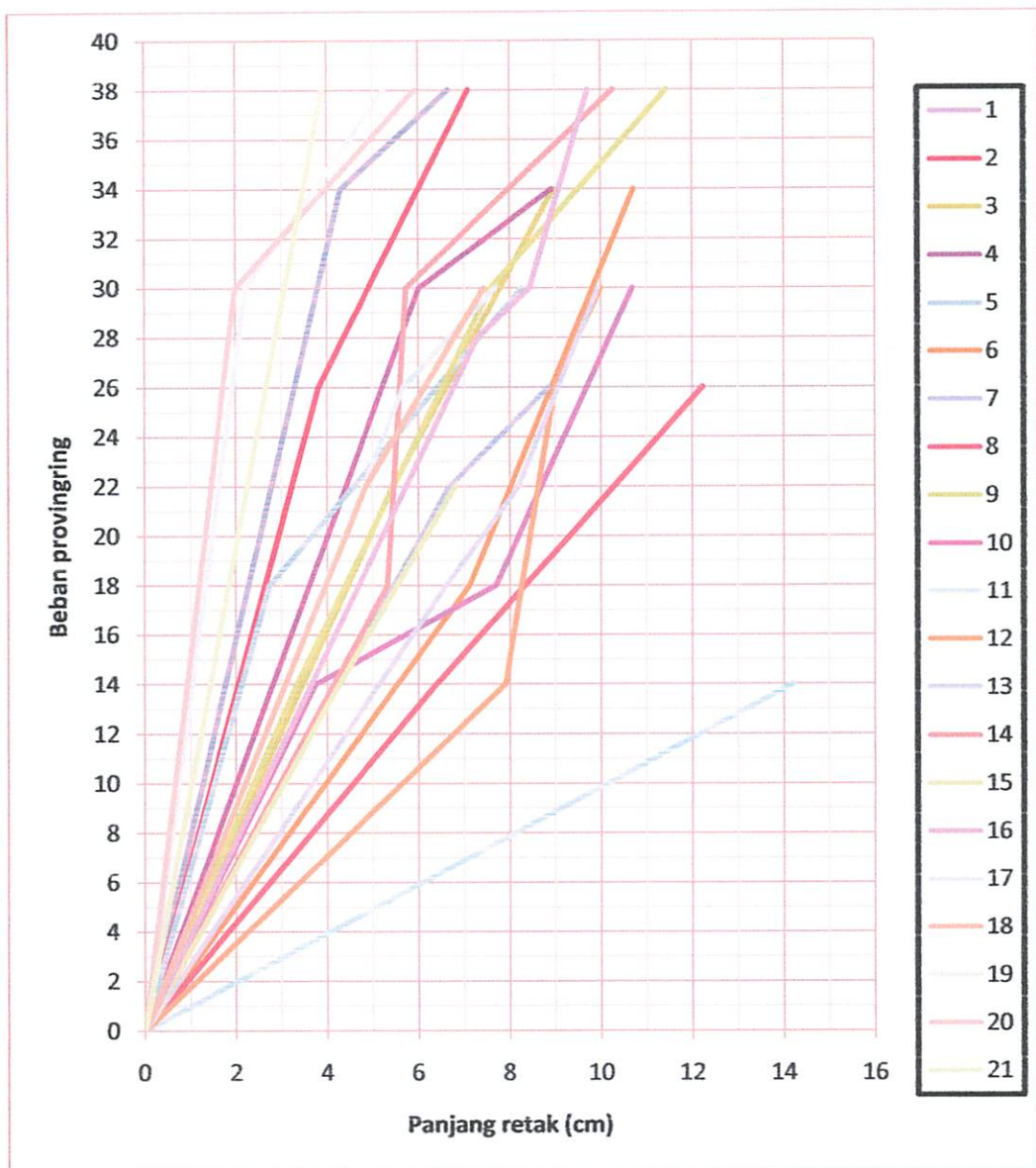


Gambar 4.44 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1A

Tabel 4.27 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok variasi 1B

Retak	Beban proving ring									
	0	14	18	18	22	26	28	30	34	38
1	0								4.29	6.65
2	0					3.81				7.09
3	0				5.43				8.96	
4	0							6.01	8.92	
5	0		2.73			6.41		8.27		
6	0		7.12						10.71	
7	0				6.67	8.86				
8	0	6.39				12.23				
9	0	3.33						7.58		11.43
10	0	3.74	7.69					10.68		
11	0	14.20								
12	0	7.90				8.99		9.99		
13	0			6.60	8.19			9.93		
14	0		5.32					5.73	7.97	10.26
15	0	4.26			6.80					
16	0						7.29	8.44		9.71
17	0					5.67		7.67		
18	0				4.84			7.43		
19	0							2.22		5.24
20	0							1.98	3.95	5.92
21	0									3.89

Panjang retak vertikal (cm)

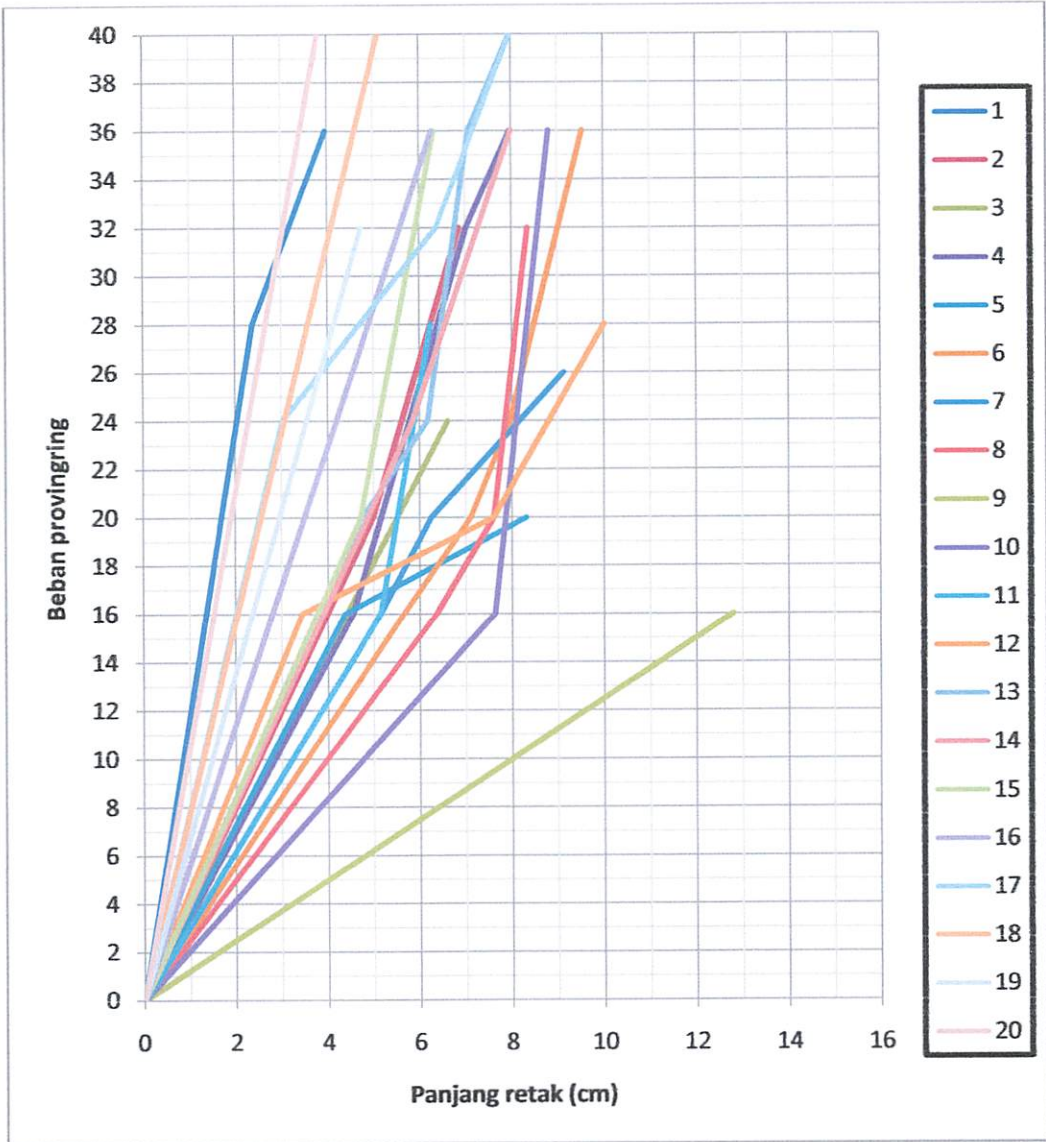


Gambar 4.45 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1 B

Tabel 4.28 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2A

Retak	Beban proving ring								
	0	16	20	24	26	28	32	36	42
1	0					2.37		3.96	
2	0		4.99				6.86		
3	0			6.61					
4	0	4.54					7.01	7.96	
5	0	4.37	8.31						
6	0	5.65	7.10	7.96				9.54	
7	0	5.15	6.24		9.13				
8	0	6.36	7.6				8.35		
9	0	12.8							
10	0	7.62						8.81	
11	0	5.15				6.24			
12	0	3.44	7.60			10.01			
13	0		4.75	6.17				7.06	8.41
14	0			5.85				7.99	
15	0		4.71					6.32	
16	0					4.89		6.27	
17	0			3.02			6.36		8.37
18	0								5.36
19	0						4.72		
20	0								3.99

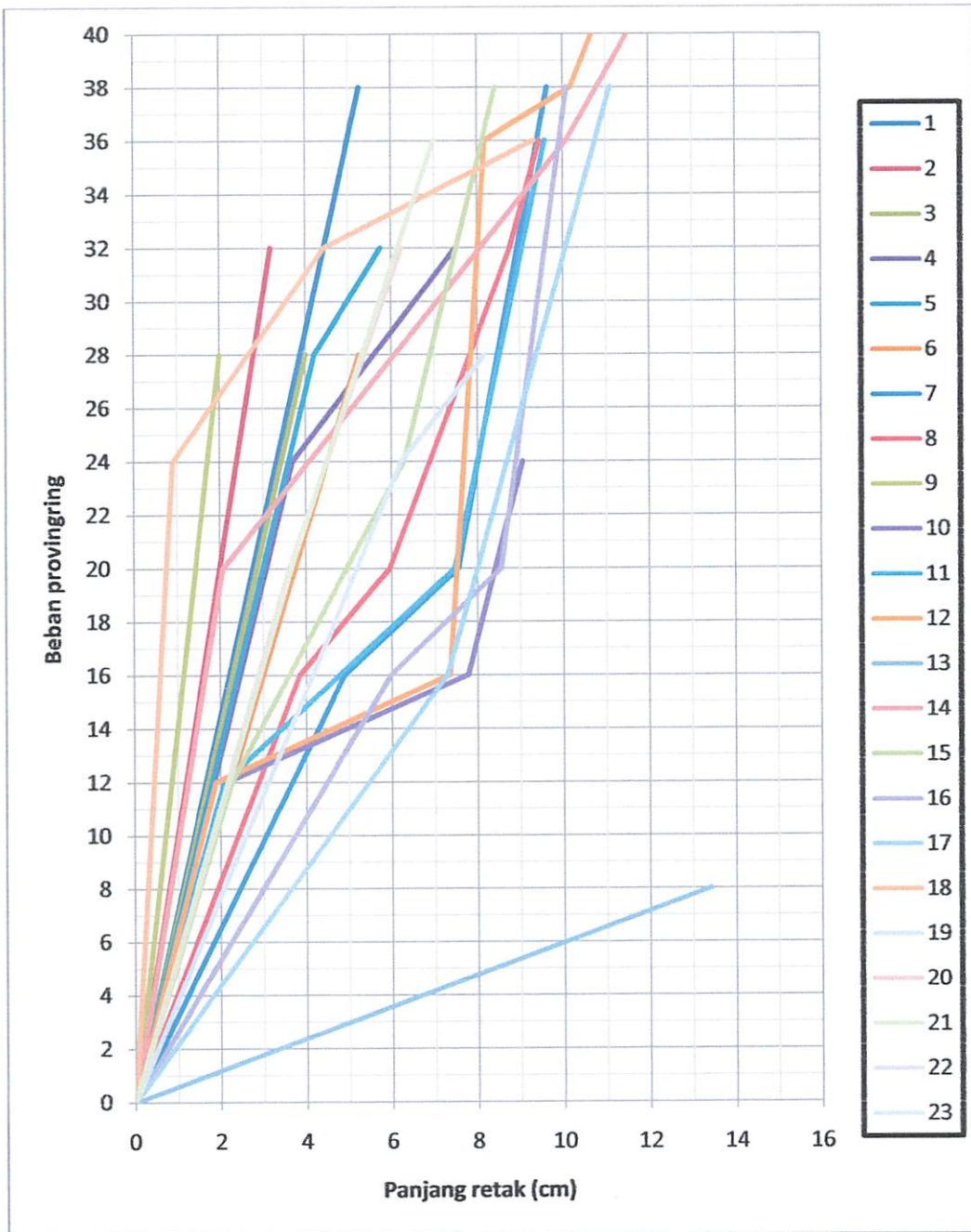
Panjang retak vertikal (cm)



Gambar 4.46 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2A

Tabel 4.29 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2B

Retak	Beban proving ring										Panjang retak vertikal (cm)	
	0	8	12	16	20	24	28	32	36	38		42
1	0									5.26		
2	0							3.19				
3	0						4.00					
4	0					3.69		7.50				
5	0						4.20	5.75				
6	0					4.49	5.25					
7	0			4.89	7.55					9.63		
8	0			3.85	5.95			8.77	9.45			
9	0						2.00					
10	0		2.13	7.77		9.05						
11	0		2.08		7.47				9.58			
12	0		1.89	7.35					8.18	10.18	11.16	
13	0	13.40										
14	0				2.07				10.08		12.20	
15	0		2.26			6.29				8.43		
16	0			5.98	8.55					10.09		
17	0			7.29	8.00					11.09		
18	0					0.90		4.43	9.32			
19	0					6.23	8.18					
20	0				3.62			6.24				
21	0				3.65				6.99			
22	0							4.43				
23	0									2.66		

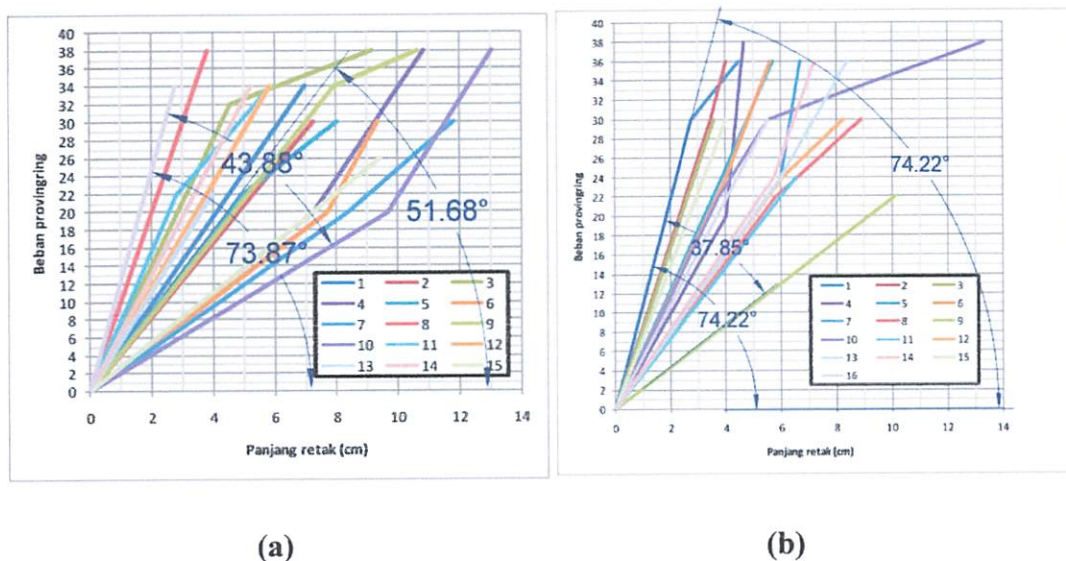


Gambar 4.47 Grafik hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2B.

Dari grafik-grafik di atas, kami menemukan adanya perbedaan sudut kemiringan rata-rata antar grafik. Kemiringan rata-rata kami peroleh dari setengah besar sudut antara dua kurva retak terluar terhadap sumbu horizontal grafik.

1. Balok normal

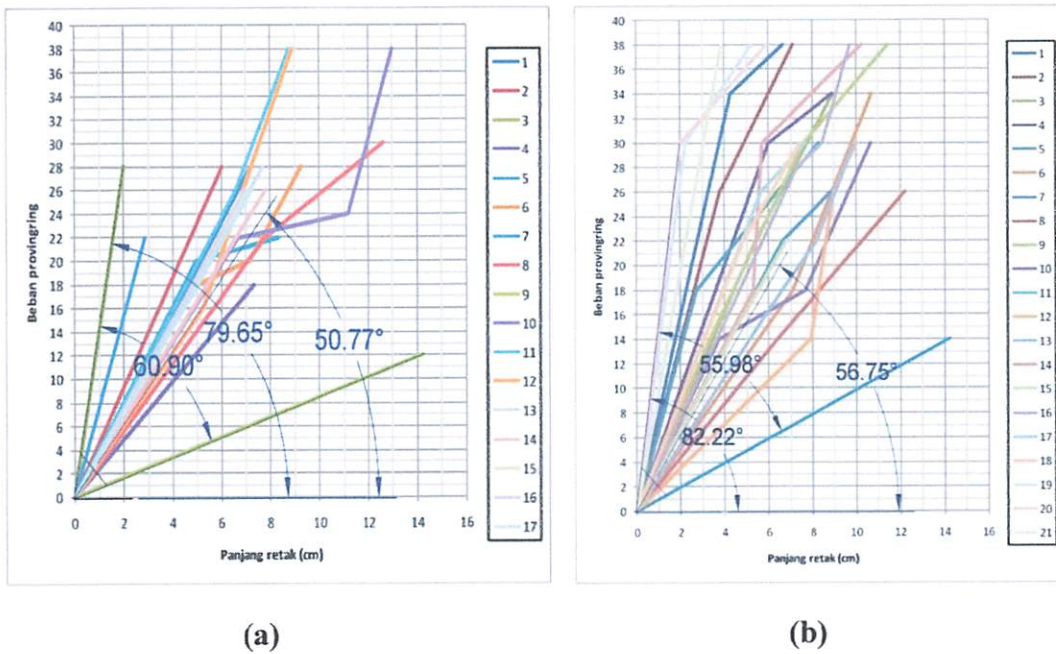
Pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar 43.88° , setengah besar sudutnya adalah 21.94° . Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah 51.68° . Untuk grafik beban-retak balok normal 1B, kemiringan sudut rata-rata terhadap sumbu horizontal sebesar 74.22° . Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok normal adalah 62.95° .



Gambar 4.48 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A (a) dan balok normal 1B (b)

2. Balok variasi 1

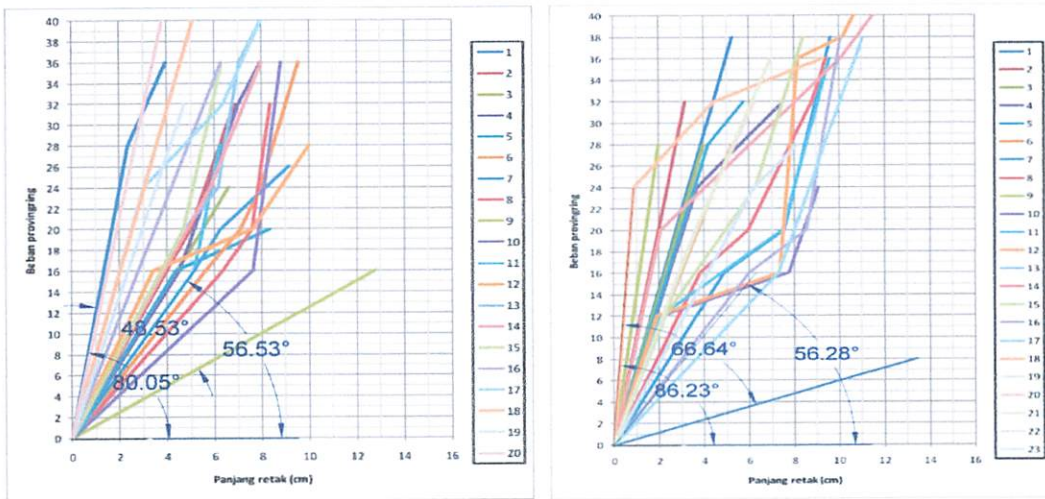
Pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar $79,65^{\circ}$, setengah besar sudutnya adalah $39,83^{\circ}$. Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah $50,77^{\circ}$. Untuk grafik beban-retak balok variasi 1B, kemiringan sudut rata-rata terhadap sumbu horizontal sebesar $56,75^{\circ}$. Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok variasi 1 adalah $53,76^{\circ}$



Gambar 4.49 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A (a) dan balok variasi 1B (b)

3. Balok variasi 2

Pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A, dua kurva retak terluar membentuk sudut sebesar $80,05^{\circ}$, setengah besar sudutnya adalah $40,01^{\circ}$. Sehingga besar kemiringan rata-rata terhadap sumbu horisontal adalah $56,53^{\circ}$. Untuk grafik beban-retak balok variasi 2B, kemiringan sudut rata-rata terhadap sumbu horizontal sebesar $56,28^{\circ}$. Sehingga besar kemiringan sudut rata-rata balok variasi 2 adalah $56,41^{\circ}$.



(a)

(b)

Gambar 4.50 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A (a) dan balok variasi 2B (b)

4.3.8. Validasi lendutan teoritis dan eksperimen antar balok

Dari hasil di di bawah, kami menampilkan perbandingan perbedaan lendutan teoritis dan eksperimen antar balok pada tabel 4.30 Dimana, persen perbedaan antar balok teoritis dan eksperimen kami bandingkan, sehingga terlihat perbandingan lendutannya.

Dari olah data, kami temukan nilai perbandingan rata-rata sebesar 80.82% untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok normal terhadap balok variasi 1, 78.08% untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok normal terhadap balok variasi 2 dan sebesar 95.57% untuk perbedaan lendutan balok variasi 1 dan variasi 2.

Tabel 4.30 Perbandingan perbedaan lendutan teoritis dan eksperimen antar

balok

No	Beban (P) (Kg)	% Perbedaan Δ teoritis			% Perbedaan Δ eksperimen			% Perbedaan Δ teoritis dan eksperimen		
		BN-BB1	BN-BB2	BB1-BB2	BN-BB1	BN-BB2	BB1-BB2	BN-BB1	BN-BB2	BB1-BB2
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
2	65.4	0.00	0.00	0.00	-18.92	-25.68	-8.33	100.00	100.00	100.00
3	111.4	0.00	0.00	0.00	-3.97	-3.17	0.82	100.00	100.00	100.00
4	157.4	0.00	0.00	0.00	-10.61	-1.52	9.23	100.00	100.00	100.00
5	203.4	-0.26	-0.16	0.11	-13.13	5.71	18.10	97.99	97.27	99.40
6	249.4	-0.48	-0.28	0.20	-13.14	16.29	27.29	96.33	98.25	99.27
7	295.4	-0.65	-0.38	0.27	-4.09	15.87	19.31	84.23	97.60	98.63
8	341.4	-0.76	-0.45	0.31	-4.02	11.28	14.85	80.99	96.00	97.88
9	387.4	-0.85	-0.50	0.35	0.88	11.11	10.32	3.28	95.49	96.62
10	433.4	-0.91	-0.54	0.37	0.99	6.70	5.77	8.13	91.98	93.51
11	479.4	-0.95	-0.56	0.39	-5.92	1.69	7.51	83.88	66.70	94.78
12	525.4	-0.99	-0.58	0.41	-5.87	-1.98	3.97	83.19	70.51	89.78
13	571.4	-1.01	-0.60	0.42	-6.58	-0.91	5.72	84.62	34.09	92.73
14	617.4	-1.03	-0.61	0.42	-4.55	2.50	6.94	77.35	75.61	93.89
15	663.4	-1.05	-0.62	0.43	-7.15	-0.75	6.45	85.39	17.37	93.34
16	709.4	-1.06	-0.62	0.43	-6.03	0.04	6.07	82.47	93.06	92.84
17	755.4	-1.07	-0.63	0.44	-6.97	-0.20	6.78	84.70	68.23	93.54
18	801.4	-1.07	-0.63	0.44	-7.24	-0.63	6.65	85.17	0.56	93.36
19	847.4	-1.08	-0.64	0.44	-6.88	-1.73	5.24	84.31	63.08	91.53
20	893.4	-1.08	-0.64	0.45	-19.32	-15.44	4.59	94.39	95.85	90.28
21	939.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	985.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rata-rata		-0.72	-0.42	0.29	-7.13	0.96	7.86	80.82	78.08	95.57

4.3.9. Pengujian hipotesa

Dari analisa di atas, dapat dilakukan pengujian hipotesa secara statistik akibat pengaruh penambahan tulangan tekan terhadap lendutan yang terjadi. Dalam perhitungan ini menggunakan metode Analisis Varians (ANOVA) antara rata-rata sampel. Sebagai berikut :

Hipotesa statistik :

$$H_0 = \Delta\sigma_2 \neq \Delta\sigma_3 \neq \Delta\sigma_4$$

$$H_a = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_4$$

Tabel 4.31 Data pengamatan lendutan beban akhir (893.4 Kg)

lendutan	BN	BB-1	BB2	
1	19.91	14.32	14.75	
2	15.91	14.58	15.54	
rata"	17.91	14.45	15.15	15.84
	X1	X2	X3	Xrata-rata

Dengan menggunakan α (derajat kesalahan) = 5%

Nilai k (jumlah kelompok) = 3

Nilai n (jumlah pengamatan per kelompok) = 2

Maka, perhitungan sebagai berikut :

$$S_{xr}^2 = \frac{1}{k-1} \sum (X_i - X_r)^2$$

$$= \frac{1}{2} \{ (17.91 - 15.84)^2 + (14.45 - 15.84)^2 + (15.15 - 15.84)^2 \}$$

$$= 3.35$$

$$nS_{xr}^2 = n \times 3.35 = 2 \times 3.35 = 6.7$$

$$S_r^2 = \frac{1}{k} \left\{ \frac{1}{n-1} \sum \sum_j (X_{ij} - X_{rj})^2 \right.$$

$$= \frac{1}{3} [1x \{ (19.91 - 17.91)^2 + (15.91 - 17.91)^2 \} + 1x \{ (14.32 - 14.45)^2$$

$$+ (14.58 - 14.45)^2 \} + 1x \{ (14.75 - 15.15)^2$$

$$+ (15.54 - 15.15)^2 \}]$$

= 2.78

Mencari nilai F test,

$$F_0 = \frac{\frac{n}{k-1} \Sigma(X_i - X_r)^2}{\frac{1}{k(n-1)} \Sigma \Sigma_j (X_{ij} - X_{rj})^2}$$
$$F_0 = \frac{6.7}{2.78} = 2.41$$

$F_{\alpha(v1)(v2)} = F_{0.05(k-1), k(n-1)} = F_{0.05(2)(3)} = 9.55$ (dari lampiran E, tabel nilai F 0.05⁺)

Karena, nilai $F_0 = 2.41 < F_{0.05(2)(3)} = 9.55$ maka H_0 diterima dan H_a ditolak. Hal ini berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari penambahan tulangan tekan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, kami menyimpulkan sebagai berikut :

1. Lentutan teoritis akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 1 menunjukkan penurunan nilai lentutan sama halnya antara balok normal dan balok variasi 2 juga menunjukkan penurunan nilai lentutan.

Lentutan eksperimen akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 1 menunjukkan penurunan nilai lentutan dan antara balok normal dengan balok variasi 2 juga menunjukkan penurunan nilai lentutan. Dari nilai tersebut terlihat penambahan tulangan tekan mampu mengurangi lentutan.

2. Bentuk kurva hubungan lentutan dan penambahan tulangan tekan teoritis dan eksperimen menampilkan bentuk kurva yang cenderung berbanding terbalik setelah mengalami retak awal (gambar 4.41/a dan 4.41/b) dimana untuk beban yang sama lentutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan.
3. Bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan berdasarkan kurva hubungan beban-retak (gambar 4.48, 4.49, 4.50) membentuk sudut yang semakin kecil seiring penambahan tulangan tekan. Yaitu; sebesar 62.95° untuk tulangan tekan $2\emptyset 7.4$, sebesar 53.76° untuk tulangan tekan $3\emptyset 7.4$ dan sebesar 56.41° untuk tulangan tekan $4\emptyset 7.4$. Atau dapat dikatakan penambahan tulangan tekan menambah daktilitas balok. Pola retak yang dihasilkan dikategorikan sebagai retak lentur (*flexure-crack*).

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kami dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Penggunaan formula teoritis yang lebih sesuai yaitu metode nonlinear untuk penelitian tingkat lanjut.
2. Pembuatan benda uji sangat menentukan ketepatan hasil penelitian, antara lain dari segi kualitas, perawatan, maupun mobilisasi benda uji.
3. Penggunaan alat pengamatan yang lebih detail menentukaan keakuratan hasil penelitian.
4. Penentuan dimensi benda uji baik ukuran balok maupun jumlah tulangan sangat mempengaruhi analisa baik secara teoritis maupun eksperimental.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi diameter tulangan yang jauh lebih banyak misalkan $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 13$, $\emptyset 16$, $\emptyset 19$ untuk masing-masing penambahan tulangan tekan.
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan dimensi balok yang berbeda, selain 10/15 dengan panjang 3 meter seperti dalam penelitian ini. Misalkan balok 20/30, 20/40 dan lain-lain dengan variasi panjang bentang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Penerbit Badan Standar Nasional Indonesia, Bandung
- Adesya, Nikodemus R., 2010, *Pengaruh Penggunaan Tulangan CRT Dan Tulangan BJTP Pada Komponen Lentur Dengan Mutu Beton $f'c$ 24,52 MPa Terhadap Kuat Lentur*, Skripsi Penelitian Mahasiswa JTS-FTSP ITN, 2010
- Dipohusodo, I., 1999, *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*, Penerbit PT Gramedia Pustaka, Jakarta
- Latifa, Nurul, 2007, *Pengaruh penambahan serutan baja terhadap perilaku lentur balok beton bertulang dengan metode Preplaced pada kondisi Overreinforced* Hanum, Skripsi Penelitian Mahasiswa JTS-FT UGM, 2007
- Nawy, E. G., Tavio, Kusuma, B, 2010, *Beton Bertulang Sebuah Pendekatan Mendasar*, Penerbit ITSPress, Surabaya

LAPORAN
PENGUJIAN LABORATORIUM
TAHUN 2011

PEKERJAAN : DATA SKRIPSI

LOKASI : LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

PENGUJIAN : MIX DESIGN BETON f'_c 22.5 MPa

PELAKSANA : MOHAMAD NURKHOLIS (08.21.902)
WAHYU BUDIANTO (08.21.903)
FELIX A. TALAN (03.21.086)
ANTONIUS SUTRIONO (04.21.093)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145



**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

LEMBAR PENGESAHAN

Yang bertandatangan dibawah ini menyatakan :

1. JUDUL PENELITIAN : MIX DESIGN BETON $F'c$ 22.5 MPa
2. PELAKSANA PENELITIAN : MOHAMAD NURKHOLIS (08.21.902)
WAHYU BUDIANTO (08.21.903)
FELIX A.TALAN (03.21.086)
ANTONIUS SUTRIONO (04.21.093)
3. TEMPAT PENELITIAN : LABORATORIUM BAHAN
KONSTRUKSI ITN MALANG
4. TUJUAN PENELITIAN : DATA SKRIPSI

Telah melaksanakan dan menyelesaikan penelitian di laboratorium bahan konstruksi ITN Malang. Demikian laporan ini dibuat untuk dapat digunakan seperlunya.

Malang,2011

Mengetahui

KEPALA

LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI

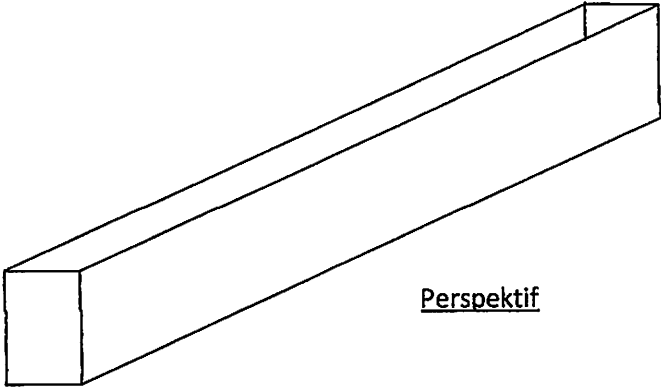
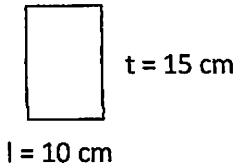
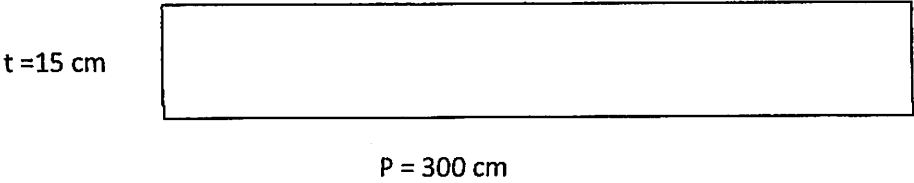
ITN MALANG

Ir. Bambang Wedyantadji, MT

LAMPIRAN A

(Gambar dimensi cetakan benda uji)

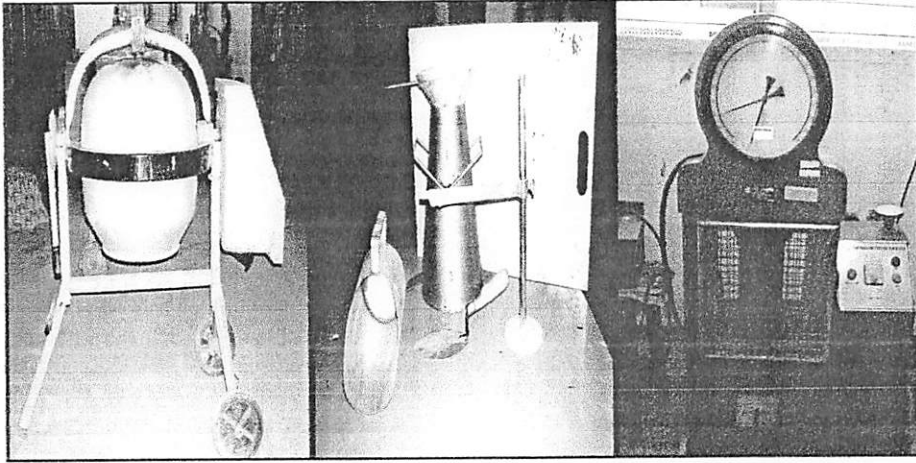
Gambar dimensi cetakan benda uji



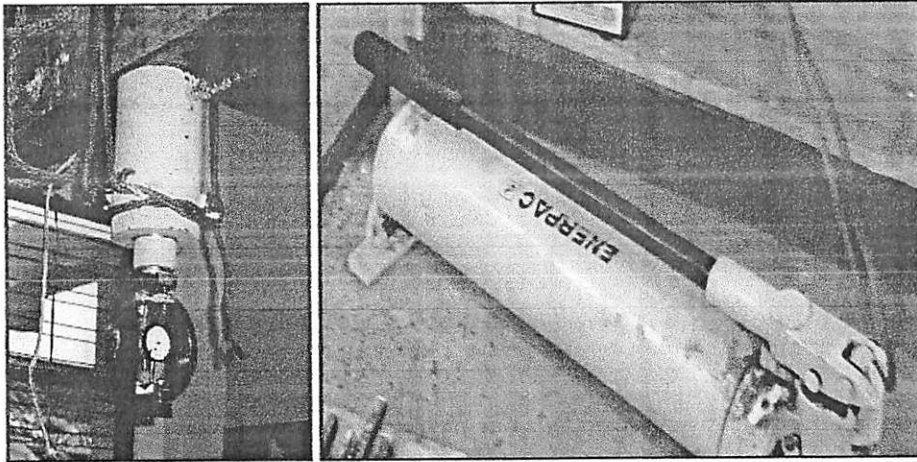
LAMPIRAN B

(Gambar alat-alat percobaan dan dokumentasi kegiatan)

ALAT-ALAT



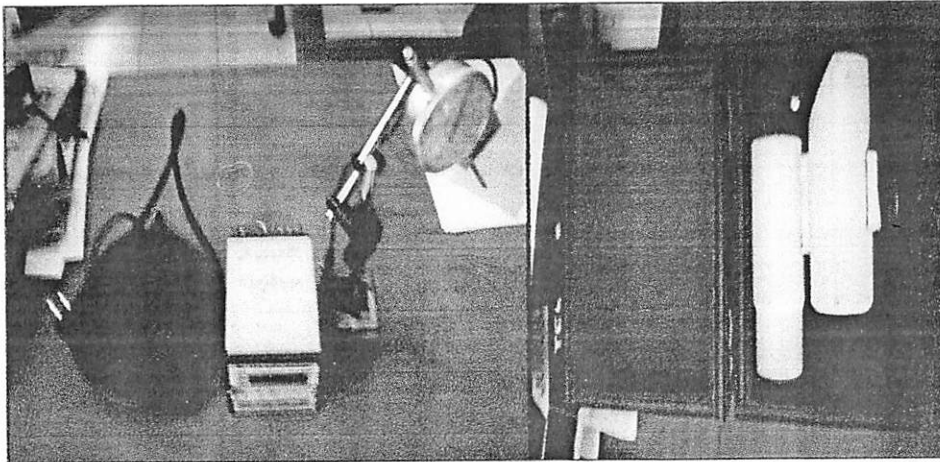
Concrete Mixer, Slump tes, Universal Testing Mechine (UTM)



Proving ring, Hydraulic Jack

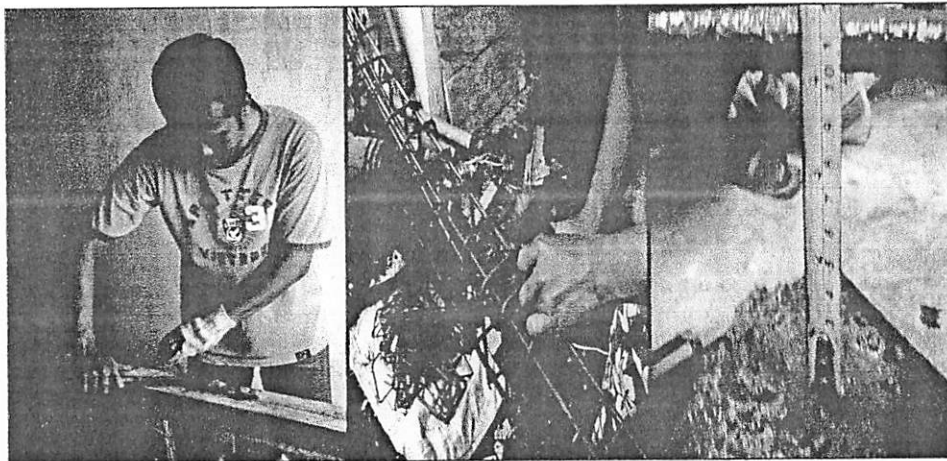


Frame

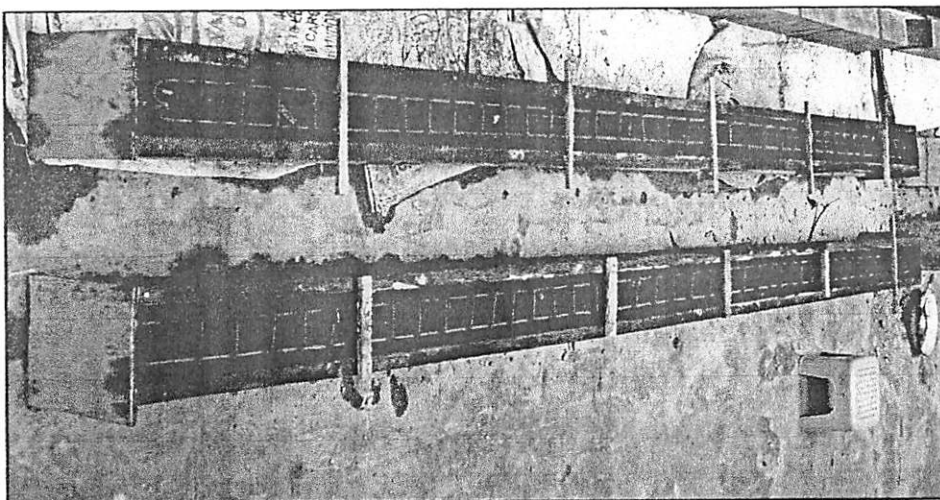


MVD Amplifier, LVDT, Crack detector

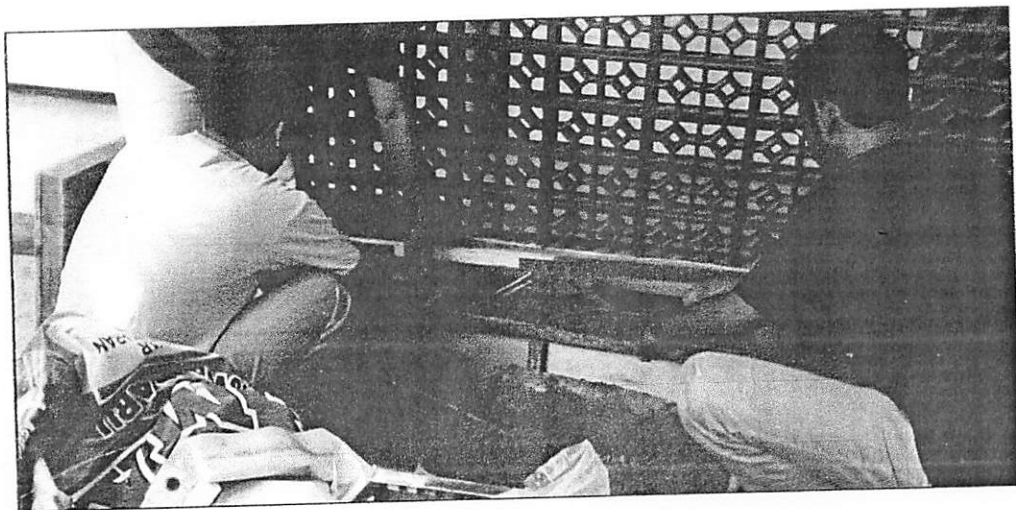
KEGIATAN



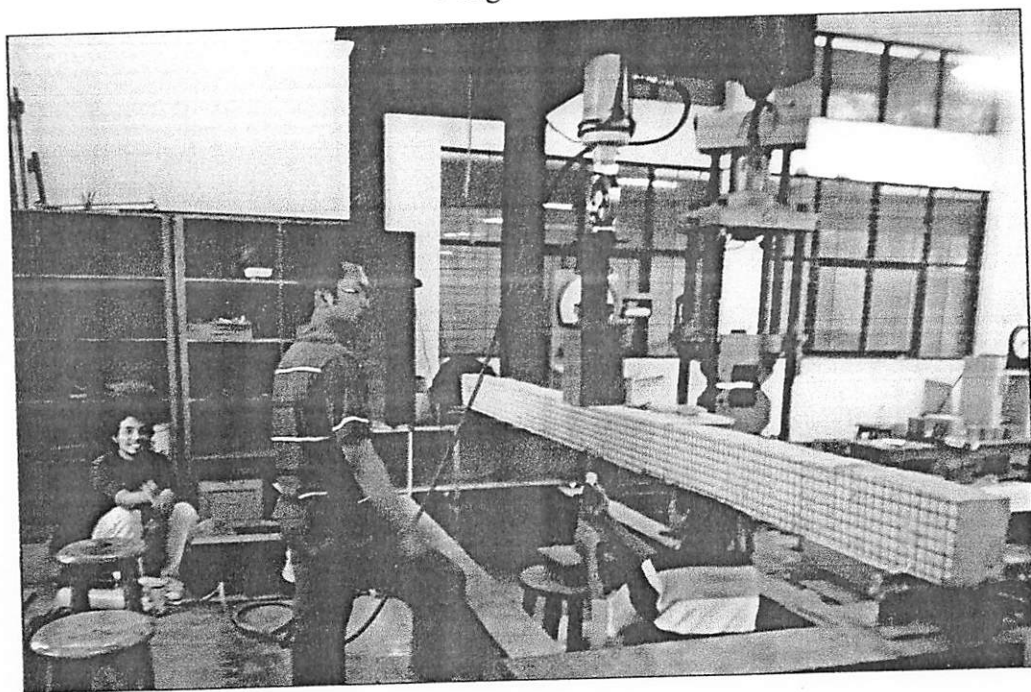
Pembuatan sengkang, Perakitan, Uji slump



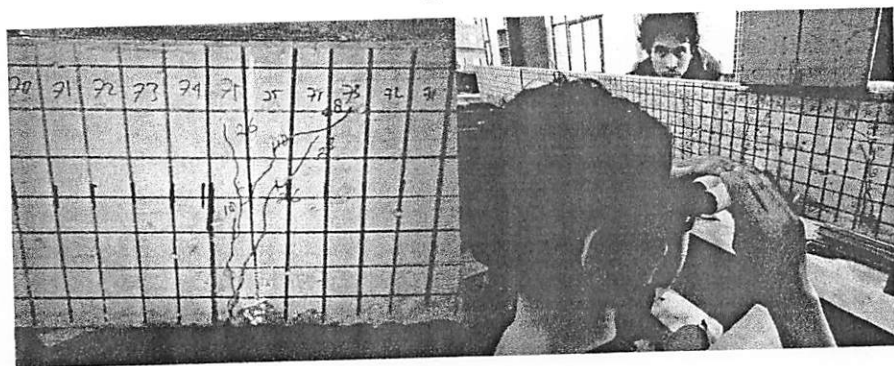
Persiapan pengecoran



Pengecoran



Pengetesan

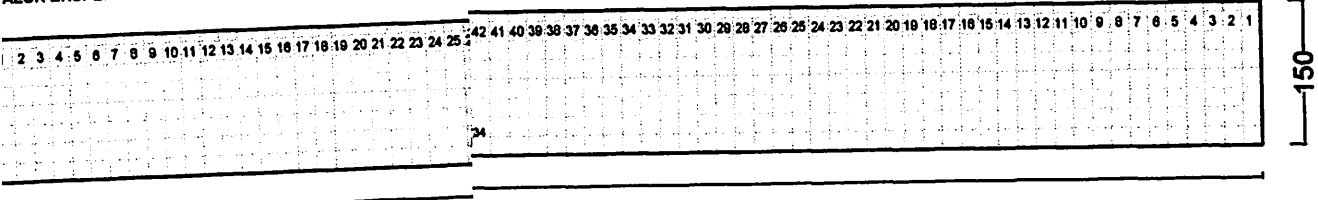


Rekam retak, Pengecekan lebar retak

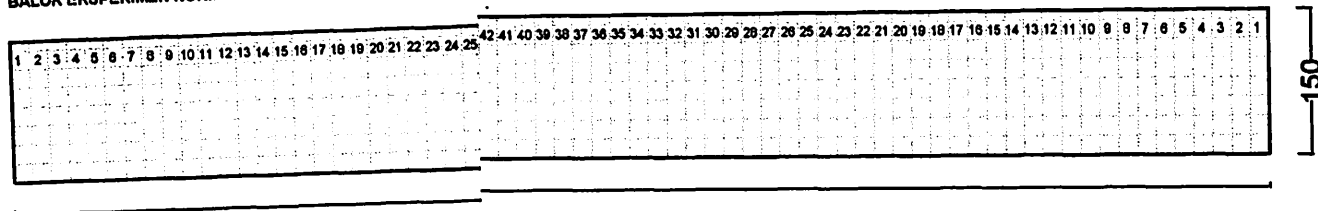
LAMPIRAN C

(Gambar pola retak balok)

ALOK EKSPERIMEN NORMAL IA



BALOK EKSPERIMEN NORMAL IB



**CATATAN : PEWARNAAN PADA GAMBAR DIA
YANG TERJADI PADA SETIAP TAR**

JUDUL		DIGAMBAR	
H PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3 Ø 7.4 DAN TEKAN 2 Ø 7.4		FELIX ARIBUS TALAN 03.21.088	
NAMA GAMBAR	Tanggal Pengujian	No lembar	Skala
RETAK BALOK BERTULANGAN 3 Ø 7.4 DAN TEKAN 2 Ø 7.4	23/07/2011	01	1 : 8

LAMPIRAN D

(Hasil uji laboratorium)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

BERAT ISI AGREGAT KASAR

LEPAS/GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	20910	20990	20870
B.	Berat tempat	(gr)	7920	7920	7920
C.	Berat benda uji (A-B)	(gr)	12990	13070	12950
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji (C/D)	(gr/cm ³)	1.299	1.307	1.295
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.300		

PADAT			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	22320	22220	20870
B.	Berat tempat	(gr)	7920	7920	7920
C.	Berat benda uji (A-B)	(gr)	14400	14300	14440
D.	Isi tempat	(cm ³)	10000	10000	10000
E.	Berat isi benda uji (C/D)	(gr/cm ³)	1.440	1.430	1.444
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.438		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

BERAT ISI AGREGAT HALUS

LEPAS/GEMBUR			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8560	8550	8570
B.	Berat tempat	(gr)	3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (A-B)	(gr)	4990	4980	5000
D.	Isi tempat	(cm ³)	3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (C/D)	(gr/cm ³)	1.663	1.660	1.667
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.663		

PADAT			I	II	III
A.	Berat tempat + Benda uji	(gr)	8830	8830	8850
B.	Berat tempat	(gr)	3570	3570	3570
C.	Berat benda uji (A-B)	(gr)	5260	5260	5280
D.	Isi tempat	(cm ³)	3000	3000	3000
E.	Berat isi benda uji (C/D)	(gr/cm ³)	1.753	1.753	1.760
F.	Berat isi benda uji rata-rata	(gr/cm ³)	1.756		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145

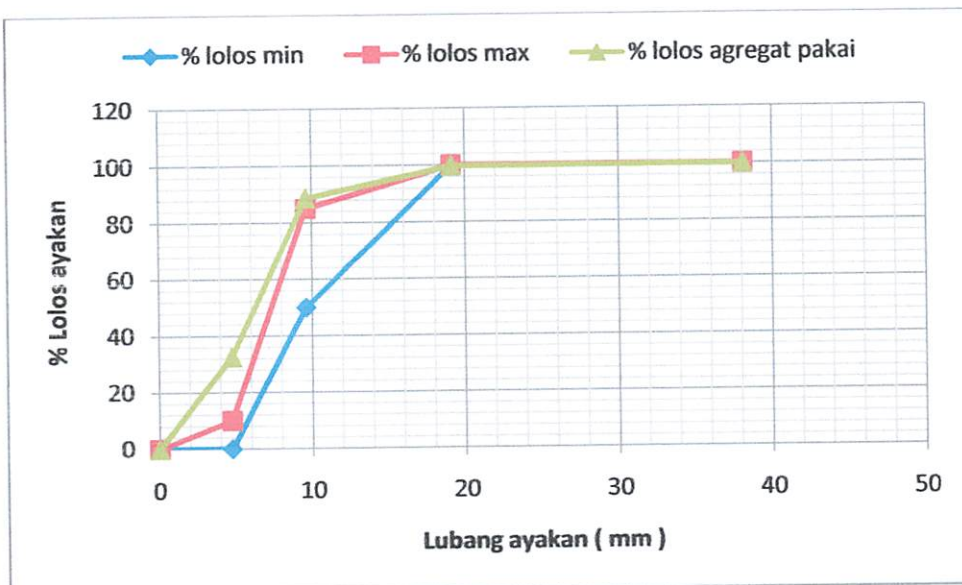
Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Berat contoh kering : 15160 gr

Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan (gr)	komulatif tertahan (gr)	Persen (%)	
				% Tertahan	% Lolos
3"	76.2	0	0	0	100
1 1/2"	38.1	0	0	0	100
3/4"	19.1	54.6	54.6	0.36	99.64
3/8"	9.6	1654.9	1709.5	11.28	88.72
#4	4.75	8499	10208.5	67.34	32.66
#8	2.36	3975.6	14184.1	93.56	6.44
#16	1.18	293.2	14477.3	95.50	4.50
#30	0.6	89.3	14566.6	96.09	3.91
#50	0.3	73.7	14640.3	96.57	3.43
#100	0.15	246.7	14887	98.20	1.80
#200	0.075	191.9	15078.9	99.47	0.53
Pan		81.1	15160	100	0.00

Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 10 mm (\varnothing 4.8 -9.6 mm)

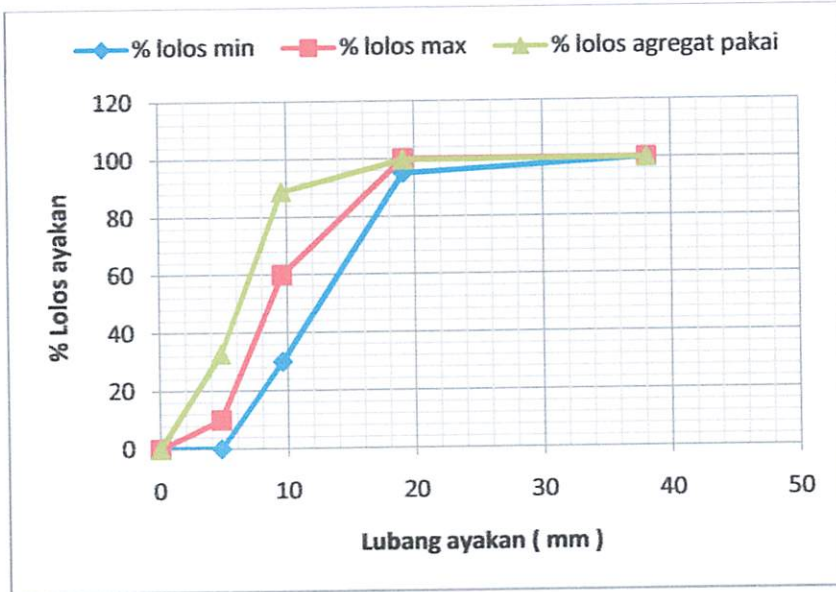




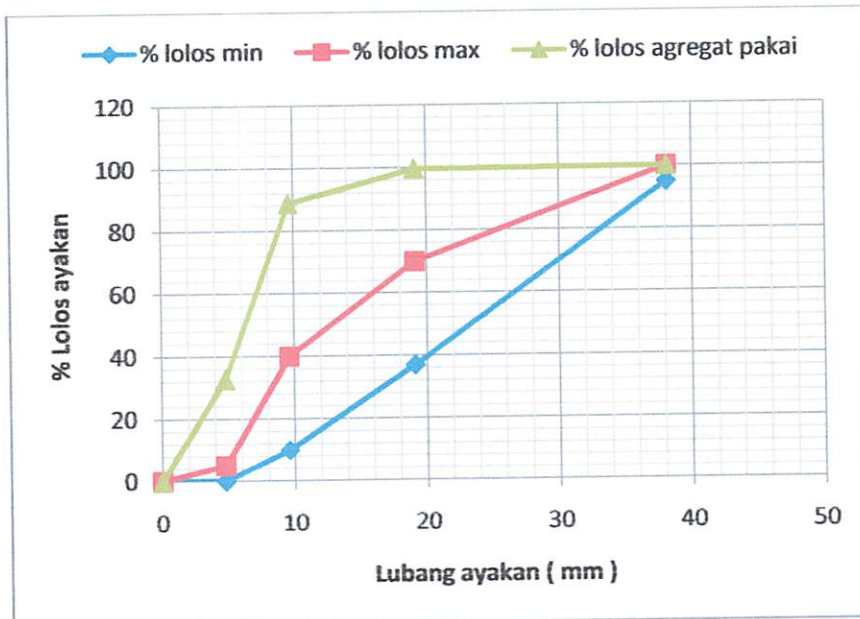
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145

Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 20 mm (\varnothing 4.8 – 19 mm)



Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 40 mm (\varnothing 4.8 – 38 mm)





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145

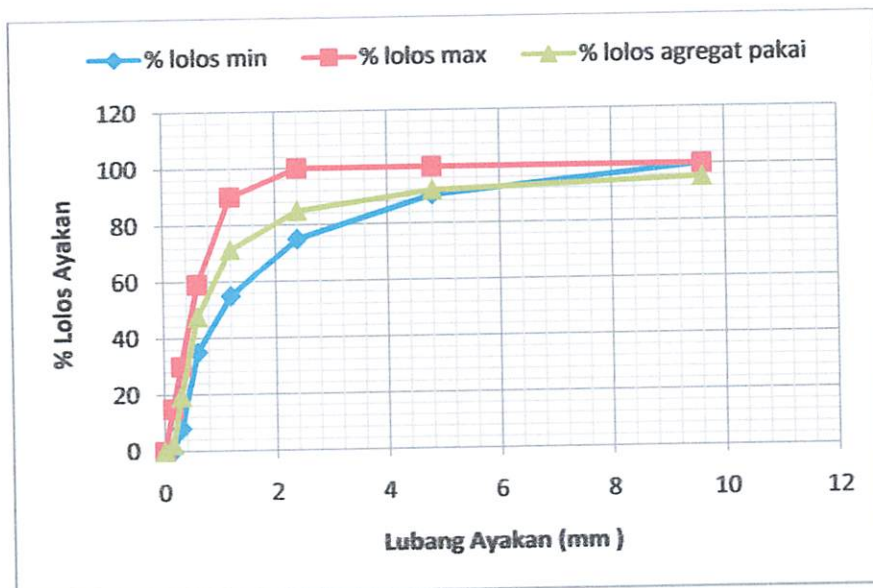
Lamp. Lap. No	:	Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	:	Diperiksa	Ir. Bambang Wedyantadji, MT

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Berat contoh kering : 6290 gr

Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan (gr)	komulatif tertahan (gr)	Persen (%)	
				% Tertahan	% Lolos
3"	76.2	0	0	0.00	100
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100
3/4"	19.1	69.5	69.5	1.10	98.90
3/8"	9.6	224.4	293.9	4.67	95.33
#4	4.75	230.9	524.8	8.34	91.66
#8	2.36	427.5	952.3	15.14	84.86
#16	1.18	843	1795.3	28.54	71.46
#30	0.6	1507.8	3303.1	52.51	47.49
#50	0.3	1774.9	5078	80.73	19.27
#100	0.15	1065.7	6143.7	97.67	2.33
#200	0.075	138.2	6281.9	99.87	0.13
Pan		8.1	6290	100.00	0.00

Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 1

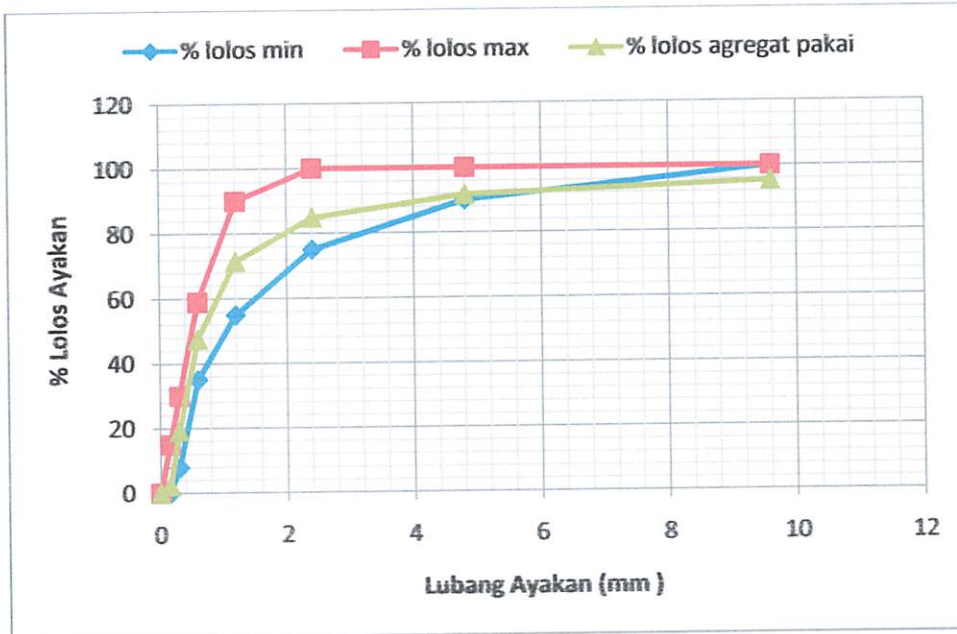




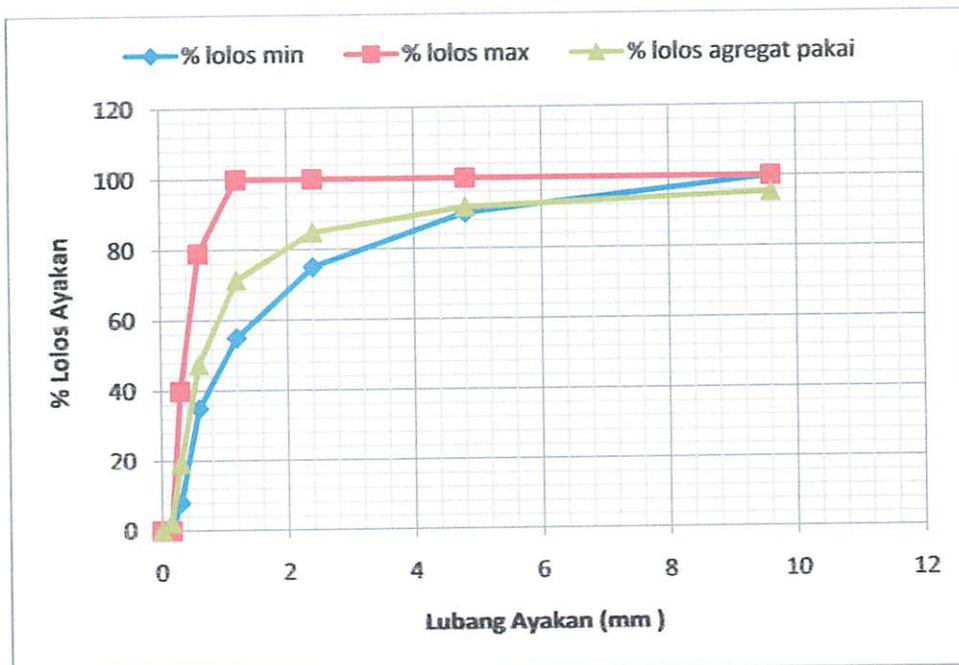
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145

Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 2



Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 3

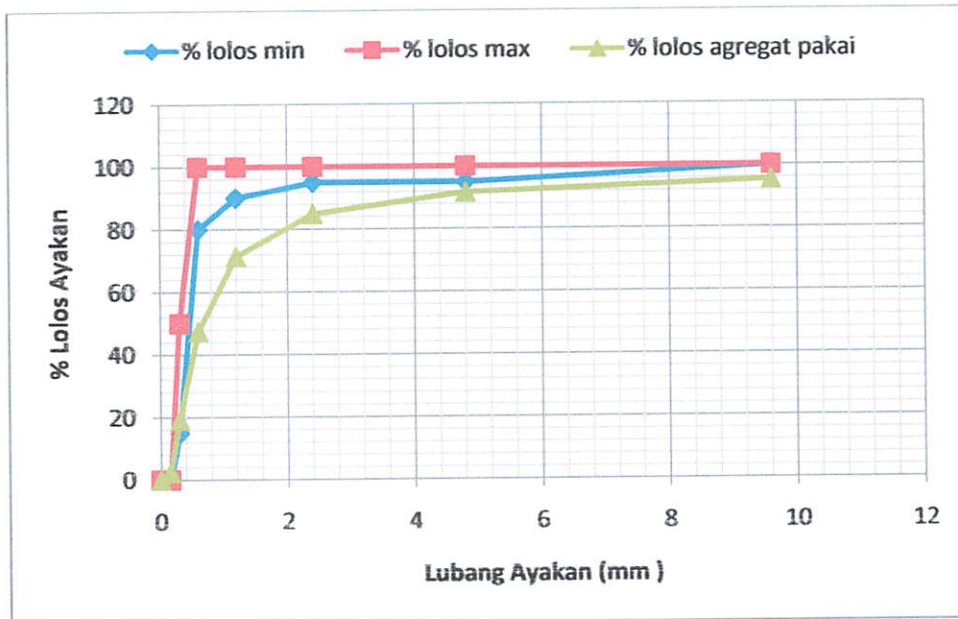




**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951–551431 Psw. 256 Malang 65145

Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 4





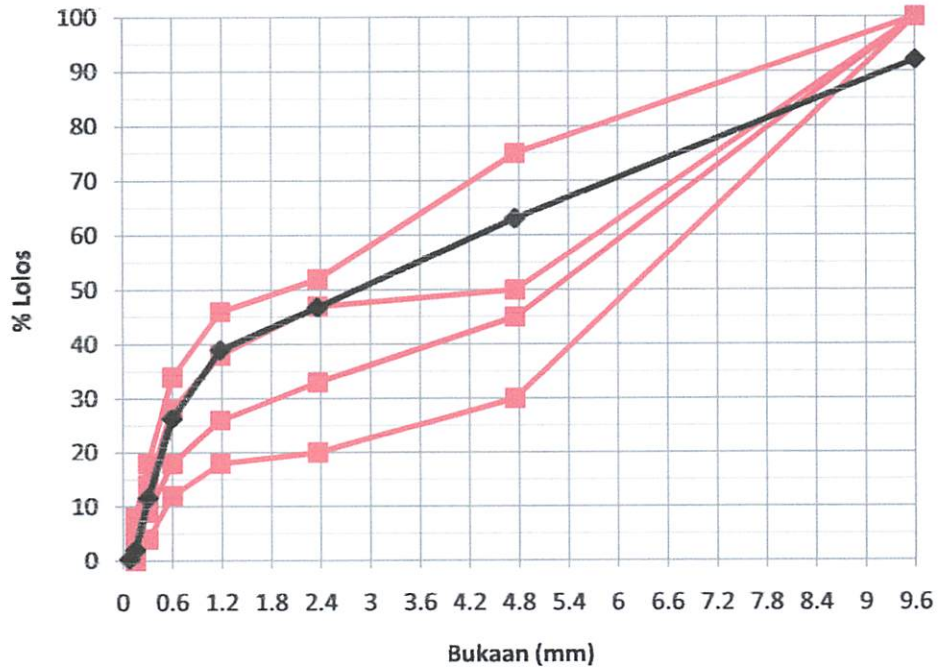
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

GRADASI GABUNGAN

Saringan No.	Bukaan (mm)	% Lolos		Pasir		Gradasi Gabungan	Spesifikasi Maks. 10 mm
		Pasir	Kerikil	51.5 %	48.5 %		
3"	76.2	100.00	100.00	51.50	48.50	100.00	100
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	51.50	48.50	100.00	100
3/4"	19.1	98.90	99.64	50.93	48.33	99.26	100
3/8"	9.6	95.33	88.72	49.09	43.03	92.12	100
#4	4.75	91.66	32.66	47.20	15.84	63.04	30-75
#8	2.36	84.86	6.44	43.70	3.12	46.83	20-52
#16	1.18	71.46	4.50	36.80	2.18	38.98	18-46
#30	0.6	47.49	3.91	24.46	1.90	26.35	12-34
#50	0.3	19.27	3.43	9.92	1.66	11.59	4-18
#100	0.15	2.33	1.80	1.20	0.87	2.07	0-8
#200	0.075	0.13	0.53	0.07	0.26	0.33	0



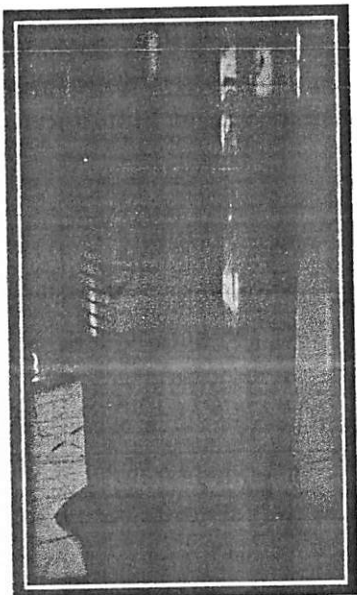


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

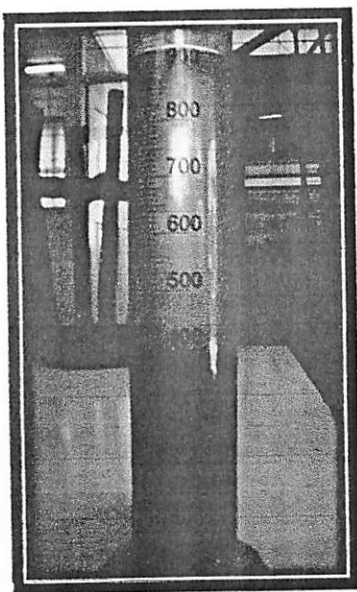
Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

KOTORAN ORGANIK DAN KADAR LUMPUR AGREGAT HALUS



Warna : Bening

Penurunan Kekuatan : 0 %



Volume Pasir : 380 ml (V1)

Volume air : 930 ml

Volume lumpur : 1 ml (V2)

Kadar lumpur :

$$= \frac{V2}{V1 + V2} \times 100 \%$$

$$= \frac{1}{381} \times 100 \%$$

$$= 0.262 \%$$



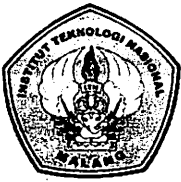
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

KADAR AIR AGREGAT KASAR

KONDISI ASLI			C	D
A.	Berat tempat	(gr)	2600	2510
B.	Berat tempat + contoh kering oven	(gr)	16360	17670
C.	Berat tempat + contoh	(gr)	16570	17870
D.	Kadar air = $\frac{(C-B)}{(B-A)} \times 100 \%$	(%)	1.526	1.319
E.	Kadar air rata-rata	(%)	1.423	
KONDISI SSD			C	D
A.	Berat tempat	(gr)	166.7	164.1
B.	Berat tempat + contoh kering oven	(gr)	1474.8	1603.8
C.	Berat tempat + contoh	(gr)	1527.6	1658.6
D.	Kadar air = $\frac{(C-B)}{(B-A)} \times 100 \%$	(%)	4.036	3.806
E.	Kadar air rata-rata	(%)	3.921	



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

KADAR AIR AGREGAT HALUS

KONDISI ASLI			A	B
A.	Berat tempat	(gr)	3330	2690
B.	Berat tempat + contoh kering oven	(gr)	8310	8980
C.	Berat tempat + contoh	(gr)	8490	9200
D.	Kadar air = $\frac{(C-B)}{(B-A)} \times 100 \%$	(%)	3.614	3.498
E.	Kadar air rata-rata	(%)	3.556	
KONDISI SSD			A	B
A.	Berat tempat	(gr)	170.1	178.9
B.	Berat tempat + contoh kering oven	(gr)	665.4	672.1
C.	Berat tempat + contoh	(gr)	670.1	678.9
D.	Kadar air = $\frac{(C-B)}{(B-A)} \times 100 \%$	(%)	0.949	1.379
E.	Kadar air rata-rata	(%)	1.164	



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN

AGREGAT KASAR		I	II	Rata-rata	
A.	Berat contoh kering oven (gr)	4835.3	4811.8		
B.	Berat contoh kering permukaan jenuh (gr)	5000	5000		
C.	Berat contoh dalam air (gr)	3081.2	3071.5		
D.	Berat jenis (bulk) $\frac{A}{B-C}$	2.520	2.495	2.508	
E.	Berat jenis kering permukaan jenuh $\frac{B}{B-C}$	2.606	2.593	2.599	
F.	Berat jenis semu (apparent) $\frac{A}{A-C}$	2.757	2.765	2.761	
G.	Penyerapan (absorpsi) $\frac{B-A}{A} \times 100\%$	3.406	3.911	3.659	
AGREGAT HALUS		I	II	Rata-rata	
A.	Berat contoh kering oven (gr)	495.3	4811.8		
B.	Berat contoh kering permukaan jenuh (gr)	500	500		
C.	Berat piknometer diisi air (gr)	667.4	677.2		
D.	Berat piknometer + contoh + air (gr)	983.9	994.4		
E.	Berat jenis (bulk) $\frac{A}{(B+C-D)}$	2.699	2.709		2.704
F.	Berat jenis kering permukaan jenuh $\frac{B}{(B+C-D)}$	2.725	2.735		2.730
G.	Berat jenis semu (apparent) $\frac{A}{(A+C-D)}$	2.770	2.782		2.776
H.	Penyerapan (absorpsi) $\frac{B-A}{A} \times 100\%$	0.949	0.969	0.959	



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp (0341) 551951-551431 Psw. 256 Malang 65145

Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT

Gradasi Pemeriksaan		Gradasi B (Fraksi 10 – 20 mm)	
Saringan		Sampel	
		I	
Lolos	Tertahan	Sebelum (a)	Sesudah (b)
76.2 mm (3")	63.5 mm (2 1/2")		
63.5 mm (2 1/2")	50.8 mm (2")		
50.8 mm (2")	37.3 mm (1 1/2")		
37.3 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")		
25.4 mm (1")	19 mm (3/4")		
19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	2500	663.4
12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	2500	862.5
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")		838.1
6.3 mm (1/4")	4.75 mm (No. 4)		399.4
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)		607.3
Berat tertahan No. 12			293.5
Σ Jumlah berat (gr)		5000	3664.2
Keausan			
$F_m = \frac{5000 - 3664.2}{5000} \times 100\% = 26.716\%$			

Catatan :

- Jumlah bola 10 buah
- Jumlah putaran ± 500 putaran

1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Yang mengacu pada *Development of the Environment (DOE) 1975, Design of Normal Concrete Mixes, Building Research Establishment*.

Tujuan pembuatan rancangan campuran adalah untuk menetapkan perbandingan berat dari bahan-bahan dasar penyusun beton sehingga dihasilkan suatu beton dengan kekuatan yang diinginkan.

A. Data-data Perhitungan

1. Semen : Merek Gresik PPC
2. Pasir : Alami
 - Gradasi : Zona 2
 - Berat jenis SSD : 2.730
 - Kadar air SSD : 1.164 %
 - Kadar air asli : 3.556 %
 - Penyerapan air : 0.959 %
 - Berat isi lepas : 1.663 gr/cm³
 - Kadar lumpur : 0.262 %
 - Kotoran organik : Warna bening
penurunan kekuatan 0 %
3. Kerikil : Batu pecah
 - Ukuran maks. : 10 mm
 - Berat jenis SSD : 2.599
 - Kadar air SSD : 3.921 %
 - Kadar air asli : 1.423 %
 - Penyerapan air : 3.659 %
 - Kehausan : 26.716 %
 - Berat isi lepas : 1.300 gr/cm³

B. Metode Perencanaan Campuran

1. Langkah I :

Menentukan kekuatan tekan rencana (f'_{Cr}).

Jika data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar tersedia, maka kuat tekan rencana (f'_{Cr}) diperoleh dari penjumlahan antara kuat tekan yang diinginkan (f'_c) dengan nilai tambah (M). Dimana nilai tambah (M) adalah hasil kali faktor modifikasi dengan deviasi standar rencana (S).

$$f'_{Cr} = f'_c + 1.34S$$

$$f'_{Cr} = f'_c + 2.33S - 3.5$$

diambil yang terbesar.

Jika data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar tidak tersedia, tetapi memiliki catatan uji dari pengujian sebanyak 15 sampai 29 contoh secara berurutan, maka Kuat tekan rencana (f'_{Cr}) diperoleh dengan memodifikasi deviasi standar (S) sesuai tabel 4 SNI-0302847-2002.

Jika tidak memiliki catatan uji lapangan, maka kuat tekan rencana (f'_{Cr}) harus ditetapkan berdasarkan tabel 5 SNI-0302847-2002.

Direncanakan menggunakan $f'_c = 22.5$ Mpa. pada umur 28 hari

Deviasi standar digunakan (S) = $60 \text{ kg/cm}^2 = 6$ Mpa.

Maka :

$$f'_{Cr} = 22.5 + (1.34 \times 6) = 30.54 \text{ Mpa.}$$

$$f'_{Cr} = 22.5 + (2.33 \times 6) - 3.5 = 32.98 \text{ Mpa.}$$

digunakan yang terbesar, yaitu = 32.98 Mpa.

Tabel 1 Deviasi standar berdasarkan volume pekerjaan

Isi pekerjaan		Deviasi standar S (kg/cm ²)		
Sebutan	Jumlah beton (m ³)	Baik sekali	baik %	Dapat diterima
Kecil	< 1000	45 < S < 55	55 < S < 65	65 < S < 85
Sedang	1000 - 3000	35 < S < 45	45 < S < 55	55 < S < 75
Besar	> 3000	25 < S < 35	35 < S < 45	45 < S < 65

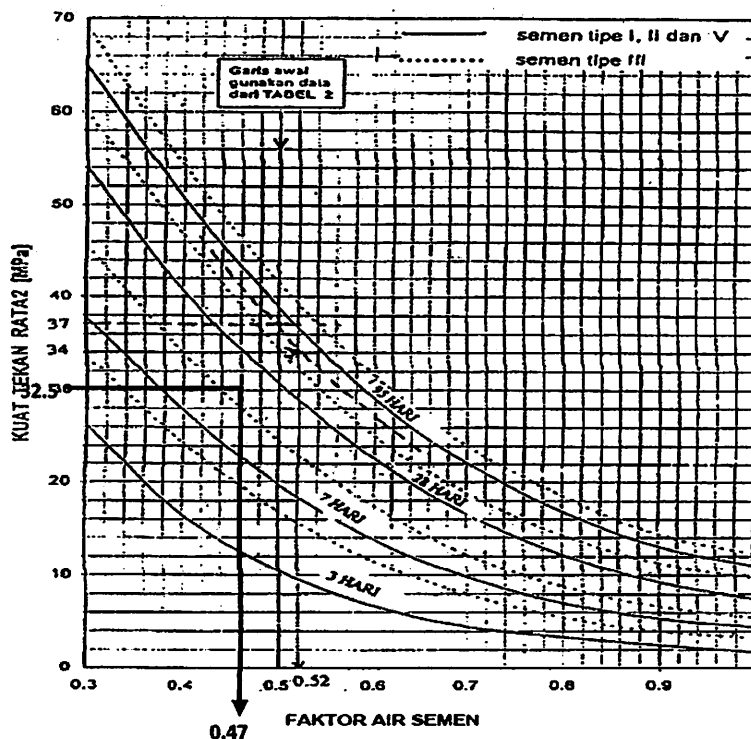
Tabel 2 Kuat tekan rata-rata perlu jika data tidak tersedia untuk menetapkan deviasi standar

Persyaratan kuat tekan, f'_c MPa	Kuat tekan rata-rata perlu, f'_{cr} MPa
Kurang dari 21	$f'_c + 7,0$
21 sampai dengan 35	$f'_c + 8,5$
lebih dari 35	$f'_c + 10,0$

2. Langkah II :

Menentukan faktor air semen. Faktor air semen di tentukan dengan memplotkan data kuat tekan rencana dan umur rencana pada grafik 1 (benda uji berbentuk silinder) atau grafik 2 (benda uji berbentuk kubus persegi) SNI 03-2834-1993.

Setelah memplotkan data-data pada grafik 1(benda uji silinder), diperoleh faktor air semen sebesar 0.47.



Grafik 1 hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

3. Langkah III :

Menentukan kadar air bebas. Kadar air bebas ditentukan berdasarkan tabel 21, menurut data-data yang telah ditetapkan yaitu berupa ukuran agregat maksimum, jenis agregat kasar, jenis agregat halus, dan nilai slump rencana.

Penentuan besar kadar air bebas adalah :

$$2/3 W_h + 1/3 W_k$$

Dimana : W_h = jumlah air bebas agregat halus.

W_k = jumlah air bebas agregat kasar.

Ukuran maksimum 10 mm, agregat halus; alami, agregat kasar; batu pecah, dan nilai slump rencana 60-180 mm. Dari tabel 21 diperoleh :

$$W_h = 225 \text{ kg/m}^3$$

$$W_k = 250 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Maka kadar air bebas} = (2/3 \times 225) + (1/3 \times 250) = 233.33 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 3 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	---	---	---	---
10	batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	batu pecah	180	205	230	250
20	batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	batu pecah	170	190	210	225
40	batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	batu pecah	155	175	190	205

4. Langkah IV :

Menentukan jumlah semen. Jumlah semen ditentukan berdasarkan rumus :

$$\text{Jumlah semen} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air semen}}$$

$$\text{Maka, jumlah semen adalah} = 233.33/0.47 = 496.45 \text{ kg/m}^3$$

5. Langkah V :

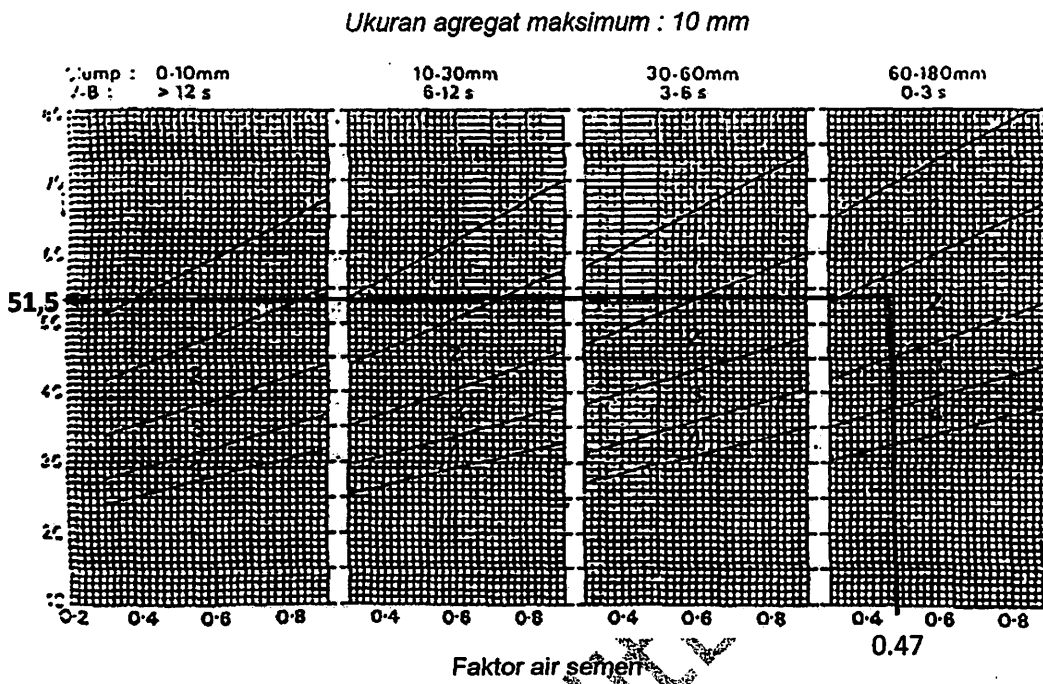
Menentukan proporsi agregat halus dan agregat kasar. Dalam menentukan proporsi agregat halus dan agregat kasar data-data yang telah diperoleh berupa; faktor air semen, slump rencana dan zona pasir, diplotkan pada grafik-grafik berikut (berdasarkan ukuran maksimum agregat). Yaitu : grafik 13 (agregat kasar maks. 10 mm), grafik 14 (agregat kasar maks. 20 mm) dan grafik 15 (agregat kasar maks. 40 mm) SNI 03-2834-1993.

Faktor air semen : 0.47 Zona Pasir : 2

Slump rencana : 60-180 mm Ukuran agregat kasar maks. = 10 mm

Berdasarkan grafik 13, diperoleh proporsi agregat halus zona 2 berada antara 45.5% - 57.5%. Maka, rata-rata proporsi agregat halus = $(45.5+57.5)/2 = 51.5 \%$

Agregat kasar = $100\% - 51.5\% = 48.5\%$



Grafik 2 hubungan persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butiran maksimum 10 mm

6. Langkah VI :

Menentukan berat jenis agregat gabungan. Berat jenis gabungan = (proporsi agregat halus x berat jenis agregat halus SSD) + (proporsi agregat kasar x berat jenis agregat kasar SSD).

$$G_s \text{ gabungan} = (51.5\% \times 2.73) + (48.5\% \times 2.599) = 2.66$$

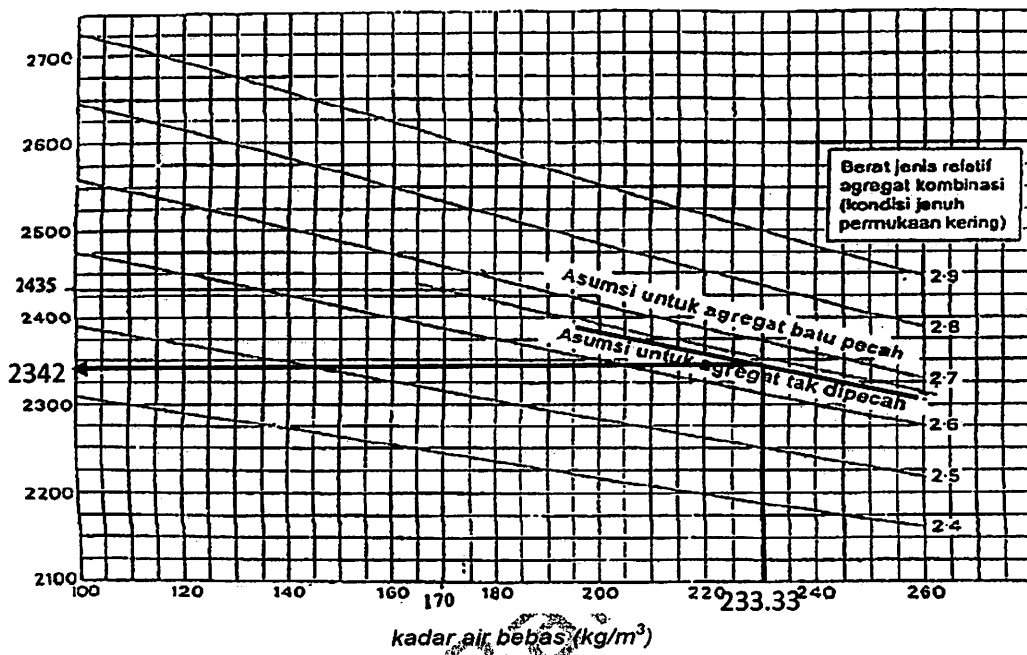
7. Langkah VII :

Menentukan berat jenis beton basah. Berat jenis beton basah dapat diperoleh dengan bantuan grafik. Yaitu dengan memplotkan data kadar air bebas dan berat jenis gabungan pada gambar 4.8 SNI 03-2834-1993.

$$\text{Kadar air bebas} = 233.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat jenis gabungan} = 2.66$$

$$\text{Maka, diperoleh berat jenis beton basah} = 2342 \text{ kg/m}^3$$



Grafik 3 hubungan perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

8. Langkah VIII :

Menentukan total jumlah agregat.

Berat total agregat = berat jenis beton segar – kadar air – jumlah semen rencana.

$$\text{Yaitu : } 2342 - (233.33 + 496.5) = 1612.17 \text{ kg/m}^3$$

Maka :

$$\text{Berat agregat halus} = 51.5\% \times 1612.17 = 830.26 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat agregat kasar} = 48.5\% \times 1612.17 = 781.90 \text{ kg/m}^3$$

9. Langkah IX :

Menentukan komposisi campuran beton kondisi lapangan

$$\text{Kadar air agregat halus} = 3.556 \%$$

$$\text{Kadar air agregat kasar} = 1.423 \%$$

$$\text{Penyerapan agregat halus} = 0.959 \%$$

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = 3.695 \%$$

Kelebihan air pada agregat halus

$$\begin{aligned} &= \frac{100 + Wc \text{ asli}}{100 + Wc \text{ ssd}} \times \text{Berat agregat halus} \\ &= ((100 + 3.556)/(100 + 1.164)) \times 830.26 = 849.89 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Kelebihan air pada agregat kasar

$$\begin{aligned} &= \frac{100 + Wc \text{ asli}}{100 + Wc \text{ ssd}} \times \text{Berat agregat kasar} \\ &= ((100 + 1.423)/(100 + 3.921)) \times 781.90 = 763.105 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah air} = 2342 - (849.89 + 763.105) = 232.505 \text{ kg/m}^3$$

Maka proporsi campuran benda uji per m³ adalah :

Semen	: 496,5 kg/m ³
Agregat halus	: 849.89 kg/m ³
Agregat kasar	: 763.105 kg/m ³
Air	: 232.505 kg/m ³

2. Perhitungan Kebutuhan Bahan Untuk Campuran Beton

$$\text{Volume pekerjaan balok} = 0.10 \times 0.15 \times 3 = 0.045 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pekerjaan silinder} = 1/4 \times \pi \times 0.15^2 \times 0.3 = 0.0053 \text{ m}^3$$

$$\text{Total volume pekerjaan} = 0.045 + 0.0053 = 0.050 \text{ m}^3$$

Untuk menghindari kekurangan bahan campuran yang diperlukan karena berbagai sebab, maka volume pekerjaan diperbesar 5% = 0.052 m³

Sehingga proporsi campuran per benda uji per m³ menjadi :

Semen : 25.82 kg

Agregat halus : 44.19 kg

Agregat kasar : 39.68 kg

Air : 12.09 kg

3. Perhitungan Mutu Beton

Dari hasil *mix design*, dibuat 3 benda uji silinder untuk menentukan kuat tekan rencana perhitungan awal. Dari hasil pengujian dan perhitungan diperoleh mutu beton ($f'c$) = 33.49847 MPa.

Tabel 4 Perhitungan kuat tekan rencana perhitungan

Kode	Berat (kg)	Beban tekan maksimum (N) (P)	Luas bidang tekan (mm ²) (A)	Konversi Uji tekan pada umur 3 hari (β)	Kuat tekan ($f'c$) (MPa) (P/A * β)
BB-1	12.15	220000	17671.46	0.4	31.13942
BB-2	12.15	220000	17671.46	0.4	31.13942
BB-3	12.15	270000	17671.46	0.4	38.21656
Rata - rata					33.49847

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	:	Skripsi	Tanggal Pengamatan	:	23/07-2011
Benda Uji	:	Balok	Mutu Beton	:	27.16 MPa.
Dimensi	:	100x150x3000 mm	Mutu Baja	:	403.62 MPa.
Kode Benda Uji	:	BN-IA	Penulangan	:	3Ø7.4 Tarik 2Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	222	0.00
2	2	65.40	0.64	265	0.43
3	4	111.40	1.09	288	0.66
4	6	157.40	1.54	319	0.97
5	8	203.40	2.00	367	1.45
6	10	249.40	2.45	418	1.96
7	12	295.40	2.90	492	2.70
8	14	341.40	3.35	564	3.42
9	16	387.40	3.80	666	4.44
10	18	433.40	4.25	749	5.27
11	20	479.40	4.70	865	6.43
12	22	525.40	5.15	970	7.48
13	24	571.40	5.61	1063	8.41
14	26	617.40	6.06	1115	8.93
15	28	663.40	6.51	1244	10.22
16	30	709.40	6.96	1328	11.06
17	32	755.40	7.41	1429	12.07
18	34	801.40	7.86	1526	13.04
19	36	847.40	8.31	1626	14.04
20	38	893.40	8.76	2213	19.91

LEBAR RETAK	:	$9.2 \times 0.2 = 1.84$ mm
POSISI	:	72 g Kiri
PANJANG RETAK	:	8.37 cm

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	:	Skripsi	Tanggal Pengamatan	:	22/07-2011
Benda Uji	:	Balok	Mutu Beton	:	39.61 MPa.
Dimensi	:	100x150x3000 mm	Mutu Baja	:	403.62 MPa.
Kode Benda Uji	:	BN-IB	Penulangan	:	3Ø7.4 Tarik 2Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	34	0.00
2	2	65.4	0.64	65	0.31
3	4	111.4	1.09	94	0.60
4	6	157.4	1.54	135	1.01
5	8	203.4	2.00	186	1.52
6	10	249.4	2.45	249	2.15
7	12	295.4	2.90	326	2.92
8	14	341.4	3.35	439	4.05
9	16	387.4	3.80	494	4.60
10	18	433.4	4.25	607	5.73
11	20	479.4	4.70	726	6.92
12	22	525.4	5.15	853	8.19
13	24	571.4	5.61	956	9.22
14	26	617.4	6.06	1053	10.19
15	28	663.4	6.51	1151	11.17
16	30	709.4	6.96	1234	12.00
17	32	755.4	7.41	1324	12.90
18	34	801.4	7.86	1424	13.90
19	36	847.4	8.31	1523	14.89
20	38	893.4	8.76	1625	15.91

LEBAR RETAK	:	1.50 mm
POSISI	:	74 g Kiri
PANJANG RETAK	:	10.1 cm

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	: Skripsi	Tanggal Pengamatan	: 24/07-2011
Benda Uji	: Balok	Mutu Beton	: 32.80 MPa.
Dimensi	: 100x150x3000 mm	Mutu Baja	: 403.62 MPa.
Kode Benda Uji	: BB-IA	Penulangan	: 3Ø7.4 Tarik 3Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	-5	0.00
2	2	65.4	0.64	-35	0.30
3	4	111.4	1.09	-64	0.59
4	6	157.4	1.54	-93	0.88
5	8	203.4	2.00	-142	1.37
6	10	249.4	2.45	-193	1.88
7	12	295.4	2.90	-290	2.85
8	14	341.4	3.35	-377	3.72
9	16	387.4	3.80	-480	4.75
10	18	433.4	4.25	-566	5.61
11	20	479.4	4.70	-632	6.27
12	22	525.4	5.15	-746	7.41
13	24	571.4	5.61	-830	8.25
14	26	617.4	6.06	-919	9.14
15	28	663.4	6.51	-997	9.92
16	30	709.4	6.96	-1087	10.82
17	32	755.4	7.41	-1156	11.51
18	34	801.4	7.86	-1246	12.41
19	36	847.4	8.31	-1340	13.35
20	38	893.4	8.76	-1437	14.32

LEBAR RETAK	: $9.5 \times 0.2 = 1.9 \text{ mm}$
POSISI	: 72 f Kanan
PANJANG RETAK	: 14.2 cm

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	: Skripsi	Tanggal Pengamatan	: 24/07-2011
Benda Uji	: Balok	Mutu Beton	: 30.56 MPa.
Dimensi	: 100x150x3000 mm	Mutu Baja	: 403.62 MPa.
Kode Benda Uji	: BB-IB	Penulangan	: 3Ø7.4 Tarik 3Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	-5	0.00
2	2	65.4	0.64	-35	0.30
3	4	111.4	1.09	-67	0.62
4	6	157.4	1.54	-94	0.89
5	8	203.4	2.00	-126	1.21
6	10	249.4	2.45	-174	1.69
7	12	295.4	2.90	-259	2.54
8	14	341.4	3.35	-350	3.45
9	16	387.4	3.80	-442	4.37
10	18	433.4	4.25	-555	5.50
11	20	479.4	4.70	-634	6.29
12	22	525.4	5.15	-739	7.34
13	24	571.4	5.61	-827	8.22
14	26	617.4	6.06	-916	9.11
15	28	663.4	6.51	-999	9.94
16	30	709.4	6.96	-1090	10.85
17	32	755.4	7.41	-1177	11.72
18	34	801.4	7.86	-1263	12.58
19	36	847.4	8.31	-1364	13.59
20	38	893.4	8.76	-1463	14.58

LEBAR RETAK	: $5.5 \times 0.2 = 1.1$ mm
POSISI	: 75 f Kiri
PANJANG RETAK	: 14.3 cm

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	: Skripsi	Tanggal Pengamatan	: 24/07-2011
Benda Uji	: Balok	Mutu Beton	: 37.06 MPa.
Dimensi	: 100x150x3000 mm	Mutu Baja	: 403.62 MPa.
Kode Benda Uji	: BB-2A	Penulangan	: 3Ø7.4 Tarik 4Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	-155	0.00
2	2	65.4	0.64	-180	0.25
3	4	111.4	1.09	-214	0.59
4	6	157.4	1.54	-251	0.96
5	8	203.4	2.00	-333	1.78
6	10	249.4	2.45	-415	2.60
7	12	295.4	2.90	-497	3.42
8	14	341.4	3.35	-579	4.24
9	16	387.4	3.80	-640	4.85
10	18	433.4	4.25	-713	5.58
11	20	479.4	4.70	-795	6.40
12	22	525.4	5.15	-890	7.35
13	24	571.4	5.61	-991	8.36
14	26	617.4	6.06	-1099	9.44
15	28	663.4	6.51	-1177	10.22
16	30	709.4	6.96	-1274	11.19
17	32	755.4	7.41	-1373	12.18
18	34	801.4	7.86	-1460	13.05
19	36	847.4	8.31	-1538	13.83
20	38	893.4	8.76	-1630	14.75
21	40	939.4	9.22	-1734	15.79
22	42	985.4	9.67	-2170	20.15

LEBAR RETAK	: $13.5 \times 0.2 = 2.7$ mm
POSISI	: 75 f Kanan
PANJANG RETAK	: 12.8 cm

HASIL PENGAMATAN LENDUTAN

Pekerjaan	: Skripsi	Tanggal Pengamatan	: 24/07-2011
Benda Uji	: Balok	Mutu Beton	: 28.29 MPa.
Dimensi	: 100x150x3000 mm	Mutu Baja	: 403.62 MPa.
Kode Benda Uji	: BB-2B	Penulangan	: 3Ø7.4 Tarik 4Ø7.4 Tekan

No.	Beban proving ring	Beban (kg)	Beban (kN)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)
1	0	0	0.00	-66	0.00
2	2	65.4	0.64	-96	0.30
3	4	111.4	1.09	-129	0.63
4	6	157.4	1.54	-165	0.99
5	8	203.4	2.00	-203	1.37
6	10	249.4	2.45	-297	2.31
7	12	295.4	2.90	-392	3.26
8	14	341.4	3.35	-484	4.18
9	16	387.4	3.80	-598	5.32
10	18	433.4	4.25	-687	6.21
11	20	479.4	4.70	-784	7.18
12	22	525.4	5.15	-867	8.01
13	24	571.4	5.61	-977	9.11
14	26	617.4	6.06	-1083	10.17
15	28	663.4	6.51	-1167	11.01
16	30	709.4	6.96	-1254	11.88
17	32	755.4	7.41	-1340	12.74
18	34	801.4	7.86	-1438	13.72
19	36	847.4	8.31	-1526	14.60
20	38	893.4	8.76	-1620	15.54
21	40	939.4	9.22	-2291	22.25
22	42	985.4	9.67	-2650	25.84

LEBAR RETAK	: $7.4 \times 0.2 = 1.48$ mm
POSISI	: 71 g Kanan
PANJANG RETAK	: 13.4 cm

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Pekerjaan	:	Skripsi	Komposisi campuran per m ³	
Benda Uji	:	Silinder	Semen	: 496.50 kg/m ³
Dimensi	:	Ø150, t = 300 mm	Air	: 232.505 kg/m ³
Jumlah Benda Uji	:	20 Buah	Agregat kasar	: 763.105 kg/m ³
			Agregat halus	: 849.89 kg/m ³

No	Kode silinder	Benda uji	Tanggal pengujian	Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban tekan (kn)	Kuat tekan (Mpa)
1	M1	2Ø7.4-2Ø7.4 A	15/7-2011	31	12.58	580	32.8
2	M2	2Ø7.4-2Ø7.4 B			12.58	525	29.7
3	M3	3Ø7.4-2Ø7.4 A			12.57	480	27.16
4	M4	3Ø7.4-2Ø7.4 B			12.69	700	39.61
5	M5	3Ø7.4-3Ø7.4 A	15/7-2011	29	12.66	580	32.8
6	M6	3Ø7.4-3Ø7.4 B			12.64	540	30.56
7	M7	2Ø7.4-3Ø7.4 A			12.49	620	35.08
8	M8	2Ø7.4-3Ø7.4 B			12.74	540	30.56
9	M9	3Ø7.4-4Ø7.4 A	16/7-2011	28	12.81	655	37.06
10	M10	3Ø7.4-4Ø7.4 B			12.44	500	28.29
11	M11	2Ø7.4-4Ø7.4 A			12.59	460	26.03
12	M12	2Ø7.4-4Ø7.4 B			12.44	580	32.8
13	M13	3Ø7.4-5Ø7.4 A	18/7-2011	28	12.42	520	29.42
14	M14	3Ø7.4-5Ø7.4 B			11.96	435	24.61
15	M15	2Ø7.4-5Ø7.4 A			12.38	445	25.18
16	M16	2Ø7.4-5Ø7.4 B			12.04	470	26.59
17	M17	3Ø7.4-6Ø7.4 A	20/7-2011	28	11.91	315	17.82
18	M18	3Ø7.4-6Ø7.4 B			12.01	400	22.63
19	M19	2Ø7.4-6Ø7.4 A			12.72	680	38.48
20	M20	2Ø7.4-6Ø7.4 B			12.60	480	27.16
Rata-rata							29.71

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. KATA KAKANGLU KM. 2 TASIK MALU - MALANG
 TELP. (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

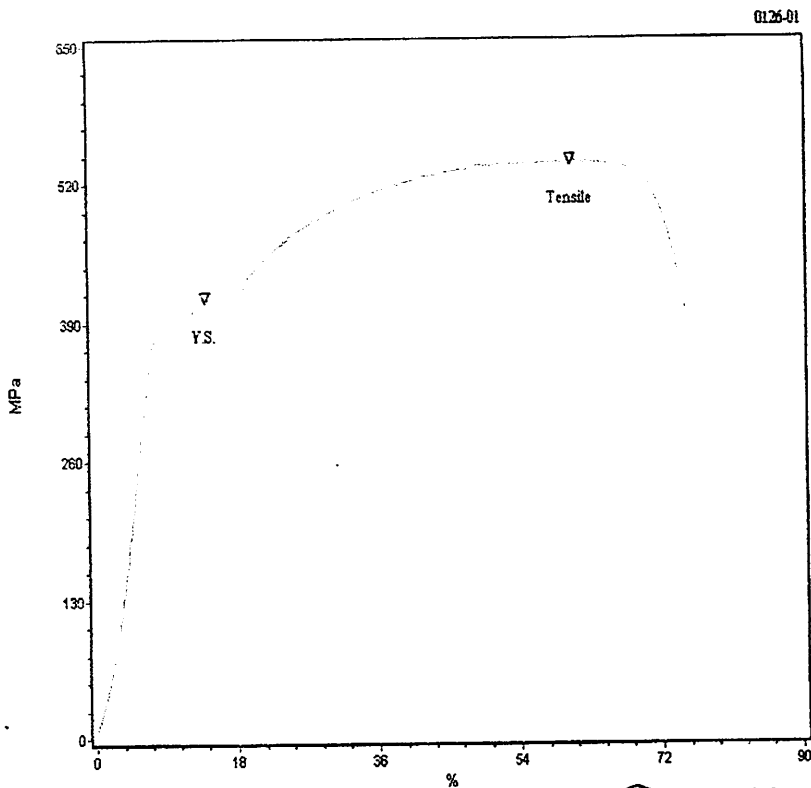
Test No.: 0126

Test Description : TENSILE

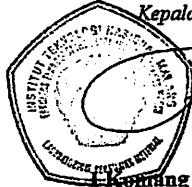
Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

No.	SPECIMEN	Area (mm ²)	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 7.4.A	43.01	23324.00	413.34	542.31	75.29



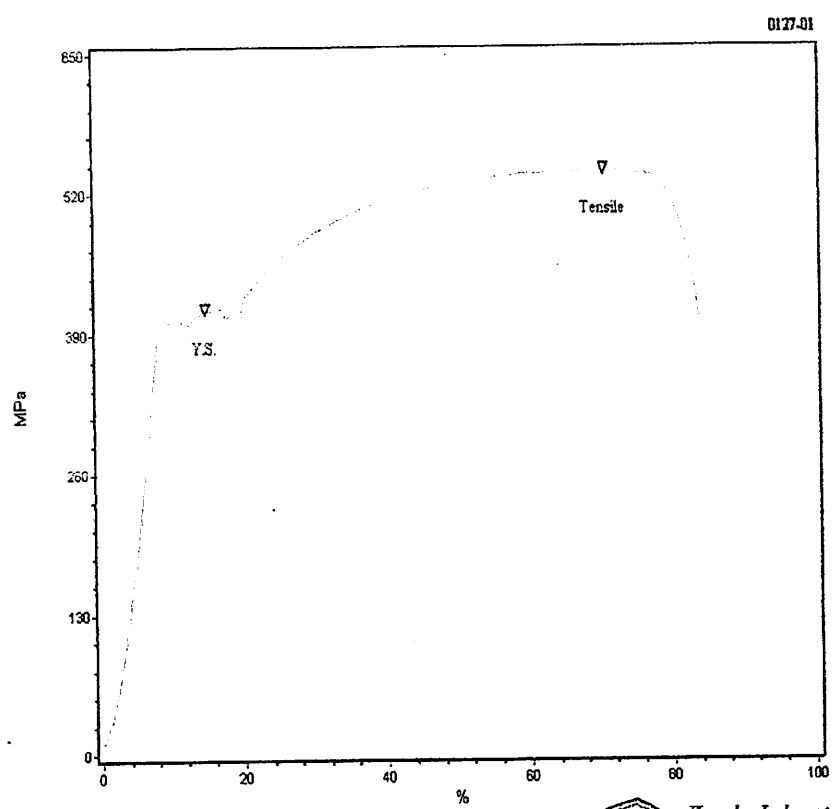
Kepala Laboratorium :


[Signature]
Edwaning Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

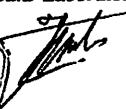
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. KAYA KAHANGLU KM. 2 TIASIK MALU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

Test No.: 0127	Test Description : TENSILE	Standard : ASTM A370	Test Date: 06/27/2011			
No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 7.4 . B	43.01	23304.40	414.03	541.86	83.91



Kepala Laboratorium :


Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. KATA KAHANGLU KM. 2 JASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417834, 417835, 417837 FAX: 0341-417834
 2011

TEST REPORT

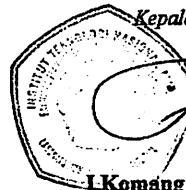
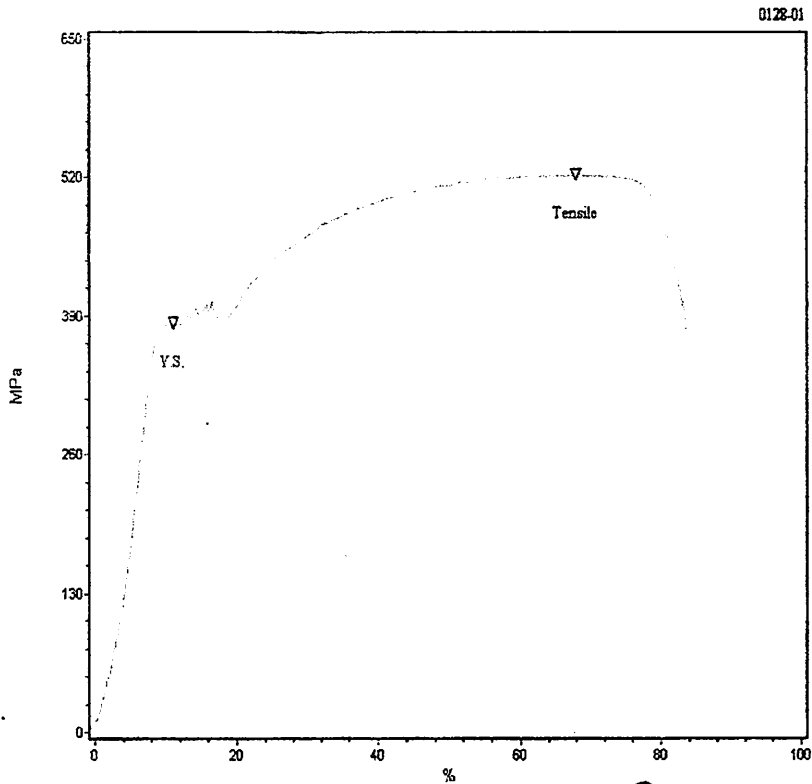
Test No.: 0128

Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 7.4.C	43.01	22481.20	383.49	522.72	83.64



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST, MT
 NIP. Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. PATA KAMPUNG KM. 2 TASEK MALU - MALANG
 TELP: (0341) 417834, 417836, 417637 FAX: 0341 - 417834
 2011

TEST REPORT

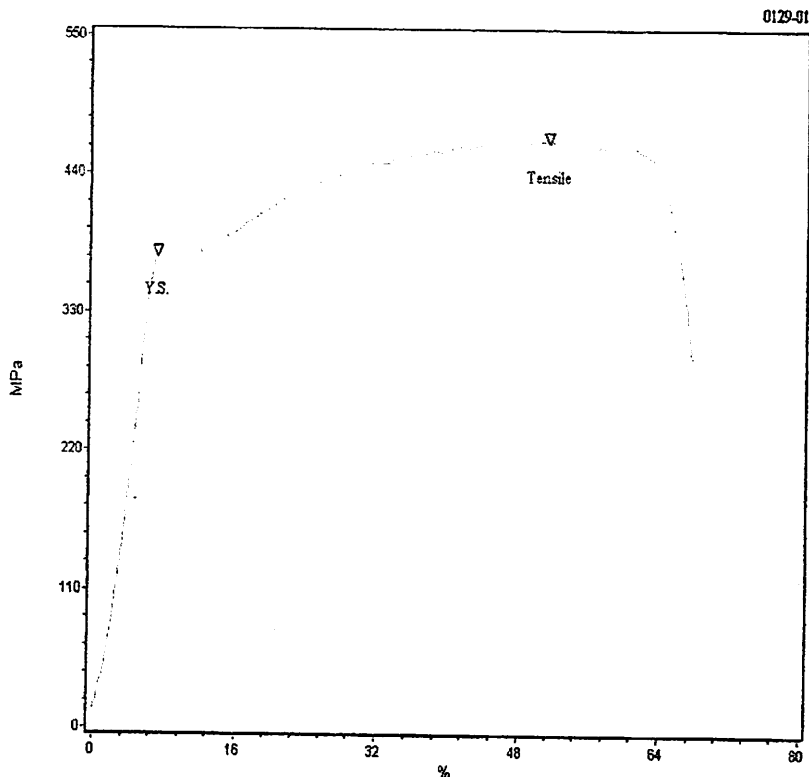
Test No.: 0129

Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 5.4 A	22.90	10740.80	378.27	468.99	67.56



Kepala Laboratorium :



Komang Astana Widi, ST, MT
 NIP. Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JL. PATA KAKANGLU KM. 2 TASEK MALU - MALANG
 TELP. (0341) 417834, 417638, 417637 FAX: 0341-417834
 2211

TEST REPORT

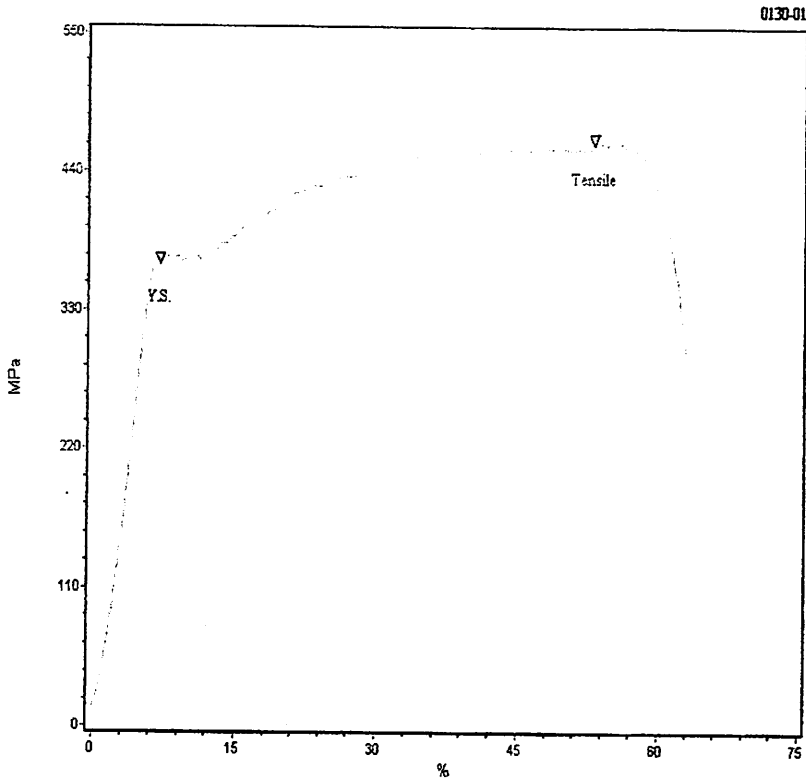
Test No.: 0130

Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

No.	SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 5.4.B	22.90	10667.30	370.99	465.78	62.93



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi, ST, MT
 NIP. Y. 1030400405

LABORATORIUM UJI MATERIAL
 JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
KAMPUS II JIL. KATA KANANGLU KIL. 2 JASRIK MALU - MALANG
 TELP: (0341) 417834, 417630, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

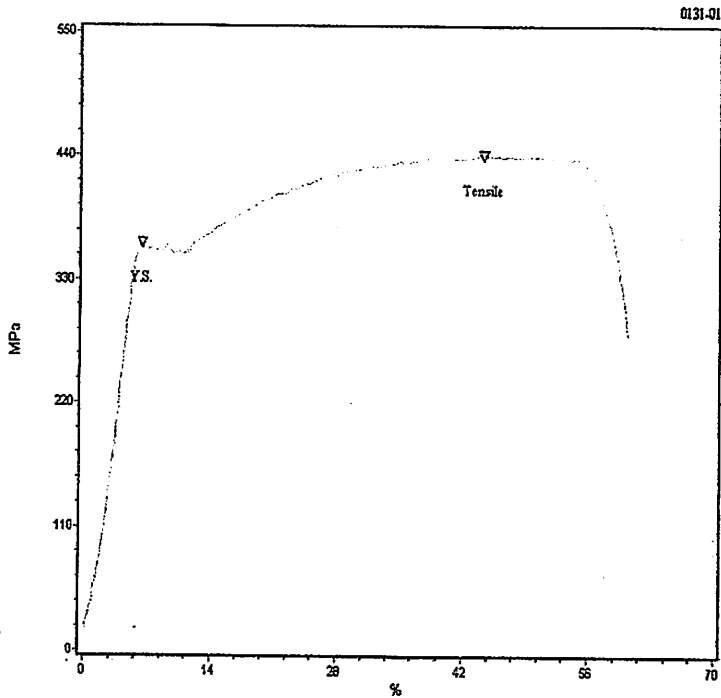
Test No.: 0131

Test Description: TENSILE


Standard: ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

No.	SPECIMEN	Area (mm ²)	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
1	BAJA POLOS 5.4 C	22.90	10089.10	361.58	440.53	60.36



Kepala Laboratorium :


Komang Astana Widi, ST.MT
 NIP Y. 1030400405

LAMPYRANE

(Surat, lembar asistensi dan lembar revisi)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

Fax. (0341) 553015, Pesawat 230

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø8

(VARIASI TULANGAN TEKAN 3Ø8 & 4Ø8)

NAMA : Felix Aribus Talan
NIM : 03.21.086
JURUSAN : Teknik Sipil S-1
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Andrianus Agus Santosa, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
1.	20/7 - '11	- Lembar ket. alat yg dipakai serta foto alatnya. - analisa teoritis lembaran - Uraian uraian qbr di atas penyelesaian	
2	4/8 - '11	- Gd perh mix design Lanjutan teoritis - Analisa balok normal < qbr > betulkan. - Pak. P. - ' -	
3	9/8 - '11	- Satuan yg dipakai satu macam saja	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

Fax. (0341) 553015, Pesawat 230

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø7.4

(VARIASI TULANGAN TEKAN 3Ø7.4 & 4Ø7.4)

NAMA : Felix Aribus Talan
NIM : 03.21.086
JURUSAN : Teknik Sipil S-1
DOSEN PEMBIMBING : Ir. Andrianus Agus Santosa, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
4	11 - 11 - '11	- Rincian perh. hvasp ditu lis - Sempurnakan perh. - tambahkan semua catatan	
5	23 - 11 - '11	- grafik elsp & teoritis digabung.	
6	26 - 11 - '11	- grafik yg dijabari diganti yg bentuknya gms lurus tanpa joint ²	
7	27 - 11 - '11	- gbr grafik ok. Lanjutkan kesimpulan.	
11	12 - 12 - '11	acc. bin seminar hasil.	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

Fax. (0341) 553015, Pesawat 230

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø7.4

(VARIASI TULANGAN TEKAN 3Ø7.4 & 4Ø7.4)

NAMA : Felix Aribus Talan
 NIM : 03.21.086
 JURUSAN : Teknik Sipil S-1
 DOSEN PEMBIMBING : Ir. H.Sudirman Indra, Msc

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
	12/12/04	<p>Player: kebesaran teori, lendutan balok Teori: Model</p>	

Catatan:

Kenapa gbr yg ada buat ps loop.
 tul tekan > dari ps nel kmb?



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

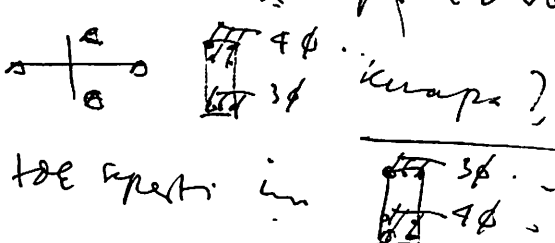

Fax. (0341) 553015, Pesawat 230

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø7.4

(VARIASI TULANGAN TEKAN 3Ø7.4 & 4Ø7.4)

NAMA : Felix Aribus Talan
 NIM : 03.21.086
 JURUSAN : Teknik Sipil S-1
 DOSEN PEMBIMBING : Ir. H.Sudirman Indra, Msc

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
	20 12 011	<p>- buku dasar. Peneliti buku gelagar d. model tul - yg not a hit</p> <p>- konsep bordir mini tsi a model ok wayung keratan.?</p> <p>- gambar. Pada rebar secara keblunder beam in Uinend upy. keratan.</p> <p>  </p>	

20
12 011

Konsep di bordir kelat
 serit. Kol. kerapan
 not serit - serit ?

20



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

Fax. (0341) 553015, Pesawat 230

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3Ø7.4

(VARIASI TULANGAN TEKAN 3Ø7.4 & 4Ø7.4)

NAMA : Felix Aribus Talan
NIM : 03.21.086
JURUSAN : Teknik Sipil S-1
DOSEN PEMBIMBING : Ir. H.Sudirman Indra, Msc

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TANDA TANGAN
		Sana lura 75 A p... ?	
	$\frac{2}{G1}$ 017.	Resinyh y. senior Honi	



FORM REVISI / PERBAIKAN
 BIDANG Penelitian.

Nama : Felix A. Tatan.
 NIM : 83.21.086
 Hari / tanggal : Kamis / 19-01-2012.

Perbaiki materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

- titungan teoritis di pab aiki, $Q_{br} =$ daya dalam
- grafik ? sesuaikan dg tujuan yg diinginkan.
- Buat tabel validasi teori dan praktek.
- kesimpulan di perbaiki (sesuaikan dg tujuan).
- pelajari judul dan tujuan dan kesimpulan

ACE

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, 13-02 2012
 Dosen Pembahas

[Signature]

Malang, 19-01- 2012
 Dosen Pembahas

[Signature]
Josman Pranda



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG STRUKTOR (Penelitian)

Nama : FELIX ARIBUS TALAN

NIM : 03.21.086

Hari / tanggal : Kamis, 19-01-2012

Perbaiki materi Seminar Hasil Tugas Akhir meliputi :

~ Batasan Masalah &

~ rumus $ax^2 + bx + c = 0$ & H_0 / Mengapa

~ uji hipotesis? & \rightarrow pelajari $\leftarrow H_0$ / pakai uji F?

~ cek kesimpulan di Rumusan Masalah & $F_{hit} > F_{tab} ?$

~ grafik / kurva variasi tol. tekan & $F_{hit} < F_{tab} ?$

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, 08-02-2012
 Dosen Pembahas

Malang, 19-01-2012
 Dosen Pembahas



**FORM REVISI / PERBAIKAN
 BIDANG _____**

Nama : F. ARIBUS T
 NIM : 0321086
 Hari / tanggal : _____ / _____

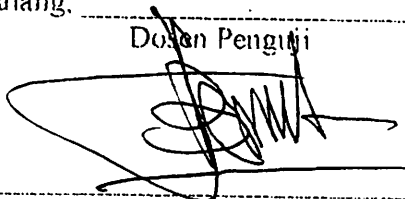
Perbaiki materi Skripsi meliputi :

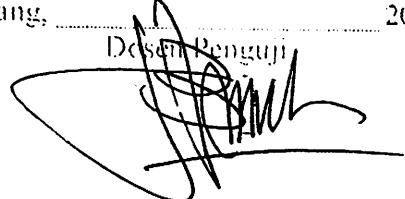
- > Abstraksi, sampurnalean (ihal. penuh)
- > grafik teoritis sama
- > grafik lendutan teoritis tolk sama sama.

Alle

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2010
 Dosen Penguji

 (_____)

Malang, _____ 201
 Dosen Penguji

 (_____)



FORM REVISI / PERBAIKAN

BILANG Penelitian

Nama : Felix Akibus Talan
 NIM : 03.21.086
 Hari / tanggal : Senin / 20-02-2012

Perbaikan materi Skripsi meliputi .

- Kesimpulan di perbaiki lagi
- Tulisan $\frac{1}{2}$ satuan di perbaiki MPa bukan Mpa.
- Foto $\frac{1}{2}$ pd. Bab pembahasan Langkah dg uraian dan uraian test PaB TS.
- pelajaran? beda $f'c$ dan f_c .

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

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, 02/03 2012
 Dosen Penguji

[Signature]

Malang, 20-02 - 2012
 Dosen Penguji

[Signature]
 (Yotimsan Manalia)



SURAT KETERANGAN

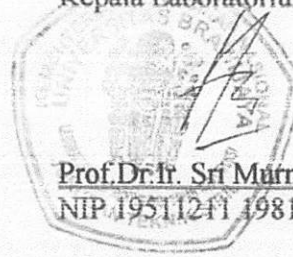
No : /LBK.FT/X/2011

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Menerangkan bahwa :

Nama : Felix A. Talan
Nim : 03.21.086
Lembaga : Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional

Telah melakukan pengujian kuat lentur Balok di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi pada bulan Juli 2011
Demikian Surat Keterangan ini untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 31 Oktober 2011
Kepala Laboratorium



Prof. Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS
NIP.19511241 198103 2 001