

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANG TARIK 3Ø7.4
(VARIASI JUMLAH TULANGAN TEKAN 2Ø7.4 5Ø7.4 dan 6Ø7.4)**



MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

Disusun Oleh :
ANTONIUS SUTRIONO
04.21.093

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

SKRIPSI

PERAGAIAN PERMADANAN JUMLAH TERANGAN TERAK
HABAT LINDUTAN PADA BALOK BERTULANG TARIK 307.4
VARIASI JUMLAH TERANGAN TERAK 307.4 DAN 307.4



(Garis dan)

ANTONIUS SUTIRNO

04.31.003

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MAJALANG

2012

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 ; 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)**

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

Disusun Oleh :


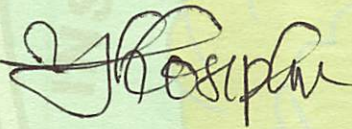
ANTONIUS SUTRIONO

04.21.093

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Yosimson Petrus Manaha, ST, MT

Ir. Togi. H. Nainggolan, MS

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 ; 5 Ø 7,4 DAN 6 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 : Rabu

Tanggal : 22 Februari 2012

Disusun Oleh :

ANTONIUS SUTRIONO

04.21.093

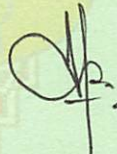
Disahkan Oleh:

Ketua



Ir. H. Hirijanto, MT

Sekretaris



Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT

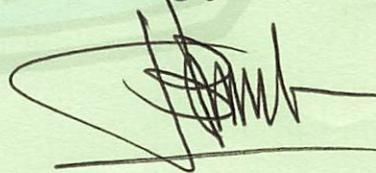
Anggota Penguji :

Penguji I



Ir. Andrianus Agus santosa, MT

Penguji II



Ir. Bambang Wedyantadji, MT

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

PERYATAAN KEASLIAAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

: ANTONIUS SUTRIONO

: 04.21.093

Program Studi : Teknik Sipil

Jurusan : Teknik Sipil Dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul :

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN
TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK**

3Ø7.4

(VARIASI JUMLAH TULANGAN TEKAN 2Ø7.4 5Ø7.4 dan 6Ø7.4)

adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip
menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya

Malang, 2-Februari-2012

Yang Membuat Pernyataan


METERAI
PENGESAHAN
08/11/2012 123186
6000 DJP

(Antonius Sutriono)

ABSTRAK

ANTONIUS SUTRIONO, Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, "PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3 Ø 7,4 (VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)" Dosen Pembimbing : Ir.Togi H.Naingolan, MS dan Yosimson Petrus Manaha, ST, MT.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah *defleksi*. *Defleksi* disini adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya vertikal dalam hal ini elemen struktur tersebut adalah balok yang diberikan beban terpusat, dan diuji kekuatan lenturnya.

Untuk 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.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah tulangan tekan terhadap *defleksi* pada balok bertulangan tarik 3 Ø 7,4 (variasi tulangan tekan 2 Ø 7,4 ; 5 Ø 7,4 dan 6 Ø 7,4).

Berdasarkan parameter *defleksi* 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 *defleksi* 83.23% dan hasil eksperimen balok normal yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *defleksi* 17.17 % dan hasil eksperimen balok variasi 1 yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *defleksi* -63.02%.

Kata Kunci : efektifitas dan *defleksi*

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. Togi H Naigolan, M.S dan Yosimson Petrus Manaha, ST, MT selaku dosen Pembimbing yang telah banyak membantu penulis dengan sumbangan ilmu, masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat bagi penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Mahfud selaku Asisten Laboratorium yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
6. Bapak I Komang Astana Widi, ST., MT selaku Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Mesin ITN Malang yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dalam penelitian ini.
7. Keluarga dan orangtua, yang selalu mendukung studi penulis hingga selesai.

8. 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, Desember 2011

Penulis

ABSTRAK

ANTONIUS SUTRIONO, Program Studi Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, ” **PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP LENDUTAN PADA BALOK BERTULANGAN TARIK 3 Ø 7,4 (VARIASI TULANGAN TEKAN 2 Ø 7,4 ; 5 Ø 7,4 DAN 6 Ø 7,4)**” Dosen Pembimbing : Ir.Togi H.Naingolan, MS dan Yosimson Petrus Manaha, ST, MT.

Salah satu persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah *defleksi*. *Defleksi* disini adalah kemampuan suatu komponen struktur untuk menahan gaya vertikal dalam hal ini elemen struktur tersebut adalah balok yang diberikan beban terpusat, dan diuji kekuatan lenturnya.

Untuk 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.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan jumlah tulangan tekan terhadap *defleksi* pada balok bertulangan tarik 3 Ø 7,4 (variasi tulangan tekan 2 Ø 7,4 ; 5 Ø 7,4 dan 6 Ø 7,4).

Berdasarkan parameter *defleksi* 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 *defleksi* 83.23% dan hasil eksperimen balok normal yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *defleksi* 17.17 % dan hasil eksperimen balok variasi 1 yang dibandingkan dengan hasil teoritis balok variasi 2 terjadi perbedaan *defleksi* -63.02%.

Kata Kunci : efektifitas dan *defleksi*

DAFTAR ISI

	halaman
Halaman Judul.....	I
Lembar Pengesahan.....	II
Kata Pengantar.....	III
Abstrak.....	V
Daftar Isi.....	VI
Daftar Tabel.....	X
Daftar Gambar.....	XIII
Daftar Lampiran.....	XVII
Daftar Arti Lambang dan Singkatan.....	XIIIV
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
4.2.2.	Data dan perhitungan kuat tekan silinder beton.....	46
4.2.3.	Data dan perhitungan kuat tarik baja.....	48
4.3.	Analisis Teoritis.....	49
4.3.1.	Kontrol momen.....	49
4.3.3.1.	Balok normal.....	49
4.3.3.2.	Balok variasi 1.....	52
4.3.3.3.	Balok variasi 2.....	56
4.3.1.	Perhitungan beban (P).....	60
4.3.2.	Perhitungan lebar retak.....	61
4.3.3.	Perhitungan Lendutan.....	62
4.3.4.	Retak Awal.....	78
4.3.5.	Data lab.hasil pengujian lendutan.....	79
4.3.6.	Retak.....	86
4.4.	Pembahasan.....	89
4.4.1.	Mekanisme balok terlentur maksimal.....	89
4.4.2.	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen setiap balok.....	79
4.4.3.	Perbandingan teoritis antar balok.....	91
4.4.4.	Perbandingan eksperimen antar balok.....	96
4.4.5.	Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan.....	98
4.4.6.	Perbandingan lebar retak arah horizontal eksperimen dan teoritis.....	100
4.4.7.	Hubungan beban dan pola retak dengan penambahan tulangan tekan.....	103
4.4.8.	Validasi lendutan teoritis dan eksperimen antar balok.....	103
		114
		122

BAB V

PENUTUP

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

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Tabel 2.1	Ketebalan minimum balok non-prategang atau plat satu arah bila defleksi 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.....	46
Tabel 4.3	Pemeriksaan mutu baja.....	47
Tabel 4.4	Hasil analisis teoritis untuk pembebanan maksimum.....	61
Tabel 4.5	Hasil analisis teoritis lebar retak yang di ijin.....	62
Tabel 4.6	Hasil analisis momen Inersia penampang retak (I_{cr}).....	67
Tabel 4.7	Momen Inersia Timbul Retak Pertama Kali (M_{cr}).....	68
Tabel 4.8	Hasil Analisis Momen Inersia Efektif (I_e) Akibat berat Sendiri dan Beban Terpusat Teoritis.....	69
Tabel 4.9	Hasil Analisis Lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok normal.....	74
Tabel 4.10	Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 1.....	75
Tabel 4.11	Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 2.....	76
Tabel 4.12	Data hasil analisis eksperimen balok normal.....	80
Tabel 4.13	Data hasil eksperimen balok variasi 1.....	82
Tabel 4.14	Data hasil eksperimen balok variasi 2.....	84
Tabel 4.15	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok normal.....	92
Tabel 4.16	Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada Variasi 1.....	93
Tabel 4.17	Perbandingan lendutan teoritis dan pada eksperimen balok variasi 2.....	95
Tabel 4.18	Perbandingan lendutan eksperimen antar balok.....	97
Tabel 4.19	Perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban	

	eksperimen.....	99
Tabel 4.20	Perbandingan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan..	101
Tabel 4.21	Hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan.....	102
Tabel 4.22	Perbandingan lebar retak horisontal eksperimen dan teoritis.....	103
Tabel 4.23	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1A.....	104
Tabel 4.24	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok normal 1B.....	106
Tabel 4.25	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok variasi 1A.....	108
Tabel 4.26	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok variasi 1B.....	110
Tabel 4.27	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2A.....	112
Tabel 4.28	Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban pada balok 2B.....	114

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.....	48
4.2	Diagram regangan dan tegangan balok normal.....	51

4.3	Penampang balok variasi 1.....	52
4.4	Diagram regangan dan tegangan balok variasi 1	54
4.5	Penampang balok variasi 2.....	55
4.6	Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2.....	58
4.7	Sketsa penempatan balok saat pengujian tekan.....	60
4.8	Penampang transformasi balok normal.....	62
4.9	Penampang transformasi balok variasi 1.....	64
4.10	Penampang transformasi balok variasi 2.....	65
4.11	Sketsa penempatan balok.....	70
4.12	Grafik 1 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis balok normal.....	77
4.13	Grafik 2 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis variasi 1....	77
4.14	Grafik 3 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis balok variasi 2.....	78
4.15	Grafik 4 beban-lendutan eksperimen balok normal.....	81
4.16	Grafik 5 Hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 1.....	83
4.17	Grafik 6 Hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 2.....	85
4.18	Grafik 7 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok normal....	92
4.19	Grafik 8 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 1..	94
4.20	Grafik 9 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 2..	96
4.21	Grafik 10 Lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen.....	98
4.22	Grafik 11 Lendutan teoritis dan eksperimen.....	100
4.23	Grafik 12 Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan.....	102
4.24	Grafik 13 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1A.....	105
4.25	Grafik 14 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1B.....	107

4.26	Grafik 15 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1 A.....	109
4.27	Grafik 16 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1 B.....	111
4.28	Grafik 17 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2 A.....	113
4.29	Grafik 18 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2 B.....	115
4.30	Grafik 18 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A dan balok normal 1B (a) teoritis.....	116
4.31	Grafik 19 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A dan balok normal 1B (b) Eksperimen.....	117
4.32	Grafik 20 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A dan balok variasi 1B (a) teoritis.....	118
4.33	Grafik 21 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A dan balok variasi 1B (b) eksperimen.....	119
4.34	Grafik 22 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A dan balok variasi 2B (a) teoritis.....	120
4.35	Grafik 23 pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A dan balok variasi 2B (a) eksperimen.....	121

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

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

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Gambar dimensi cetakan benda uji
- Lampiran 2 Gambar alat-alat percobaan dan dokumentasi kegiatan
- Lampiran 3 Gambar pola retak balok
- Lampiran 4 Hasil uji laboratorium

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 5Ø7.4 dan 6Ø7.4)*”.

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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4 ?
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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4 ?
3. Bagaimana bentuk retak yang terjadi pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4 dengan variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4 ?

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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.
2. Mengetahui bentuk kurva hubungan antara *defleksi* dan penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4, pada variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.

3. Mengetahui bentuk retak yang terjadi akibat penambahan tulangan tekan pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4 dengan variasi tulangan tekan 2Ø7.4, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.

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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.
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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.
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, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4.

1.6. Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

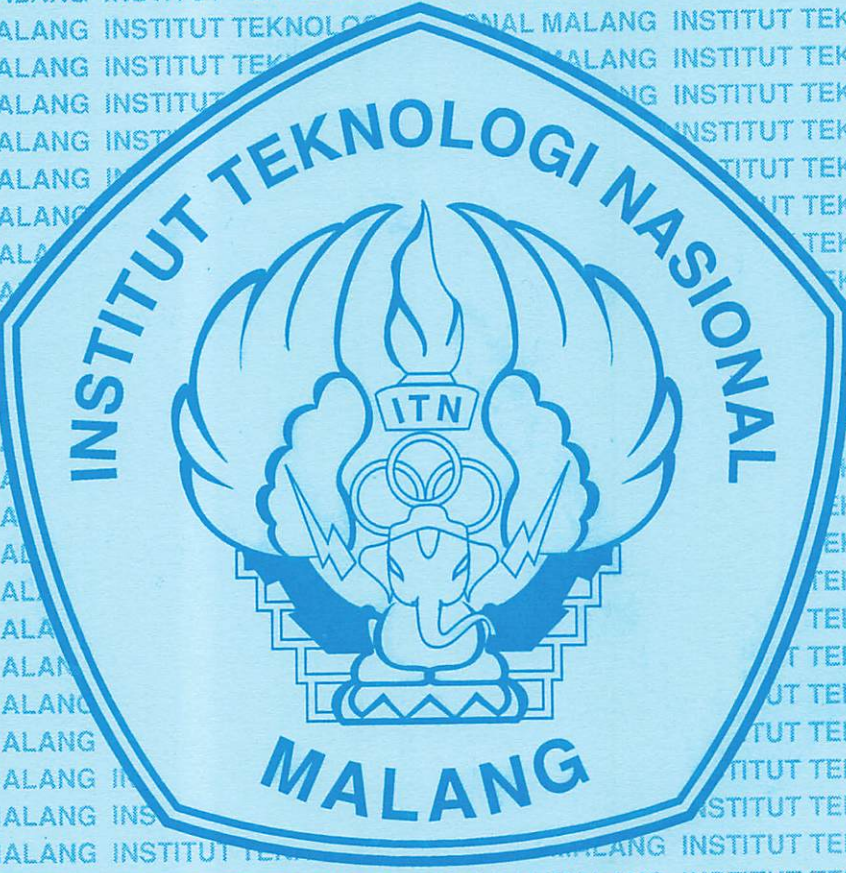
1. H_0 = Terdapat pengaruh pada defleksi akibat penambahan tulangan tekan antara tulangan tekan 2Ø7.4, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4, pada balok bertulangan tarik 3Ø7.4.

2. H_a = Tidak terdapat pengaruh pada defleksi akibat penambahan tulangan tekan antara tulangan tekan 2Ø7.4, 5Ø7.4 dan 6Ø7.4. 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 hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, 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 disintegasi '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.; Tavio; 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 mengaikabtkan 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.; Tavio; 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) :

$$C = T$$

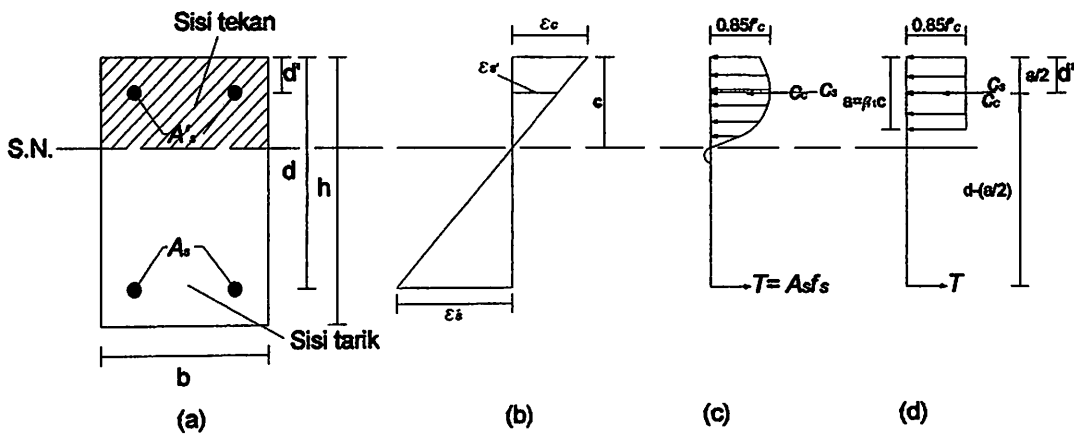
Dimana :

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

$$T = A_s f_y$$

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 ekivalen asumsi.

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

$$T_s = C_c + C_s$$

Dimana :

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

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 ϵ'_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)

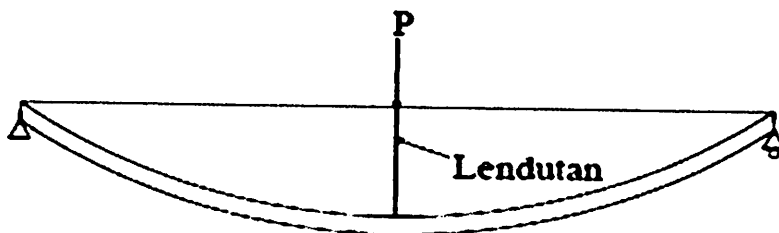
f_y = kekuatan leleh tulangan tarik (Mpa)

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 baton 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

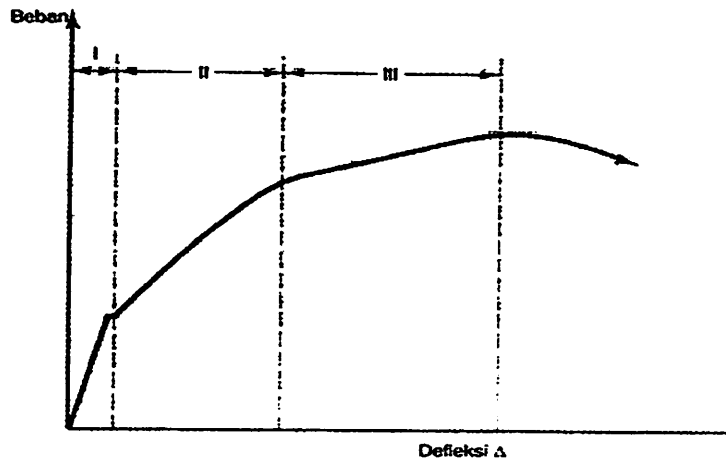
Segmen praretak dari kurva beban-lendutan pada dasarnya merupakan sebuah garis lurus yang menentukan perilaku elastis penuhnya. Tegangan tarik maksimum dalam balok di daerah ini lebih kecil dari kekuatan tariknya terhadap lentur, yaitu lebih kecil dari modulus runtuh beton (f_r).

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.

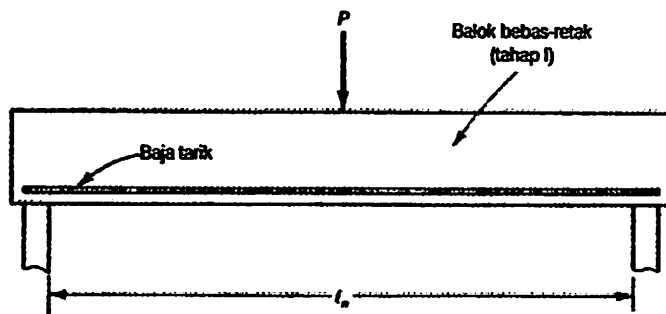
2. Tahap Pasca Retak : Daerah II

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
<p>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 :</p> <p>(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.</p> <p>(b) Untuk f_y selain 400 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4+f_y/700)$</p>				

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

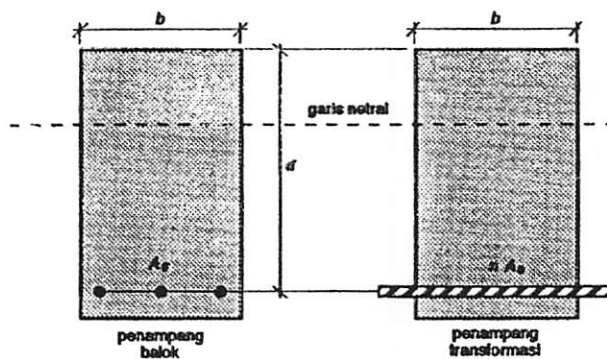
I_g = momen inersia gros ($I_g = bh^3/12$)

$y_t = h/2$, 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 :

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

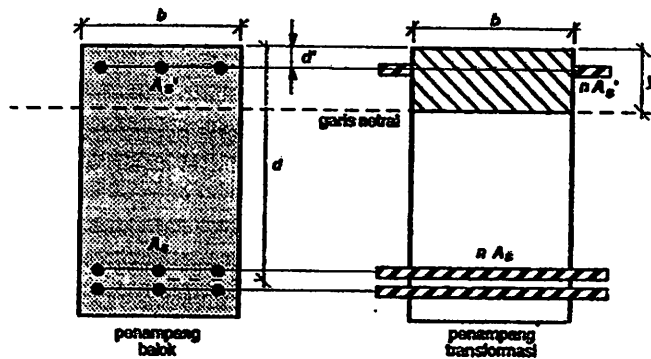
$$E_c = (W_c)^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \text{ atau } E_c = (4700) \sqrt{f'_c}$$

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

dan momen inersia terhadap garis netral dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_{cr} = \frac{1}{3} by^3 + nA_s (d - y)^2$$

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. Lentutan seketika (Short-term/immediate deflection)

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

Perhitungan lentutan 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 lentutan 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

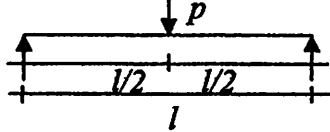
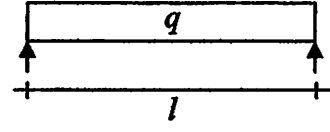
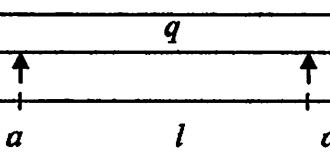
M = momen yang bekerja tepat pada penampang yang ditinjau

M_a = momen maksimum pada komponen struktur saat lentutan dihitung

L_n = panjang bentang bersih

Beberapa rumus perhitungan momen dan lentutan 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).

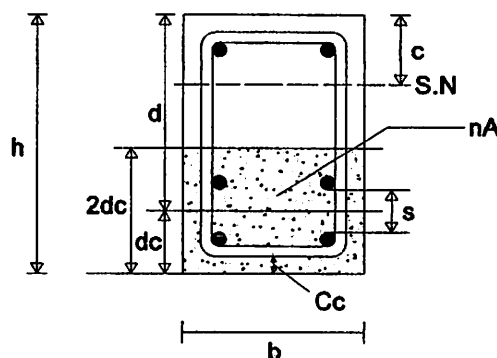
d_c = ketebalan penutup, diukur dari serat tarik ter tepi ke sumbu batang baja tulangan yang terdekat, (mm).

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, (mm^2).

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

b = lebar penampang balok, (mm).

h_r = jarak linear, dua kali jarak dari serat tertarik ter 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 A_{sb} dengan A_s 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

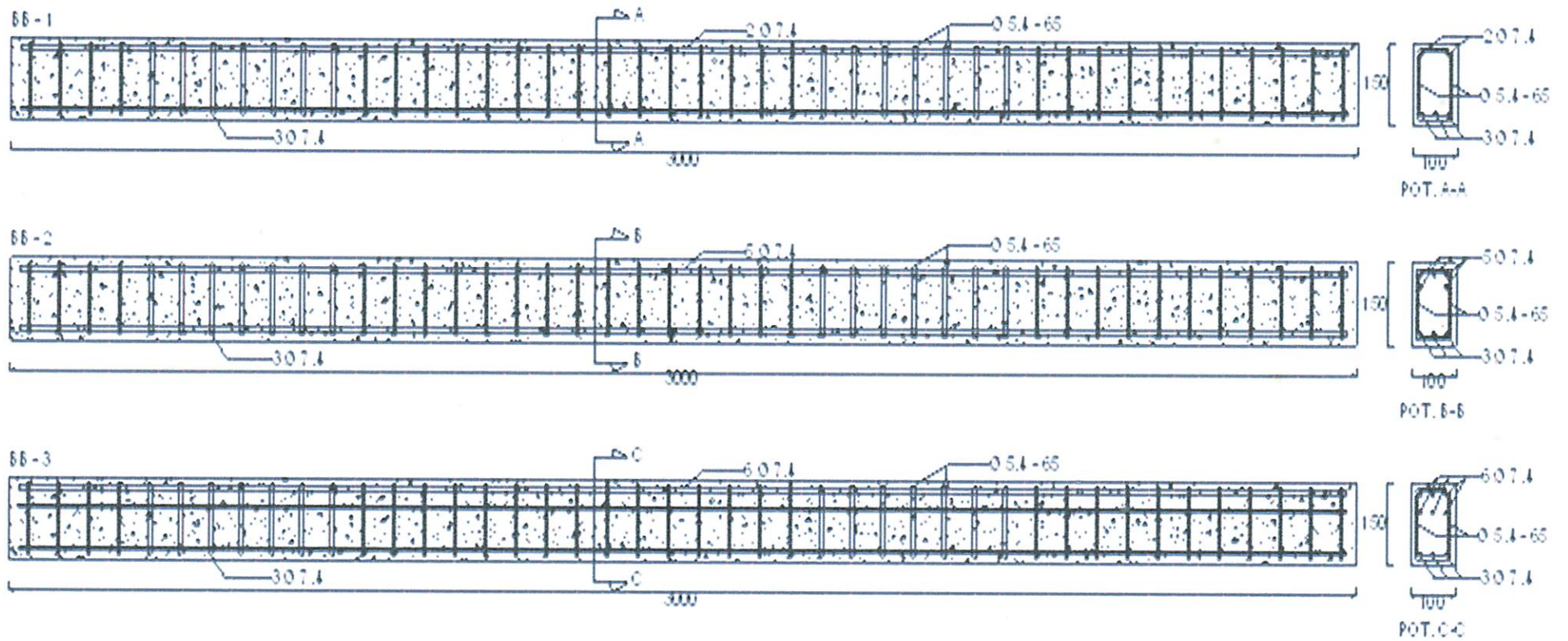
Benda uji berupa balok bertulang berbentuk persegi panjang dengan ukuran 100 x 150 x 3000 mm dengan tiga macam variasi tulangan tekan, yaitu :

1. Dua buah sampel balok normal bertulangan tekan 2Ø7.4, tulangan tarik 3Ø7.4.
2. Dua buah sampel balok variasi tulangan tekan 5Ø7.4 tulangan tarik 3Ø7.4.
3. Dua buah sampel balok variasi tulangan tekan 6Ø7.4 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	5 Ø 7.4	Ø 6 – 65mm	1 lapis	2
BB-2	100x150X3000	3 Ø 7.4	6 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

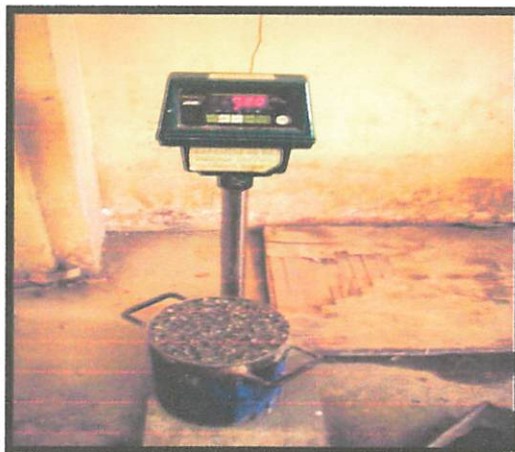
Digunakan untuk mengukur diameter tulangan.



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)

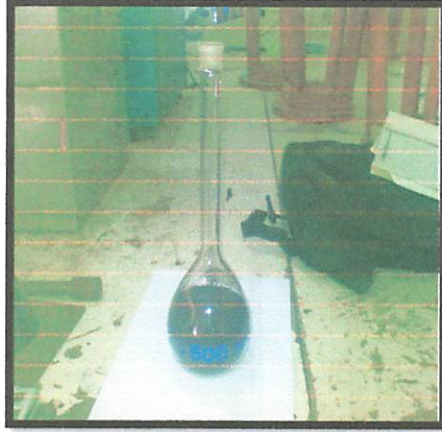
Digunakan untuk mengaduk campuran beton yang akan dibuat.



Gambar 3.5 Mesin Aduk (Molen).

6. Gelas ukur

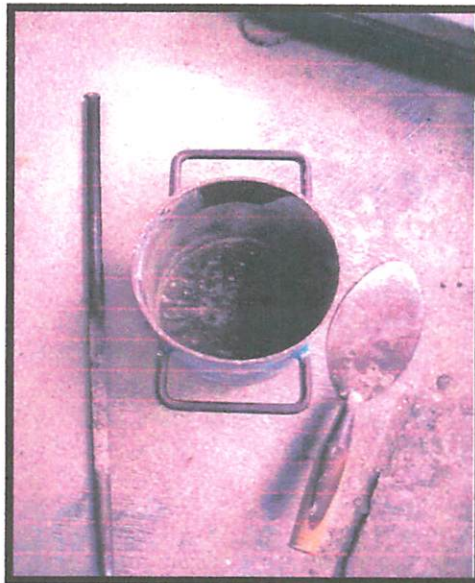
Digunakan untuk menakar jumlah air yang diperlukan.



Gambar 3.6 Gelas Ukur.

7. Kerucut Abrams

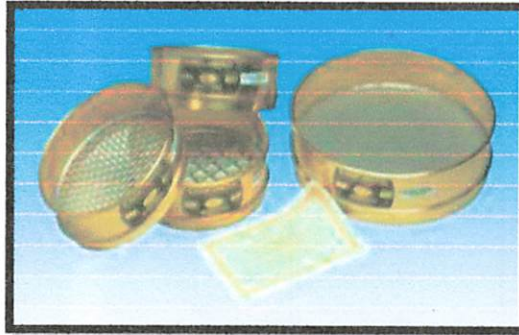
Digunakan untuk mengetahui nilai slump dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm, dan tinggi 300 mm. Alat ini dilengkapi tongkat pemadat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm, yang ujungnya berbentuk bulat.



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.



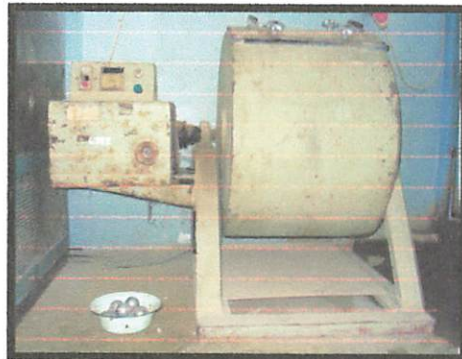
Gambar 3.9 Cetok.

11. Talam

Digunakan untuk menampung agregat dan adukan beton dari molen.

12. Mesin Los Angles

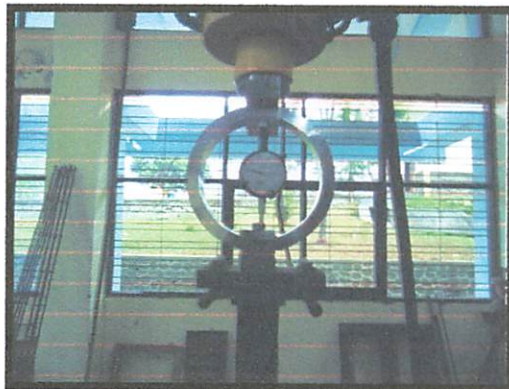
Digunakan untuk Uji keausan agregat, mesin ini dilengkapi dengan 11 buah bola beton.



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

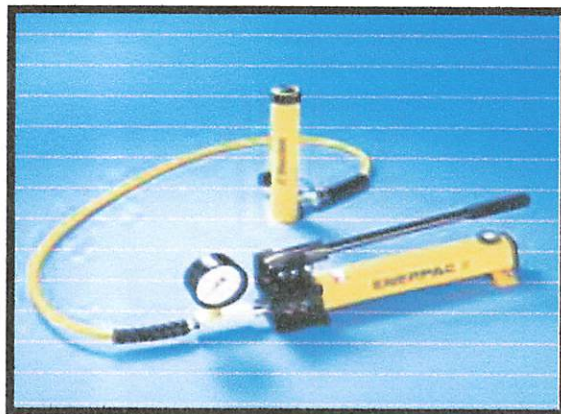
Digunakan sebagai dudukan benda uji



Gambar 3.12 Loading Frame.

15. Hydraulic jack

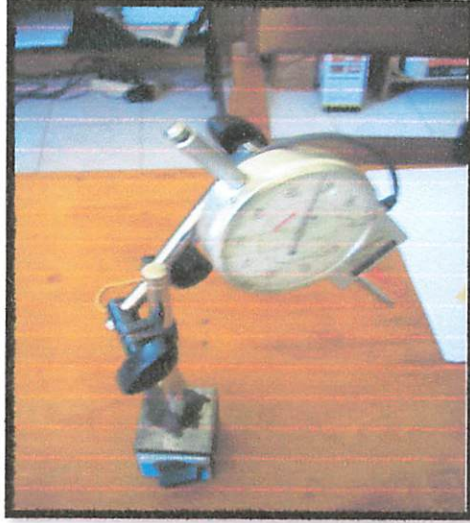
Alat tekan transversal dengan kapasitas 5 ton.



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

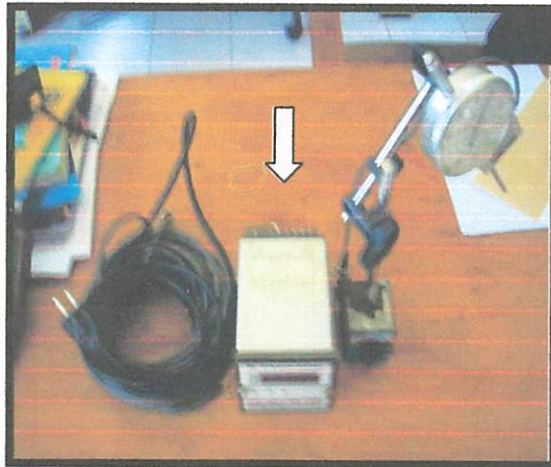
Digunakan untuk mengetahui kuat tekan beton. Alat ini mempunyai kapasitas 1300 kN.



Gambar 3.15 Mesin Uji Tekan.

18. MVD Amplifier

Alat baca digital LVDT



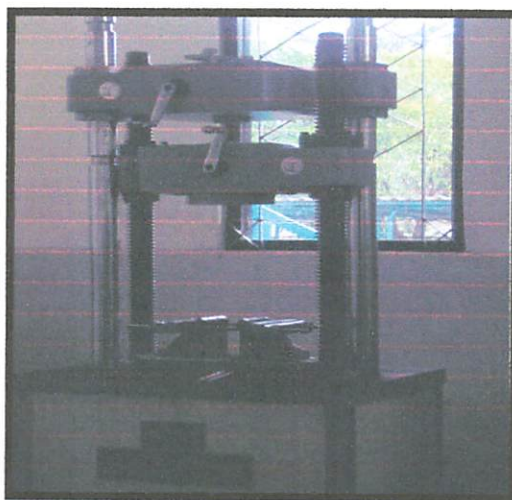
Gambar 3.16 MVD Amplifier.

19. Kamera.

Digunakan untuk dokumentasi penelitian

20. Mesin uji kuat tarik baja

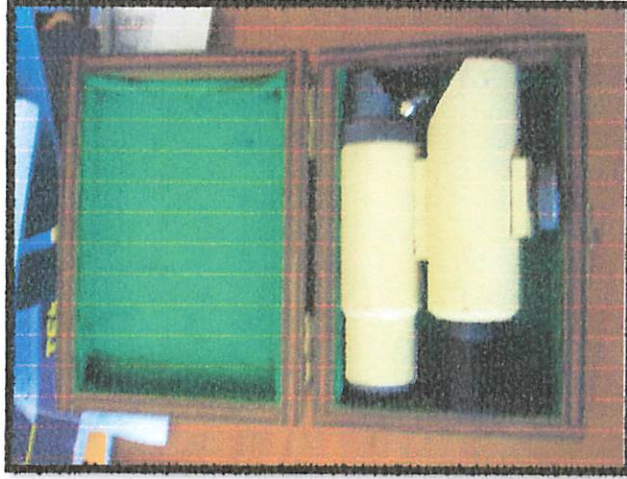
Digunakan untuk mengetahui mutu baja



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 ± 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 $2\emptyset 7.4$ dan tulangan tarik $3\emptyset 7.4$ sebanyak 2 buah, yang kedua balok dengan variasi tulangan tekan $5\emptyset 7.4$ dan tulangan tarik $3\emptyset 7.4$ sebanyak 2 buah, dan yang ketiga balok dengan variasi tulangan tekan $6\emptyset 7.4$ dan tulangan tarik $3\emptyset 7.4$ 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 digetarkan 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 $23^{\circ} - 28^{\circ} C$
3. Beton diselimuti dengan karung goni basah, plastik film atau kertas perawatan tahan air.

Pada penelitian ini, untuk balok uji dilakukan dengan cara menyirami balok uji dengan air hingga dianggap basah secara merata sampai sehari sebelum benda uji tersebut dilakukan pengujian. 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 (Mpa)

P = Beban ultimit (N)

A = Luas permukaan benda uji (m^2)

c. Pengujian Kuat Lentur

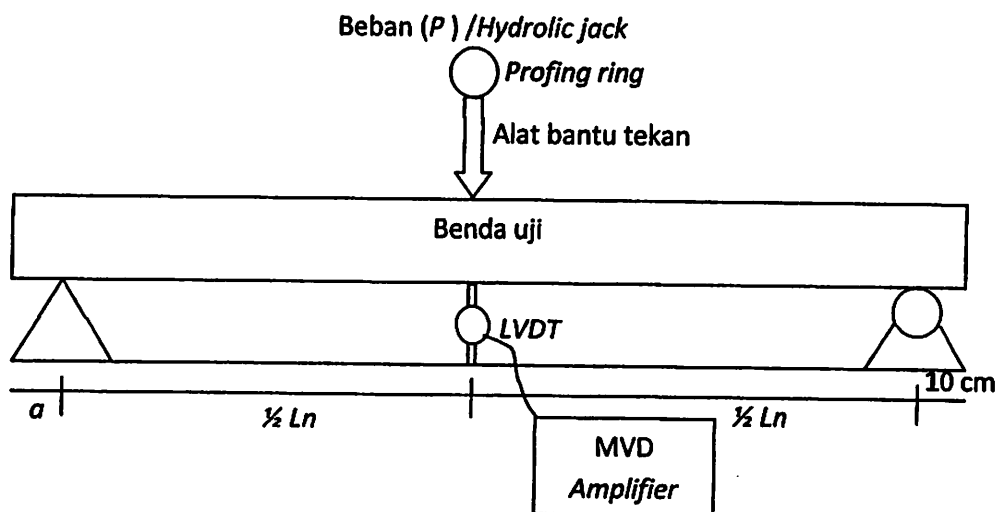
Pelaksanaan pengujian kuat lentur balok dilakukan dengan cara sebagai berikut :

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 $f'_c=29.71\text{Mpa}$ 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 $f_y=403.62\text{ Mpa} \rightarrow$ diameter 7.4 (\emptyset 7.4) dan $f_y=370.28\text{ Mpa} \rightarrow$ diameter 5.4 (\emptyset 5.4).

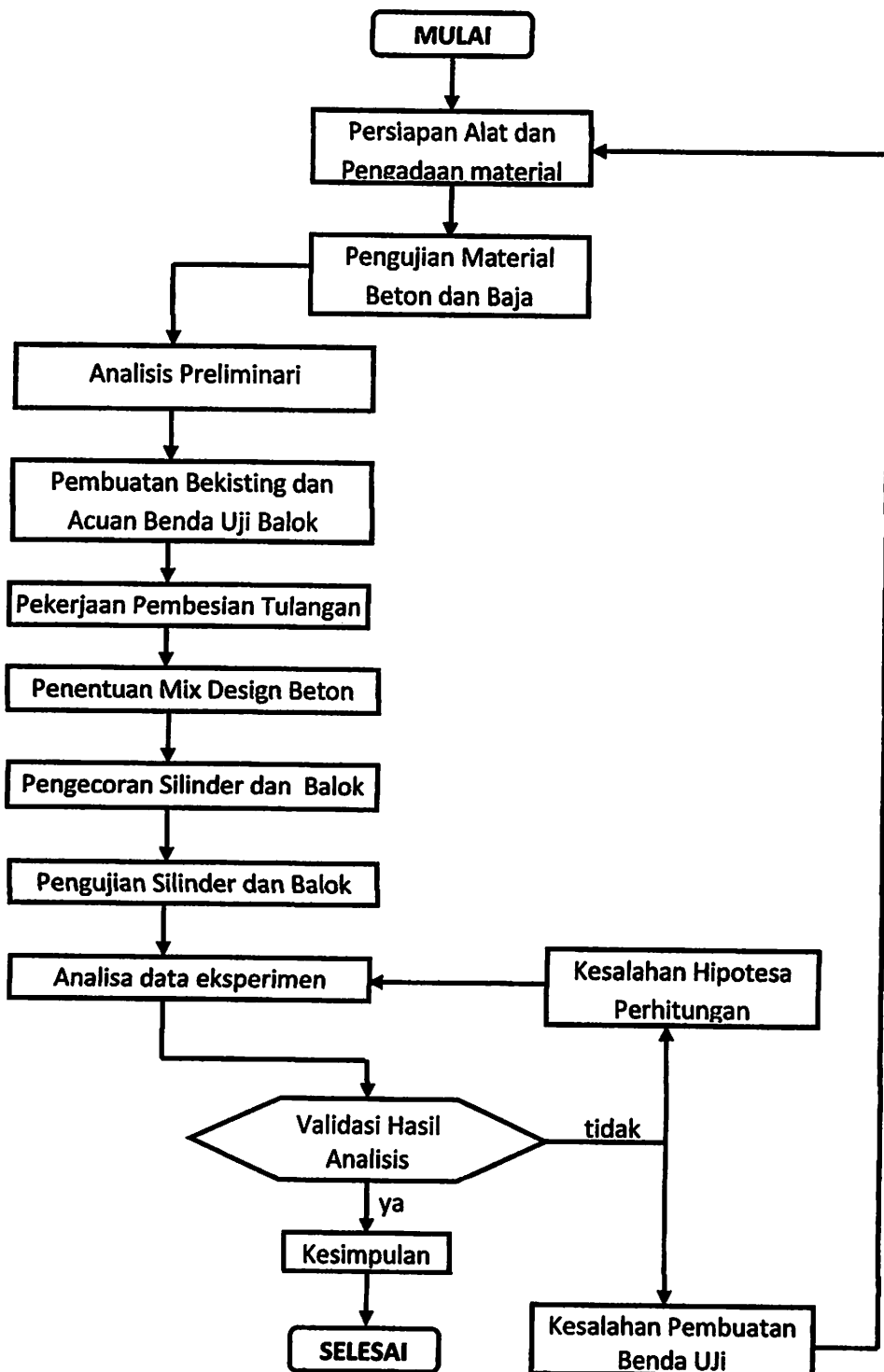
3.8. Laporan yang akan dikerjakan

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 :

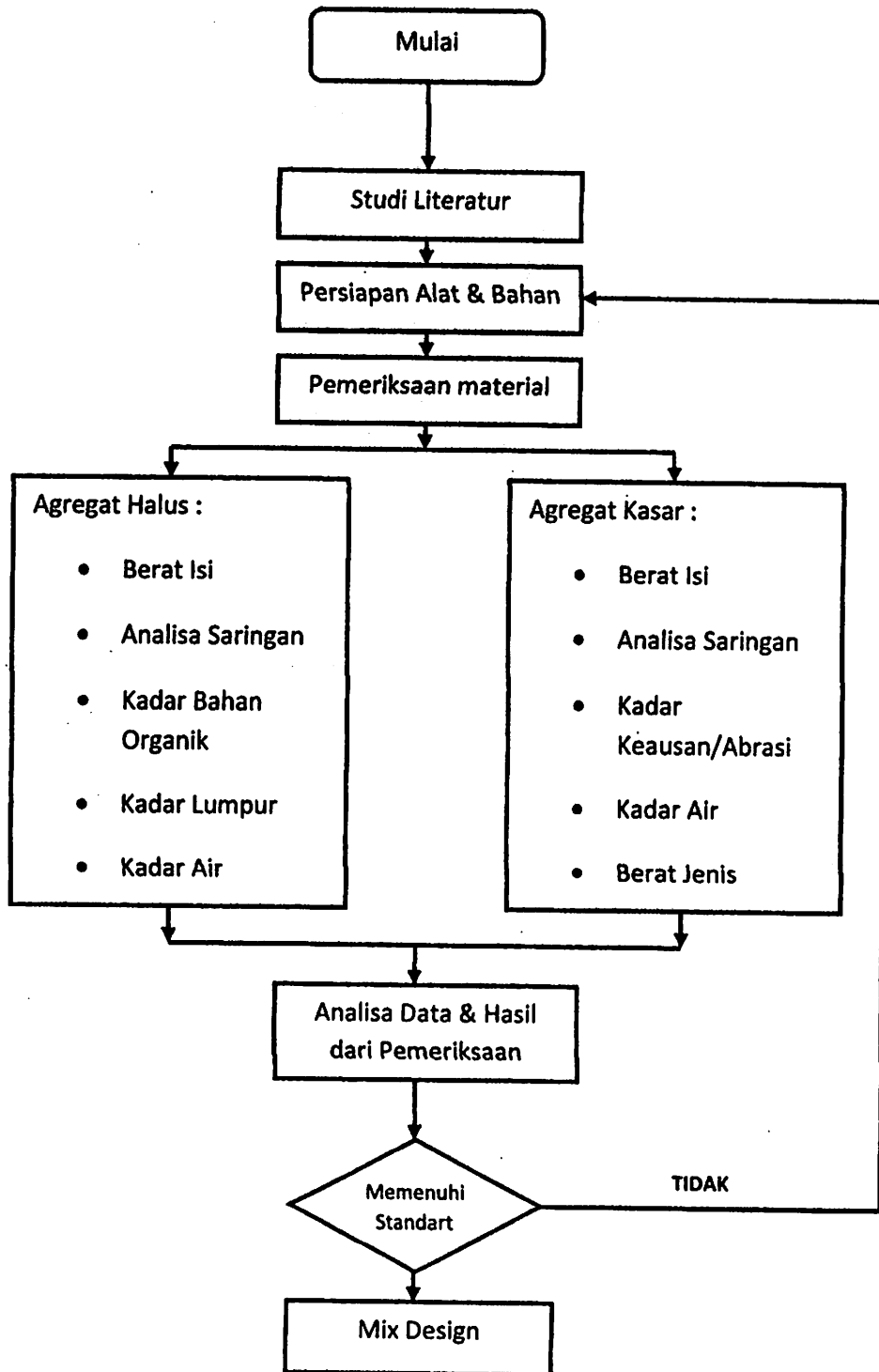
1. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 terhadap *defleksi* (Δ) hasil eksperimen.
2. Pengaruh penambahan tulangan pada balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 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 5Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4 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 5Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4.
5. Membandingkan hasil analitis antara balok normal bertulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 2Ø7,4 balok variasi 1 tulangan tarik 3Ø7,4 tekan 5Ø7,4 dan balok variasi 2 tulangan tarik 3Ø7,4 dan tekan 6Ø7,4.

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. Umum

Data hasil penelitian dibagi menjadi tiga bagian sebagai berikut :

1. Analisis hasil laboratorium.

Yang terdiri dari;

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

2. Analisis teoritis

Yang terdiri dari;

- a. Kontrol momen
- b. Perhitungan beban
- c. Perhitungan lebar retak
- d. Perhitungan lendutan
- e. Perhitungan retak awal

3. Analisis eksperimen

4.2. Analisis Hasil Laboratorium

4.2.1. Campuran beton

Kuat tekan beton mutu normal direncanakan sebesar $f'_c = 22,5 \text{ MPa}$ 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 m^3 dengan komposisi material seperti terlihat pada tabel 4.1. Hasil perancangan campuran beton selengkapnya dapat dilihat pada lampiran A.

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

4.2.2. Data dan perhitungan kuat tekan silinder

Pelaksanaan pengujian berdasarkan standard SNI 03-1974-1990 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Alat uji tekan yang digunakan adalah *Universal Testing Mechine (UTM)*. Untuk mendapatkan kuat tekan beton (f'_c) yang akan dipakai dalam menganalisa data eksperimen, maka dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan ukuran 150 x 300 mm. Pengujian dilakukan setelah beton silinder berumur 28 hari atau lebih, dengan jumlah silinder sebanyak 1 buah untuk setiap benda uji. Total ada 20 buah silinder. Hasil kuat tekan silinder yang diperoleh dan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian kuat tekan beton

No.	Kode silinder	Berat (kg)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas permukaan ($1/4\pi d^2$) (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat tekan (Mpa) (g/f)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
1	M-1	12.58	300	150	17678.571	580000	32.81
2	M-2	12.58	300	150	17678.571	525000	29.70
3	M-3	12.57	300	150	17678.571	480000	27.15
4	M-4	12.69	300	150	17678.571	700000	39.60
5	M-5	12.66	300	150	17678.571	580000	32.81
6	M-6	12.64	300	150	17678.571	540000	30.55
7	M-7	12.49	300	150	17678.571	620000	35.07
8	M-8	12.74	300	150	17678.571	540000	30.55
9	M-9	12.81	300	150	17678.571	655000	37.05
10	M-10	12.44	300	150	17678.571	500000	28.28
11	M-11	12.59	300	150	17678.571	460000	26.02
12	M-12	12.44	300	150	17678.571	580000	32.81
13	M-13	12.42	300	150	17678.571	520000	29.41
14	M-14	11.96	300	150	17678.571	435000	24.61
15	M-15	12.38	300	150	17678.571	445000	25.17

Tabel 4.2 Lanjutan

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
16	M-16	12.04	300	150	17678.571	470000	26.59
17	M-17	11.91	300	150	17678.571	315000	17.82
18	M-18	12.01	300	150	17678.571	400000	22.63
19	M-19	12.72	300	150	17678.571	680000	38.46
20	M-20	12.60	300	150	17678.571	480000	27.15
Rata-rata							29.71

4.2.3. 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 6	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (Newton)	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 8	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (Newton)	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	

4.3. Analitis Teoritis

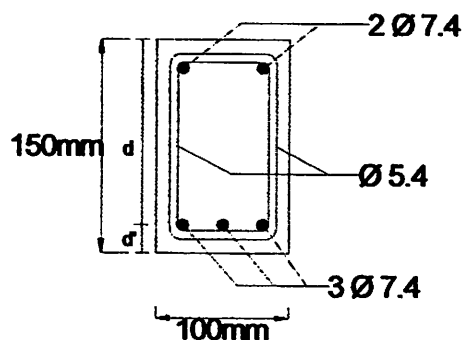
Data yang kami perhitungkan diperoleh dari hasil eksperimen awal yang berupa kuat tarik baja dan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji silinder setiap balok (Tabel 4.2 Subbab 4.2.1.)

Data benda uji :

- Type : Beton bertulang
- Dimensi : 100 mm x 150 mm x 3000 mm
- Mutu beton (f'_c) : 29.71 MPa. (hasil kuat tekan)
- Mutu baja $\varnothing 8$ (f_y) : 403.62 MPa. (hasil uji tarik baja)
- Mutu baja $\varnothing 6$ (f_y) : 370.28 MPa. (hasil uji tarik baja)
- Tulangan utama : $\varnothing 8$ mm sket 7.4 mm
- Tulangan sengkang : $\varnothing 6$ mm sket 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)

4.3.1. Kontrol moment

1. Balok Normal (BN)



Gambar 4.1 Penampang balok normal

Kontrol moment

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

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

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

$$Ts = As \times fy$$

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 :

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

Dimana :

- Luas tulangan utama ($As/A's$) :

$$As = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 7.4^2 = 128.95 \text{ mm}^2$$

$$As' = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 7.4^2 = 85.97 \text{ mm}^2$$

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

- $d' = 10 + 5.4 + (1/2 \times 7.4) = 19.1 \text{ mm}$

- $\beta_1 = 0.85$

Maka :

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

$$128.95 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (85.97 \times c \times 600) -$$

$$(85.97 \times 19.1 \times 600)$$

$$52098.12c = 2146.55c^2 + 51630.86c + -986149.37$$

$$= 2146.55c^2 + -467.26c + -986149.37$$

$$= \frac{\quad}{c^2} + -0.22c + -459.41 \quad : 2420.23c^2$$

maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-0.21 \pm \sqrt{-0.21^2 - (4 \times 1 \times -459.41)}}{2 \times 1}$$

c = 21.54 mm (memenuhi)

c = -21.03 mm (tidak memenuhi)

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

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Maka :

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

$$128.95 \times 403.62 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (85,97 \times c \times 600) - (85,97 \times 19.1 \times 600)$$

$$\begin{aligned} 52098.12c &= 2146.55c^2 + 51630.86c + -986149.37 \\ &= 2146.55c^2 + -467.26c + -986149.37 \\ &= \frac{c^2 + -0.22c + -459.41}{: 2418.93} \end{aligned}$$

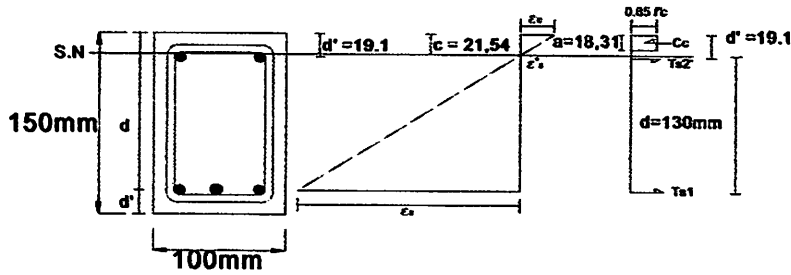
Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-0.22 \pm \sqrt{0.22^2 - (4 \times 1 \times -459.41)}}{2 \times 1}$$

c = 21.54 mm (memenuhi)

c = -21.33 mm (tidak memenuhi)



Gambar 4.2 Diagram regangan dan tegangan balok normal

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 21.54 = 18.31 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$C_c = 0.85 (29.71) \times 18.31 \times 100 \times 10^{-3} = 46.24 \text{ kN.}$$

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

$$T_{s'} = 85.97 \times \left(\frac{19.1 - 20.28}{20.28} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 9.85 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 85.97 \times 403.26 \times 10^{-3} = 52.10 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s + T_{s'} = C_c$$

$$52.10 + 9.85 = 61.95$$

$$= 61.95 \text{ kN} = 61.95 \text{ kN}$$

Lengan moment :

Dimana :

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

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

Maka :

$$Z_1 = d - 1/2a = 130.90 - \frac{1}{2}(17.24) = 121.74 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.1 = 111.8 \text{ mm}$$

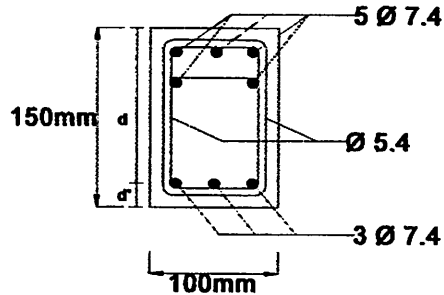
Nilai moment :

$$Mn = Cc \cdot Z_1 - Ts' \cdot Z_2$$

$$Mn = (61.95 \times 121.74 \times 10^{-3}) - (9.85 \times 111.8 \times 10^{-3})$$

$$Mn = 5.08 - 0.71 = 4.91 \text{ kNm} = 0.491 \text{ Tonm.}$$

1. Balok Variasi 1 (BB-1)



Gambar 4.3 Penampang balok variasi 1.

Kontrol moment

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

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

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

$$Ts = As \times fy$$

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 :

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

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

$$Ts = As \times fy$$

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

$$T_s = Cc + C_s$$

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

Sehingga :

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

Dimana :

- Luas tulangan utama (As dan A's) :

$$A_s = 5 \times 1/4 \times \pi \times d^2 = 5 \times 1/4 \times \pi \times 7.4^2 = 214.93 \text{ mm}^2$$

$$A's = 3 \times 1/4 \times \pi \times d^2 = 3 \times 1/4 \times \pi \times 7.4^2 = 129.078 \text{ mm}^2$$

- $d' = d_{selimut} + \emptyset_{sengkang} + 1/2 \emptyset_{tul.utama}$

$$d' = 10 + 5.4 + (1/2 \times 7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0.85$$

Maka :

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

$$214.93 \times 403.26 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.078 \times c \times 600) - (129.078 \times 19.1 \times 600)$$

$$\begin{array}{rcll} 52098.12 & = & 2146.55c^2 & + & 77446.29c & + & -1479224.06 \\ & = & -2146.55c^2 & + & 76979.03c & + & 413821.20 \\ \hline & = & c^2 & + & 35.86c & - & -1927.85 & : 2418.93 \end{array}$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-35.86 \pm \sqrt{35.86^2 - (4 \times 1 \times -1927.85)}}{2 \times 1}$$

c = 29.50 mm (memenuhi)

c = -65.36 mm (tidak memenuhi)

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

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Maka :

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

$$214.93 \times 403.26 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (129.078 \times c \times 600) - (129.078 \times 19.1 \times 600)$$

$$\begin{array}{rclcl} 52098.12 & = & 2146.55c^2 & + & 77446.29c & + & -1479224.06 \\ & = & -2146.55c^2 & + & 76979.03c & + & 413821.20 \\ \hline & = & c^2 & + & 35.86c & - & -1927.85 & : 2418.93 \end{array}$$

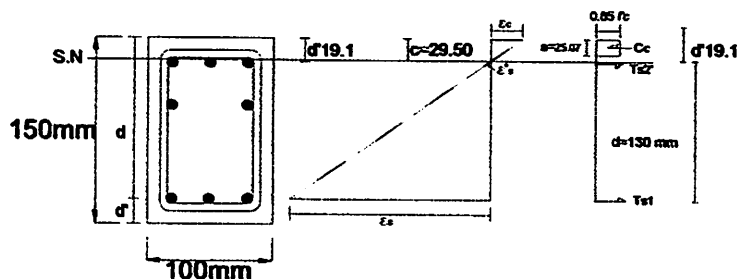
Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$c = \frac{-35.86 \pm \sqrt{35.86^2 - (4 \times 1 \times -1927.85)}}{2 \times 1}$$

c = 29.50mm (memenuhi)

c = -65.36 mm (tidak memenuhi)



Gambar 4.4 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 1

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c_a = 0.85 \times 17.43 = 28.40 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$C_c = 0.85(33.48) \times 14.81 \times 100 \times 10^{-3} = 25.07 \text{ kN.}$$

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

$$T_s' = 129.078 \times \left(\frac{19.1 - 17.43}{17.43} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 14.79 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = 214.93 \times 403.26 \times 10^{-3} = 86.67 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$T_s + T_s' = C_c$$

$$86.67 + 14.79 = 101.46$$

$$101.46 = 101.46 \text{ kN}$$

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 :

$$Z_1 = d - \frac{1}{2}a = 130.90 - \frac{1}{2}(14.81) = 123.49 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.1 = 111.8 \text{ mm}$$

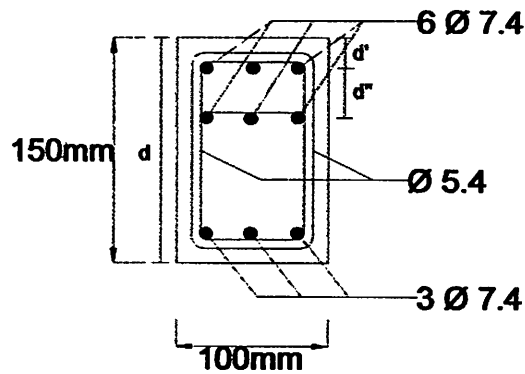
Nilai moment :

$$M_n = C_c \cdot Z_1 - T_s' \cdot Z_2$$

$$M_n = (42.16 \times 123.49 \times 10^{-3}) - (7.43 \times 111.8 \times 10^{-3})$$

$$M_n = 5.20 - 0.83 = 4.376 \text{ kN} = 0.446 \text{ Tonm.}$$

Balok Variasi 2 (BB-2)



Gambar 4.5 Penampang balok variasi 2

Kontrol moment

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

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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Karena :

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

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

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

Maka :

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

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

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

$$T_s = A_s \times f_y$$

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

Sehingga :

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

Dimana :

- Luas tulangan utama (As/A's) :

$$As = 6 \times 1/4 \times \pi \times d^2 = 6 \times 1/4 \times \pi \times 7.4^2 = 257.91 \text{ mm}^2$$

$$A's = 3 \times 1/4 \times \pi \times d^2 = 2 \times 1/4 \times \pi \times 7.4^2 = 128.95 \text{ mm}^2$$

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

$$d' = 10 + 5.4 + (1/2 \times 7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

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

$$d'' = 10 + 5.4 + 7.4 + 25 + (1/2 \times 7.4) = 51.5 \text{ mm}$$

- $\beta_1 = 0.85$

Maka :

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

$$257.91 \times 403.26 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (128.95 \times c \times 600) -$$

$$(128.95 \times 19.1 \times 600) + (128.95 \times c \times 600) - (128.95 \times 51.5 \times 600)$$

$$52098.12 = 2420.23c^2 + 77446.3c + -5390241.47$$

$$= -2420.23c^2 + 102794.46c + 5467707.77$$

$$= \frac{\quad}{c^2 + 47.88c + -2547.21} : 2418.93$$

Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-47.88 \pm \sqrt{47.88^2 - (4 \times 1 \times +2547.21)}}{2 \times 1}$$

$c = 31.92 \text{ mm}$ (memenuhi)

$c = -79.81 \text{ mm}$ (tidak memenuhi)

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

Kontrol $\Sigma H = 0$

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

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

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 :

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

$$257.91 \times 403.26 \times c = (0.85 \times 29.71 \times 0.85 \times 100 \times c^2) + (128.95 \times c \times 600) -$$

$$(128.95 \times 19.1 \times 600) + (128.95 \times c \times 600) - (128.95 \times 51.5 \times 600)$$

$$\begin{aligned} 52098.12 &= 2420.23c^2 + 77446.3c + -5390241.47 \\ &= -2420.23c^2 + 102794.46c + 5467707.77 && : 2418.93 \\ &= c^2 + 47.88c + -2547.21 \end{aligned}$$

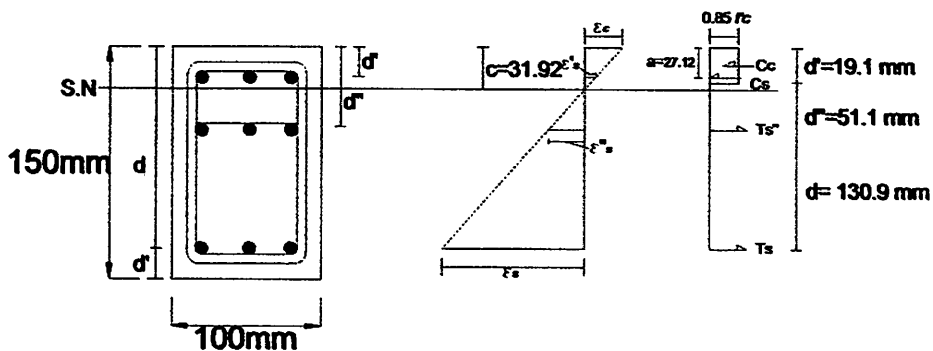
Maka nilai c dengan rumus abc adalah :

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

$$C = \frac{-47.88 \pm \sqrt{47.88^2 - (4 \times 1 \times +2547.21)}}{2 \times 1}$$

c = 31.92mm (memenuhi)

c = -79.81 mm (tidak memenuhi)



Gambar 4.6 Diagram regangan dan tegangan balok variasi 2

Maka nilai a :

$$a = \beta_1 \times c$$

$$a = 0.85 \times 27.16 = 23.08 \text{ mm}$$

Nilai gaya :

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

$$Cc = 0.85(33.48) \times 23.08 \times 100 \times 10^{-3} = 65.69 \text{ kN.}$$

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

$$Cs = 86.02 \times \left(\frac{27.16 - 19.1}{27.16} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 15.32 \text{ kN}$$

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

$$Ts' = 86.02 \times \left(\frac{51.5 - 27.16}{27.16} \right) \times 600 \times 10^{-3} = 46.28 \text{ kN}$$

$$Ts = As \times fy$$

$$Ts = 86.02 \times 403.26 \times 10^{-3} = 34.73 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$Ts + Ts' = Cc + Cs$$

$$34.73 + 46.28 = 65.69 + 15.32$$

$$81.01 \text{ kN} = 81.01 \text{ kN}$$

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 :

$$Z_1 = d - 1/2a = 130.90 - \frac{1}{2}(23.08) = 119.36 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d' = 130.90 - 19.1 = 111.8 \text{ mm}$$

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

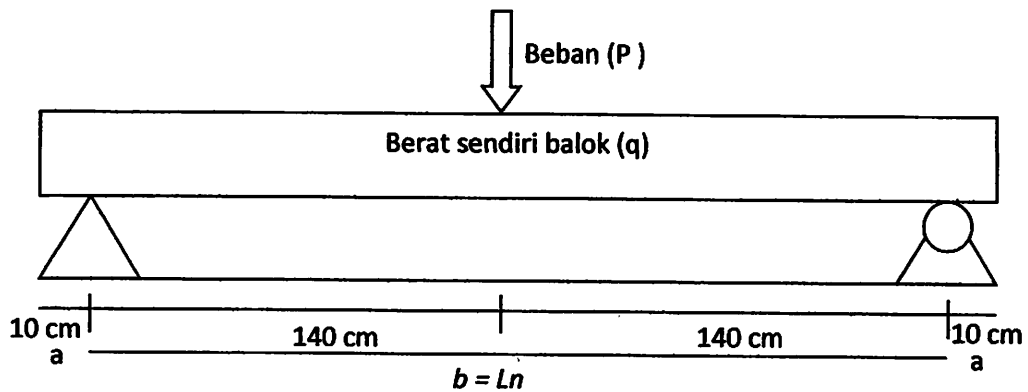
Nilai moment :

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

$$Mn = (65.69 \times 119.36 \times 10^{-3}) + (15.32 \times 111.8 \times 10^{-3}) - (46.28 \times 79.40 \times 10^{-3})$$

$$Mn = 7.84 + 1.71 - 3.67 = 5.879 \text{ kNm} = 0.599 \text{ Tonm.}$$

4.3.1. Perhitungan beban (P)



Gambar 4.7 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 :

$$\text{Berat jenis beton} = 23.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Faktor reduksi beban : Mati} = 1.6$$

$$q = (b \cdot h) \cdot \text{berat jenis beton}$$

$$\text{Hidup} = 1.2$$

$$q = (0.10 \times 0.15) \times 23.5$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan } (\phi) = 0.8$$

$$q = 0.353 \text{ kN/m}$$

$$l = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm} \quad l_n = 2.8 \text{ m} = 2800 \text{ mm}$$

maka :

$$M_1 = 1/4P \cdot l \text{ (Momen maksimal beban terpusat)}$$

$$M_2 = [(q/8)(b^2 - 4a^2)] \text{ (momen maksimal beban terbagi rata)}$$

$$M_n = M_1 + M_2$$

$$M_n = (1/4P \cdot l) + [(q/8)(b^2 - 4a^2)]$$

Momen ultimate :

$$0.8M_n = 1.6(1/4P \cdot l) + 1.2[(q/8)(b^2 - 4a^2)]$$

$$0.8M_n - 1.6(1/4P \cdot l) = 1.2 [(q/8)(b^2 - 4a^2)]$$

$$0.8M_n - 0.4P \cdot l = [(0.15q)(b^2 - 4a^2)]$$

Sehingga :

$$-0.4P \cdot l = [(0.15q)(b^2 - 4a^2)] - 0.8M_n$$

$$P = \frac{[(0.15q)(b^2 - 4a^2)] - 0.8M_n}{-0.4l}$$

Hitungan balok normal :

$$M_n \text{ normal} = 6,28 \text{ kNm.}$$

$$P = -\frac{(0.15 \times 0.353) \times (2.8^2 - (4 \times 0.1^2))}{0.4 \times 3.0} + \frac{0.8 \times 6,28}{0.4 \times 3.0}$$

$$P = -0.055 + 4.485$$

$$P = 4.432 \text{ kN} = 0.443 \text{ Ton}$$

Maka, beban maksimum teoritis untuk balok normal adalah 0.443 Ton.

Untuk perhitungan lainnya ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil analisis teoritis untuk pembebanan maksimum

No.	Benda uji	Mn (kNm)	a (m)	b (m)	l_n (m)	q (kN/m)	P _{maks.} (kN)	P _{maks.} (ton)
1.	BN	4.91	0.1	2.8	2.8	0.353	3,792	3,792
2.	BB-1	4.376	0.1	2.8	2.8	0.353	4,595	4,595
3.	BB-2	5.879	0.1	2.8	2.8	0.353	4,765	4,765

4.3.2. 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 :

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

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

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

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

$$= 150 - 10 - 5.4 - 1/2(7.4) = 130.9 \text{ mm}$$

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

$$= 10 + 5.4 + 1/2(7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

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

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 :

$$hr = 3d_c = 3 \times 19.1 = 57.3 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan baja daerah tarik = 3 buah

$$A = \frac{100 \times 57.3}{3} = 364.81 \text{ mm}^2$$

maka analisis teoritis retak kami tampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Hasil analisis teoritis lebar retak yang diizinkan

No.	Benda uji	f_y (Mpa)	f_s (Mpa)	b (mm)	h (mm)	d (mm)	c (mm)	β	dc (mm)	A (mm ²)	ω (mm)
1	BN	403.62	242.172	100	150	130.9	21.54	1.169	19.1	364.81	0.103
2	BB-1	403.62	242.172	100	150	130.9	29.50	1.169	19.1	364.81	0.103
3	BB-2	403.62	242.172	100	150	130.9	31.92	1.186	19.1	364.81	0.104

4.3.3 Perhitungan lendutan

1. Akibat beban maksimal teoritis

a. Letak garis netral penampang transformasi (y)

Data perhitungan :

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

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

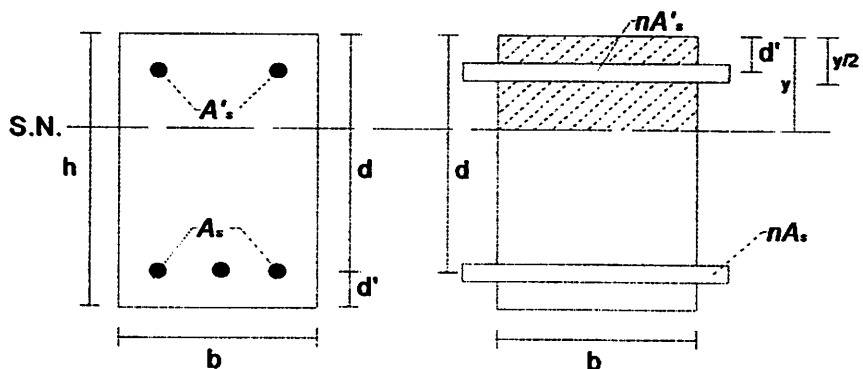
$$b = 100 \text{ mm}$$

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

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

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

- Balok Normal



Gambar 4.8 Penampang transformasi balok normal

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

$$d' = d_{\text{selimut}} + \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} + 1/2 \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ = 10 + 5.4 + 1/2(7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

$$d = h - d_{\text{selimut}} - \emptyset_{\text{Tul. sengkang}} - 1/2 \emptyset_{\text{Tul. utama}} \\ = 150 - 10 - 5.4 - 1/2(7.4) = 130.9 \text{ mm}$$

Letak garis netral :

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

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

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

Maka :

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

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.234} = 7.807$$

$$1/2(100)y^2 + 1007.697y + 671.798y - 131907.595 - 12831.34741 = 0$$

$$\frac{50y^2 + 1679.496y - 144738.942 = 0}{y^2 + 33.5899y - 2894.7788 = 0} : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

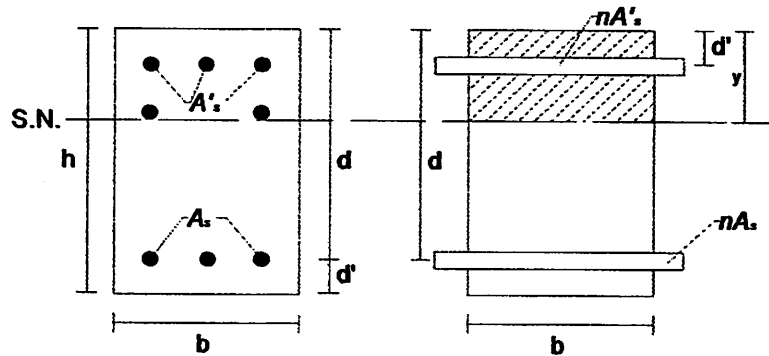
$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-33.5899 \pm \sqrt{33.5899^2 - (4 \times 1 \times -2894.7788)}}{2 \times 1}$$

$$y = 39.569 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -73.159 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

- Balok variasi 1 (BB-1)



Gambar 4.9 Penampang transformasi balok variasi 1

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

$$A'_s = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.078 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} d' &= d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{Tul. utama}} \\ &= 10 + 5.4 + \frac{1}{2}(7.4) = 19.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - d_{\text{selimut}} - \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{Tul. utama}} \\ &= 150 - 10 - 5.4 - \frac{1}{2}(7.4) = 130.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak garis netral :

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

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

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

Maka :

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

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.234} = 7.807$$

$$\frac{1}{2}(100)y^2 + 1007.697y + 671.798y - 1007.697y - 131907.597 - 34597.6121 - 19247.0211 = 0$$

$$\frac{50y^2 + 2687.198y - 185752.228 = 0}{y^2 + 53.7439y - 3715.0446 = 0} : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

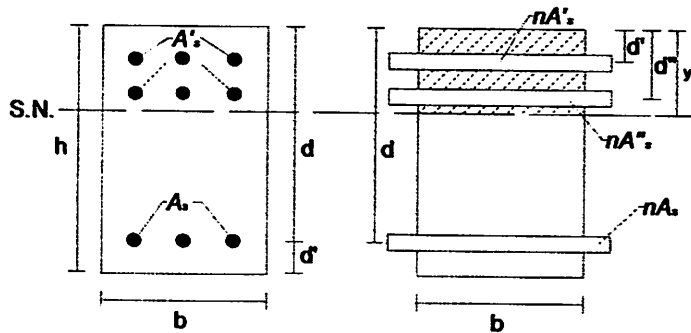
$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$y = \frac{-53.7439 \pm \sqrt{53.7439^2 - (4 \times 1 \times -3715.0446)}}{2 \times 1}$$

$y = 39.740$ mm (memenuhi)

$y = -93.484$ mm (tidak memenuhi)

- Balok variasi 2 (BB-2)



Gambar 4.10 Penampang transformasi balok variasi 2

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

$$d' = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{Tul. utama}} \\ = 10 + 5.4 + \frac{1}{2}(7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

$$d'' = d_{\text{selimut}} + \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} + \varnothing_{\text{Tul. utama}} + S_{\text{Tul.}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{Tul. utama}} \\ = 10 + 5.4 + 7.4 + 25 + \frac{1}{2}(7.4) = 51.5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_{\text{selimut}} - \varnothing_{\text{Tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{Tul. utama}} \\ = 150 - 10 - 5.4 - \frac{1}{2}(7.4) = 130.9 \text{ mm}$$

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 :

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

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{25618.234} = 7.807$$

$$\frac{1}{2}(100)y^2 + 1007.697y - 2015.395 - 131907.595 - 50888.72075 = 0$$

$$\frac{50y^2 + 3023.092y - 182796.316 = 0}{y^2 + 60.4618y - 3655.9263 = 0} : 50$$

Maka nilai y dengan rumus abc adalah :

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

$$y = \frac{-60.461 \pm \sqrt{60.461^2 - (4 \times 1 \times -3655.9263)}}{2 \times 1}$$

$$y = 37.370 \text{ mm (memenuhi)}$$

$$y = -97.83 \text{ mm (tidak memenuhi)}$$

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

Data perhitungan :

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

$$A'_s = 3 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 7.4^2 = 129.078 \text{ mm}^2$$

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

$$= 10 + 5.4 + 1/2(7.4) = 19.1 \text{ mm}$$

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

$$= 10 + 5.4 + 7.4 + 25 + 1/2(7.4) = 51.5 \text{ mm}$$

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

$$= 150 - 10 - 5.4 - 1/2(7.4) = 130.9 \text{ mm}$$

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

- 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

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

Hasil perhitungan kami tabelkan sebagai berikut.

Tabel 4.6 Hasil analisis momen inersia penampang retak (I_{cr})

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_{cr} (mm ⁴)
1	BN	7.807	128.95	85.97	-	100	130.90	19.1	-	39.569	10716089.9701
2	BB-1	7.807	128.95	214.93	-	100	130.90	19.1	51.5	39.740	10921423.7696
5	BB-2	7.807	128.95	257.19	128.95	100	130.90	19.1	51.5	37.370	11376444.0875

- c. Momen inersia penampang utuh (I_g)

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

$$I_g = bh^3/12$$

Dimana :

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

maka :

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

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

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

Momen retak dihitung berdasarkan rumus :

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

Dimana :

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

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

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

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.7 Hasil analisis momen retak (M_{cr})

No	Benda uji	f'_c (MPa)	f_r (MPa)	I_g (mm ⁴)	h (mm)	Y_t (mm)	M_{cr} (Nmm)
1	BN	29.71	3.815	28125000.00	150	75	1430805.608
2	BB-1	29.71	3.815	28125000.00	150	75	1430805.608
3	BB-2	29.71	3.815	28125000.00	150	75	1430805.608

e. Momen inersia efektif (I_e)

Momen inersia efektif dihitung berdasarkan rumus :

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

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

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

Adapun hasil perhitungan kami tampilkan pada tabel 4.8.

f. Lendutan maksimum ($\Delta_{maks.}$)

Karena berupa beban titik dan berat sendiri balok, serta kondisi overstick diabaikan, maka lendutan maksimum 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 :

$$P = 2718.58 \text{ N} \quad q = 0.353 \text{ n/mm} \quad E_c = 25618.23374 \text{ Mpa}$$

$$l = b = 2800 \text{ mm} \quad I_e = 11041443.794 \text{ mm}^4$$

$$\Delta = \frac{2718.58(3000)^3}{48 \times 25618.234 \times 12995420.593} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.234 \times 12995420.593}$$

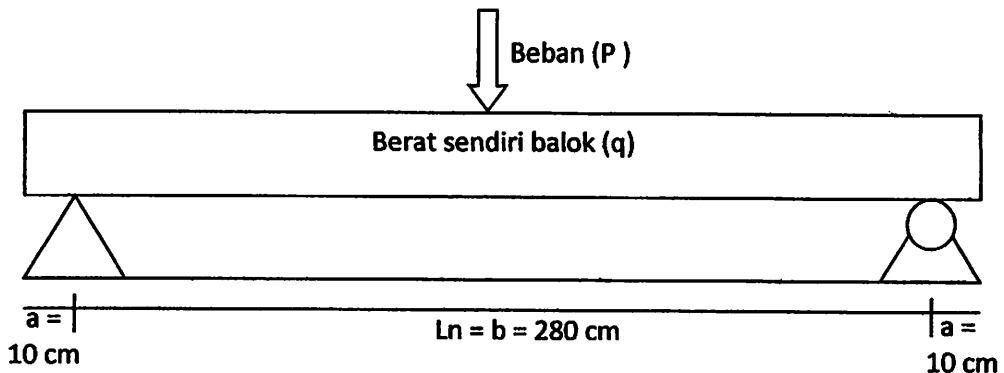
$$\Delta = 3.735 + 0.849 = 4.584 \text{ mm}$$

Adapun hasil perhitungan lainnya kami tampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil analisis lendutan (Δ) akibat beban maksimum teoritis

No	Benda uji	$L_n = b$ (mm)	q (N/mm)	P (N)	E_c (Mpa)	I_e (mm ⁴)	$\Delta_{maks.}$ (mm)
1	BN	2800	0.353	2718.58	25618.23374	12995420.593	4.584
2	BB-1	2800	0.353	2720.14	25618.23374	13031536.240	4.573
3	BB-2	2800	0.353	3695.83	25618.23374	10259244.054	7.506

2. Beban eksperimen



Gambar 4.11 Sketsa penempatan balok

a. Balok normal

Data perhitungan :

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

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

$$I_{cr} = 7747997.528 \text{ mm}^4$$

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

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

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

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

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

$$P = 65.4 \text{ kg} = 641.574 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned} M_a &= (1/4 * P l) + (1/8 * q l^2) \\ &= (1/4 * 641.574 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 449101.800 + 345940 = 795041.8 \text{ Nmm} < M_{cr} \end{aligned}$$

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

Sehingga :

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5qb^4}{384E_c I_e} \\ &= \frac{641.574(2800^3)}{48 \times 25618.23 \times 28125000} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.23 \times 28125000} \\ &= 0.407 + 0.392 = 0.799 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$P = 203.4 \text{ kg} = 1995.35 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned}M_a &= (1/4 * Pl) + (1/8 * ql^2) \\ &= (1/4 * 1995.35 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 1396747.8 + 345940 = 1742687.8 \text{ Nmm} > M_{cr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_e &= \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \\ I_e &= \left(\frac{1430805.61}{1742687.8}\right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430805.61}{1742687.8}\right)^3\right] \times 7747997.528 \\ I_e &= 19025772.55 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5qb^4}{384E_c I_e} \\ &= \frac{1995.35(2800^3)}{48 \times 25618.23 \times 19025772.55} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.23 \times 19025772.55} \\ &= 1.872 + 0.580 = 2.452 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya kami tampilkan dalam bentuk tabel pada tabel 4.10 dan hubungan antara beban-lendutannya kami tampilkan dalam grafik 1.

b. Balok variasi 1

Data perhitungan :

$$\begin{aligned}E_c &= 25618.234 \text{ MPa} & M_{cr} &= 1430805.608 \text{ Nmm} \\ I_{cr} &= 7806916.562 \text{ mm}^4 & I_g &= 28125000 \text{ mm}^4 \\ q &= 0.353 \text{ N/mm} & l/b &= 2800 \text{ mm}\end{aligned}$$

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

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

$$P = 65.4 \text{ kg} = 641.574 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned}M_a &= (1/4 * Pl) + (1/8 * ql^2) \\ &= (1/4 * 641.574 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 449101.800 + 345940 = 795041.8 \text{ Nmm} < M_{cr} \\ I_e &= I_g = 28125000 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5qb^4}{384E_cI_e} \\ &= \frac{641.574(2800^3)}{48 \times 25618.234 \times 28125000} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.234 \times 28125000} \\ &= 0.407 + 0.392 = 0.799 \text{ mm}\end{aligned}$$

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

$$P = 203.4 \text{ kg} = 1995.35 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned}M_a &= (1/4 * P l) + (1/8 * q l^2) \\ &= (1/4 * 1995.35 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 1396747.8 + 345940 = 1742687.8 \text{ Nmm} > M_{cr}\end{aligned}$$

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

$$I_e = \left(\frac{1430805.608}{1742687.8}\right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430805.608}{1742687.8}\right)^3\right] \times 7806916.562$$

$$I_e = 19052082.48 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_cI_e} + \frac{5qb^4}{384E_cI_e} \\ &= \frac{1995.35(2800^3)}{48 \times 25618.234 \times 19052082.48} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.234 \times 19052082.48} \\ &= 1.870 + 0.579 = 2.449 \text{ mm}\end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya kami tampilkan dalam bentuk tabel pada tabel 4.11 dan hubungan antara beban-lendutannya kami tampilkan dalam grafik 2.

c. Balok variasi 2

Data perhitungan :

$$E_c = 25618.234 \text{ MPa.}$$

$$M_{cr} = 1430805.608 \text{ Nmm}$$

$$I_{cr} = 7747997.528 \text{ mm}^4$$

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

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

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

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

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

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

$$P = 65.4 \text{ kg} = 641.574 \text{ N}$$

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

maka :

$$\begin{aligned} M_a &= (1/4 * Pl) + (1/8 * ql^2) \\ &= (1/4 * 641.574 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 449101.800 + 345940 = 795041.8 \text{ Nmm} < M_{cr} \end{aligned}$$

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

Sehingga :

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5qb^4}{384E_c I_e} \\ &= \frac{641.574(2800^3)}{48 \times 25618.234 \times 28125000} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.234 \times 28125000} \\ &= 0.407 + 0.392 = 0.799 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$P = 203.4 \text{ kg} = 1995.35 \text{ N}$$

maka :

$$\begin{aligned} M_a &= (1/4 * Pl) + (1/8 * ql^2) \\ &= (1/4 * 1995.35 * 2800) + (1/8 * 0.353 * 2800^2) \\ &= 1396747.8 + 345940 = 1742687.8 \text{ Nmm} > M_{cr} \end{aligned}$$

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

$$I_e = \left(\frac{1430805.608}{1742687.8}\right)^3 \times 28125000 + \left[1 - \left(\frac{1430805.608}{1742687.8}\right)^3\right] \times 7747997.528$$

$$I_e = 19099365.4 \text{ mm}^4$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{P(l_n)^3}{48E_c I_e} + \frac{5qb^4}{384E_c I_e} \\ &= \frac{1995.35(2800^3)}{48 \times 25618.234 \times 19099365.4} + \frac{5 \times 0.353(2800)^4}{384 \times 25618.234 \times 19099365.4} \\ &= 1.865 + 0.577 = 2.442 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya kami tampilkan dalam bentuk tabel pada tabel 4.12 dan hubungan antara beban-lendutannya kami tampilkan dalam grafik

3.

Tabel 4.9 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok normal

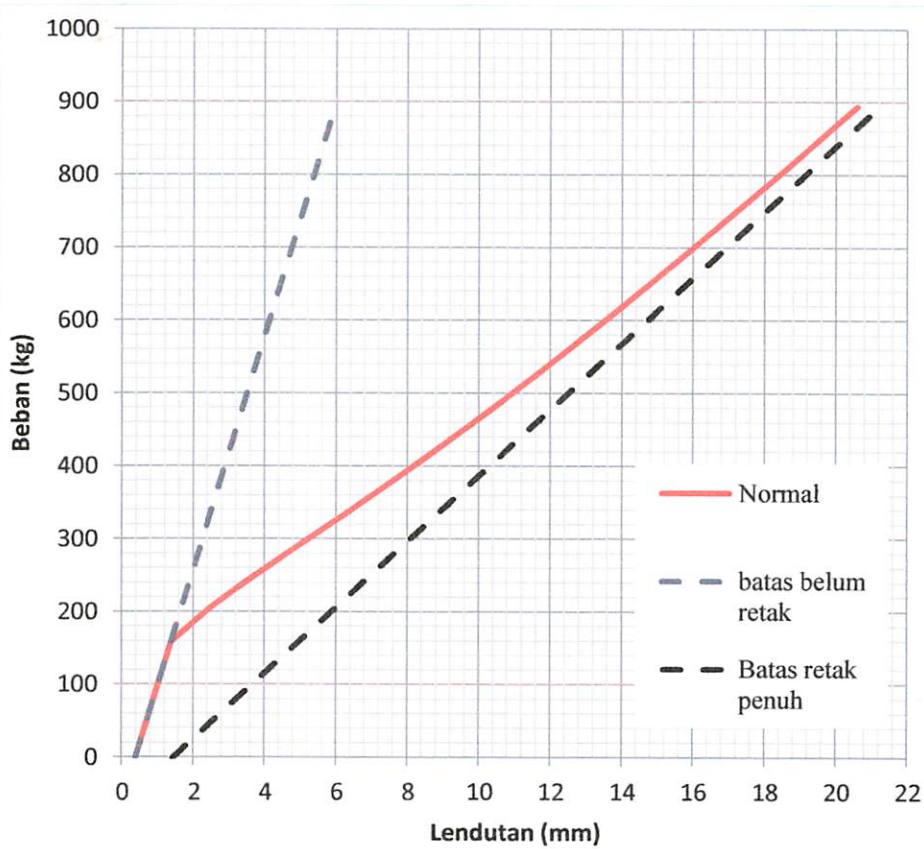
No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	l (mm)	M (Nmm)	M _{cr} (Nmm)	I _{cr} (mm ⁴)	I _g (mm ⁴)	I _e (mm ⁴)	E _c (Mpa)	Batas Δ sebelum retak	Δ (mm)	Batasan Δ retak penuh
1	0	0	0,353	2800	345940,00	1430805,61	7914211,93	28125000	28125000,00	25618,23	0,39	0,39	1,39
2	65,4	641,574	0,353	2800	795041,80	1430805,61	7914211,93	28125000	28125000,00	25618,23	0,80	0,80	2,84
3	111,4	1092,83	0,353	2800	1110923,80	1430805,61	7914211,93	28125000	28125000,00	25618,23	1,09	1,09	3,86
Relak awal	157,4	1544,09	0,353	2800	1426805,80	1430805,61	7914211,93	28125000	28125000,00	25618,23	1,37	1,37	4,88
4	157,982	1549,81	0,353	2800	1430805,61	1430805,61	7914211,93	28125000	28125000,00	25618,23	1,38	1,38	4,89
5	203,4	1995,35	0,353	2800	1742687,80	1430805,61	7914211,93	28125000	19099994,58	25618,23	1,66	2,44	5,89
6	249,4	2446,61	0,353	2800	2058569,80	1430805,61	7914211,93	28125000	14700438,53	25618,23	1,95	3,72	6,91
7	295,4	2897,87	0,353	2800	2374451,80	1430805,61	7914211,93	28125000	12336378,27	25618,23	2,23	5,09	7,93
8	341,4	3349,13	0,353	2800	2690333,80	1430805,61	7914211,93	28125000	10954443,36	25618,23	2,52	6,46	8,95
9	387,4	3800,39	0,353	2800	3006215,80	1430805,61	7914211,93	28125000	10093249,35	25618,23	2,80	7,81	9,97
10	433,4	4251,65	0,353	2800	3322097,80	1430805,61	7914211,93	28125000	9528897,29	25618,23	3,09	9,12	10,98
11	479,4	4702,91	0,353	2800	3637979,80	1430805,61	7914211,93	28125000	9143756,56	25618,23	3,38	10,39	12,00
12	525,4	5154,17	0,353	2800	3953861,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8871980,74	25618,23	3,66	11,61	13,02
13	571,4	5605,43	0,353	2800	4269743,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8674747,79	25618,23	3,95	12,81	14,04
14	617,4	6056,69	0,353	2800	4585625,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8528156,71	25618,23	4,24	13,97	15,06
15	663,4	6507,95	0,353	2800	4901507,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8416943,38	25618,23	4,52	15,11	16,07
16	709,4	6959,21	0,353	2800	5217389,80	1430805,61	7914211,93	28125000	831048,00	25618,23	4,81	16,24	17,09
17	755,4	7410,47	0,353	2800	5533271,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8263657,17	25618,23	5,10	17,34	18,11
18	801,4	7861,73	0,353	2800	5849153,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8210044,52	25618,23	5,38	18,44	19,13
19	847,4	8312,99	0,353	2800	6165035,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8166861,37	25618,23	5,67	19,52	20,14
20	893,4	8764,25	0,353	2800	6480917,80	1430805,61	7914211,93	28125000	8131690,07	25618,23	5,96	20,60	21,16

Tabel 4.10 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 1

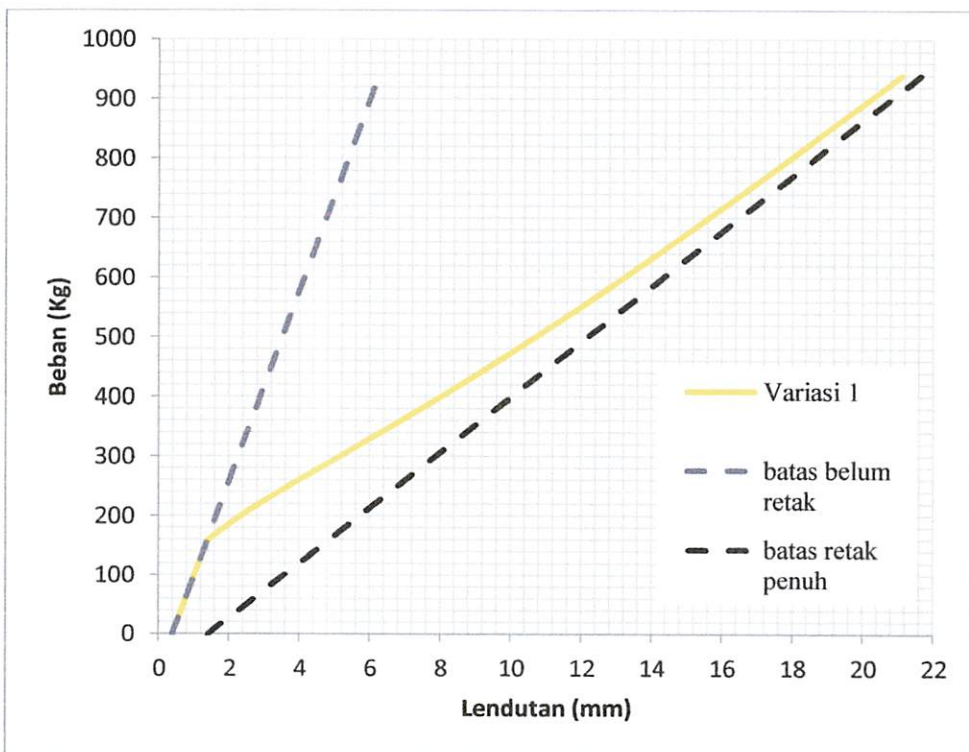
No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	l (mm)	M (Nmm)	M_{cr} (Nmm)	I_{cr} (mm ⁴)	I_g (mm ⁴)	I_e (mm ⁴)	E_c (Mpa)	Batas Δ sebelum retak	Δ (mm)	Batasan Δ retak penuh
1	0	0	0,353	2800	345940,00	1430805,61	8049043,22	28125000	28125000,00	25618,23	0,39	0,39	1,37
2	63,4	641,57	0,353	2800	793041,80	1430805,61	8049043,22	28125000	28125000,00	25618,23	0,80	0,80	2,79
3	111,4	1092,83	0,353	2800	1110923,80	1430805,61	8049043,22	28125000	28125000,00	25618,23	1,09	1,09	3,79
Retak Awal	157,4	1544,09	0,353	2800	1426805,80	1430805,61	8049043,22	28125000	28125000,00	25618,23	1,37	1,37	4,79
4	157,98	1549,81	0,353	2800	1430805,61	1430805,61	8049043,22	28125000	28125000,00	25618,23	1,38	1,38	4,81
5	203,4	1995,35	0,353	2800	1742687,80	1430805,61	8049043,22	28125000	19160202,68	25618,23	1,66	2,43	5,80
6	249,4	2446,61	0,353	2800	2058569,80	1430805,61	8049043,22	28125000	14789997,18	25618,23	1,95	3,70	6,80
7	295,4	2897,87	0,353	2800	2374451,80	1430805,61	8049043,22	28125000	12441708,17	25618,23	2,23	5,04	7,80
8	341,4	3349,13	0,353	2800	2690333,80	1430805,61	8049043,22	28125000	11068992,50	25618,23	2,52	6,40	8,80
9	387,4	3800,39	0,353	2800	3006215,80	1430805,61	8049043,22	28125000	10213543,74	25618,23	2,80	7,72	9,80
10	433,4	4251,65	0,353	2800	3322097,80	1430805,61	8049043,22	28125000	9652956,61	25618,23	3,09	9,01	10,80
11	479,4	4702,91	0,353	2800	3637979,80	1430805,61	8049043,22	28125000	9270385,25	25618,23	3,38	10,25	11,80
12	525,4	5154,17	0,353	2800	3953861,80	1430805,61	8049043,22	28125000	9000422,52	25618,23	3,66	11,45	12,80
13	571,4	5605,43	0,353	2800	4269743,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8804505,36	25618,23	3,95	12,62	13,80
14	617,4	6056,69	0,353	2800	4585625,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8658892,22	25618,23	4,24	13,76	14,80
15	663,4	6507,95	0,353	2800	4901507,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8548420,82	25618,23	4,52	14,88	15,80
16	709,4	6959,21	0,353	2800	5217389,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8463098,47	25618,23	4,81	15,98	16,80
17	755,4	7410,47	0,353	2800	5533271,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8396157,23	25618,23	5,10	17,07	17,81
18	801,4	7861,73	0,353	2800	5849153,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8342902,24	25618,23	5,38	18,14	18,81
19	847,4	8312,99	0,353	2800	6165035,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8300007,17	25618,23	5,67	19,21	19,81
20	893,4	8764,25	0,353	2800	6480917,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8265070,51	25618,23	5,96	20,26	20,81
21	939,4	9215,51	0,353	2800	6796799,80	1430805,61	8049043,22	28125000	8236328,96	25618,23	6,24	21,31	21,81

Tabel 4.11 Hasil analisis teoritis lendutan (Δ) akibat beban eksperimen balok variasi 2

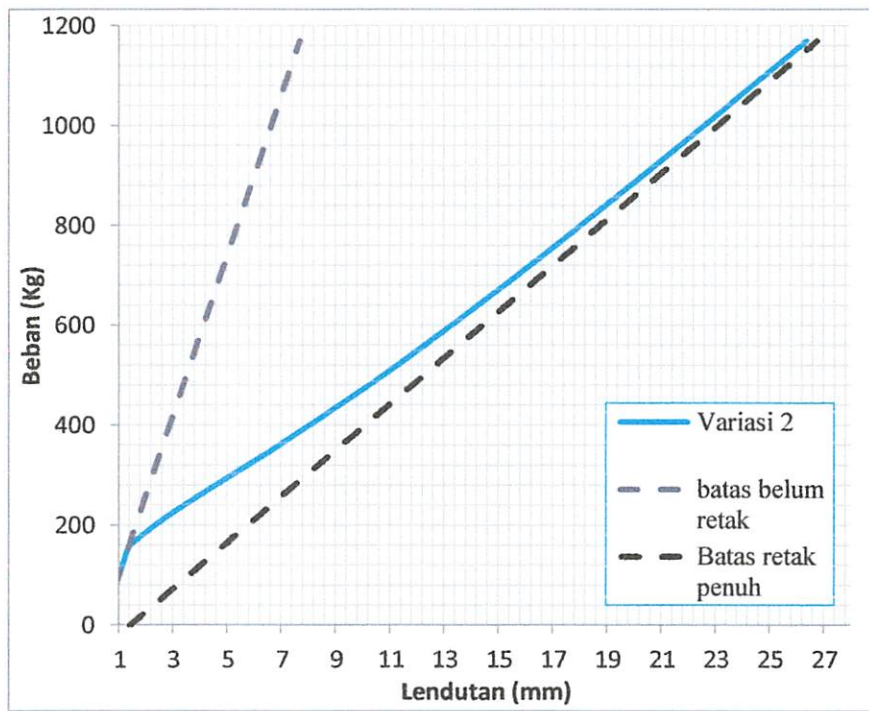
No	Beban (P) (Kg)	Beban (P) (N)	Beban (q) (N/mm)	l (mm)	M (Nmm)	M_{cr} (Nmm)	I_{cr} (mm ⁴)	I_g (mm ⁴)	I_e (mm ⁴)	E_c (Mpa)	Batas Δ sebelum retak	Δ (mm)	Batasan Δ retak penuh
1	0	0	0,353	2800	345940,00	1430805,608	8085084,57	28125000	28125000,00	25618,234	0,39	0,39	1,36
2	65,4	641,574	0,353	2800	795041,80	1430805,608	8085084,57	28125000	28125000,00	25618,234	0,80	0,80	2,78
3	111,4	1092,83	0,353	2800	1110923,80	1430805,608	8085084,57	28125000	28125000,00	25618,234	1,09	1,09	3,78
Retak Awal	157,4	1544,09	0,353	2800	1426805,80	1430805,608	8085084,57	28125000	28125000,00	25618,234	1,37	1,37	4,77
4	157,98	1549,81	0,353	2800	1430805,61	1430805,608	8085084,57	28125000	28125000,00	25618,234	1,38	1,38	4,79
5	203,4	1995,35	0,353	2800	1742687,80	1430805,608	8085084,57	28125000	19176296,73	25618,234	1,66	2,43	5,77
6	249,4	2446,61	0,353	2800	2058569,80	1430805,608	8085084,57	28125000	14813936,84	25618,234	1,95	3,69	6,77
7	295,4	2897,87	0,353	2800	2374451,80	1430805,608	8085084,57	28125000	12469863,59	25618,234	2,23	5,03	7,76
8	341,4	3349,13	0,353	2800	2690333,80	1430805,608	8085084,57	28125000	11099612,29	25618,234	2,52	6,38	8,76
9	387,4	3800,39	0,353	2800	3006215,80	1430805,608	8085084,57	28125000	10245699,27	25618,234	2,80	7,70	9,76
10	433,4	4251,65	0,353	2800	3322097,80	1430805,608	8085084,57	28125000	9686118,53	25618,234	3,09	8,97	10,75
11	479,4	4702,91	0,353	2800	3637979,80	1430805,608	8085084,57	28125000	9304233,99	25618,234	3,38	10,21	11,75
12	525,4	5154,17	0,353	2800	3953861,80	1430805,608	8085084,57	28125000	9034755,91	25618,234	3,66	11,40	12,74
13	571,4	5605,43	0,353	2800	4269743,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8839190,47	25618,234	3,95	12,57	13,74
14	617,4	6056,69	0,353	2800	4585625,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8693838,74	25618,234	4,24	13,71	14,74
15	663,4	6507,95	0,353	2800	4901507,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8583565,67	25618,234	4,52	14,82	15,73
16	709,4	6959,21	0,353	2800	5217389,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8498396,49	25618,234	4,81	15,92	16,73
17	755,4	7410,47	0,353	2800	5533271,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8431575,42	25618,234	5,10	17,00	17,73
18	801,4	7861,73	0,353	2800	5849153,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8378416,04	25618,234	5,38	18,07	18,72
19	847,4	8312,99	0,353	2800	6165035,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8335597,98	25618,234	5,67	19,13	19,72
20	893,4	8764,25	0,353	2800	6480917,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8300724,04	25618,234	5,96	20,18	20,72
21	939,4	9215,51	0,353	2800	6796799,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8272034,09	25618,234	6,24	21,22	21,71
22	985,4	9666,77	0,353	2800	7112681,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8248216,00	25618,234	6,53	22,26	22,71
23	1031,4	10118	0,353	2800	7428563,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8228278,04	25618,234	6,81	23,29	23,70
24	1077,4	10569,3	0,353	2800	7744445,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8211461,20	25618,234	7,10	24,32	24,70
25	1123,4	11020,6	0,353	2800	8060327,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8197177,88	25618,234	7,39	25,35	25,70
26	1169,4	11471,8	0,353	2800	8376209,80	1430805,608	8085084,57	28125000	8184968,39	25618,234	7,67	26,37	26,69



Grafik 1 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis balok normal



Grafik 2 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis balok variasi 1



Grafik 3 Hubungan beban eksperimen-lendutan teoritis balok variasi 2

4.3.4. Retak awal

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

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

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

$$M_{cr} = 1430805.608 \text{ Nmm} \quad l_n = 2800 \text{ mm} \quad q = 0.353 \text{ N/mm}$$

maka :

$$P = 4(M_{cr} - \frac{1}{8}ql^2)/l_n = (4*(1430805.608 - (\frac{1}{8}*0.353*2800^2)))/2800 = 1549.808 \text{ N}$$

$$192.045 \text{ Kg}$$

Pada keseluruhan balok, secara teoritis retak awal terjadi pada saat beban yang bekerja sebesar 192.045 Kg.

4.4. Analisis Eksperimen

4.4.1. Lendutan

1. Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : BN-1B

Tanggal pengujian : 24/07-2011

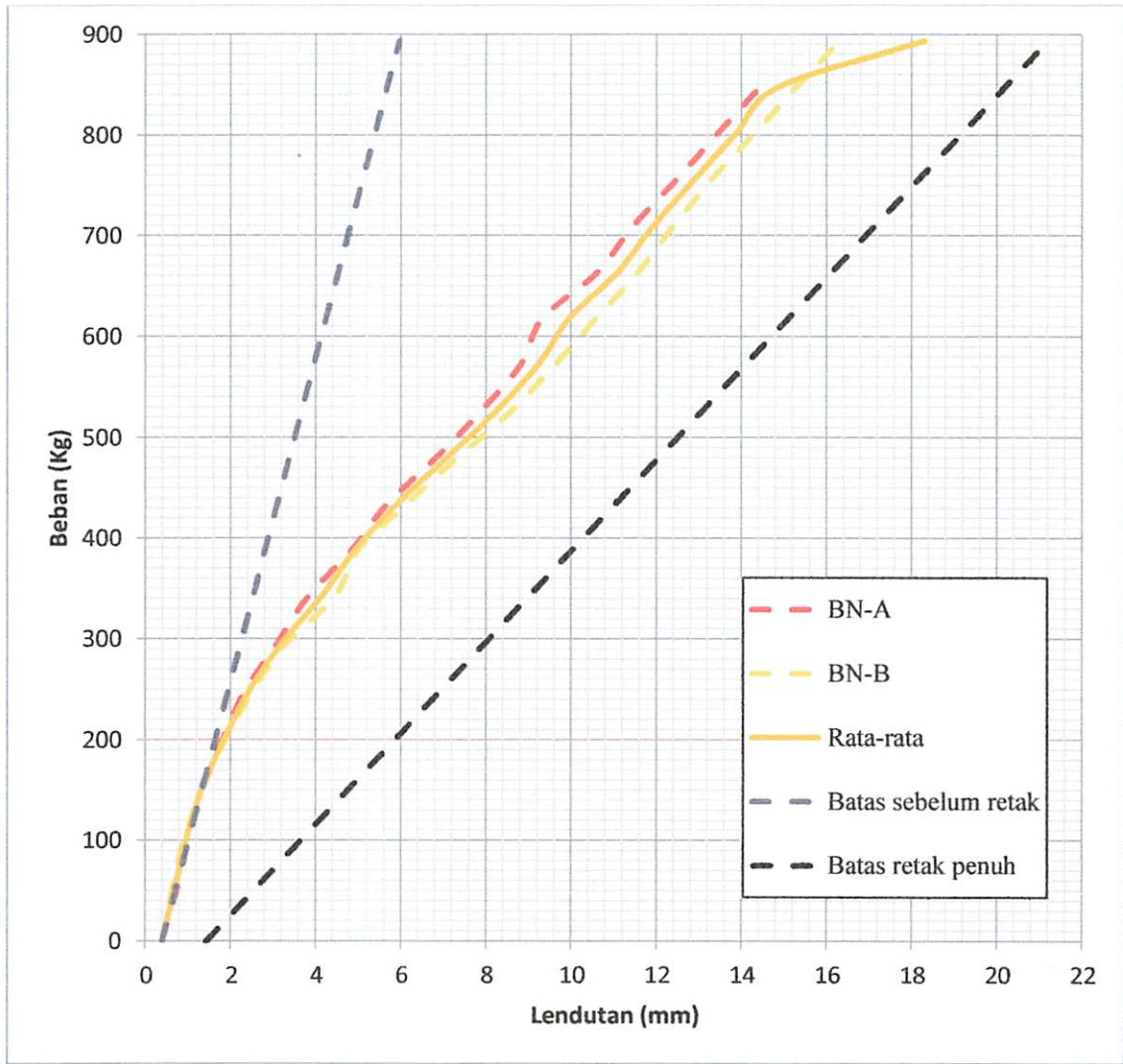
$f_c = 29.71 \text{ MPa}$

$f_y = 403.62 \text{ Mpa}$

Benda uji		:	BN-A		
Tanggal pengujian		:	22/7-2011		
Tul. Tekan		:	2Ø8		
No.	Bacaan proving ring	Beban (Kg)	Bacaan MVD	Defleksi (mm)	
1	0	0	222	0,39	
2	2	65,4	265	0,82	
3	4	111,4	288	1,05	
4	6	157,4	319	1,36	
5	8	203,4	367	1,84	
6	10	249,4	418	2,35	
7	12	295,4	492	3,09	
8	14	341,4	564	3,81	
9	16	387,4	666	4,83	
10	18	433,4	749	5,66	
11	20	479,4	865	6,82	
12	22	525,4	970	7,87	
13	24	571,4	1063	8,80	
14	26	617,4	1115	9,32	
15	28	663,4	1244	10,61	
16	30	709,4	1328	11,45	
17	32	755,4	1429	12,46	
18	34	801,4	1526	13,43	
19	36	847,4	1626	14,43	
20	38	893,4	2213	20,30	

Tabel 4.12 Data hasil eksperimen balok normal

No.	Beban (Kg)	BN-1A Lendutan (mm)	BN-1B Lendutan (mm)	Lendutan rata-rata
1	0	0,39	0,00	0,39
2	65,4	0,82	0,00	0,76
3	88,4	1,05	0,01	1,02
4	111,4	1,36	0,01	1,38
5	134,4	1,84	0,01	1,88
6	157,4	2,35	0,02	2,45
7	180,4	3,09	0,03	3,20
8	203,4	3,81	0,03	4,13
9	226,4	4,83	0,04	4,91
10	249,4	5,66	0,05	5,89
11	272,4	6,82	0,06	7,07
12	295,4	7,87	0,07	8,23
13	318,4	8,80	0,08	9,21
14	341,4	9,32	0,09	9,95
15	364,4	10,61	0,10	11,09
16	387,4	11,45	0,11	11,92
17	410,4	12,46	0,12	12,88
18	433,4	13,43	0,13	13,86
19	456,4	14,43	0,14	14,86
20	479,4	20,30	0,20	18,30



Grafik 4 Hubungan beban-lendutan eksperimen balok normal

Benda uji : BB-1A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-1B

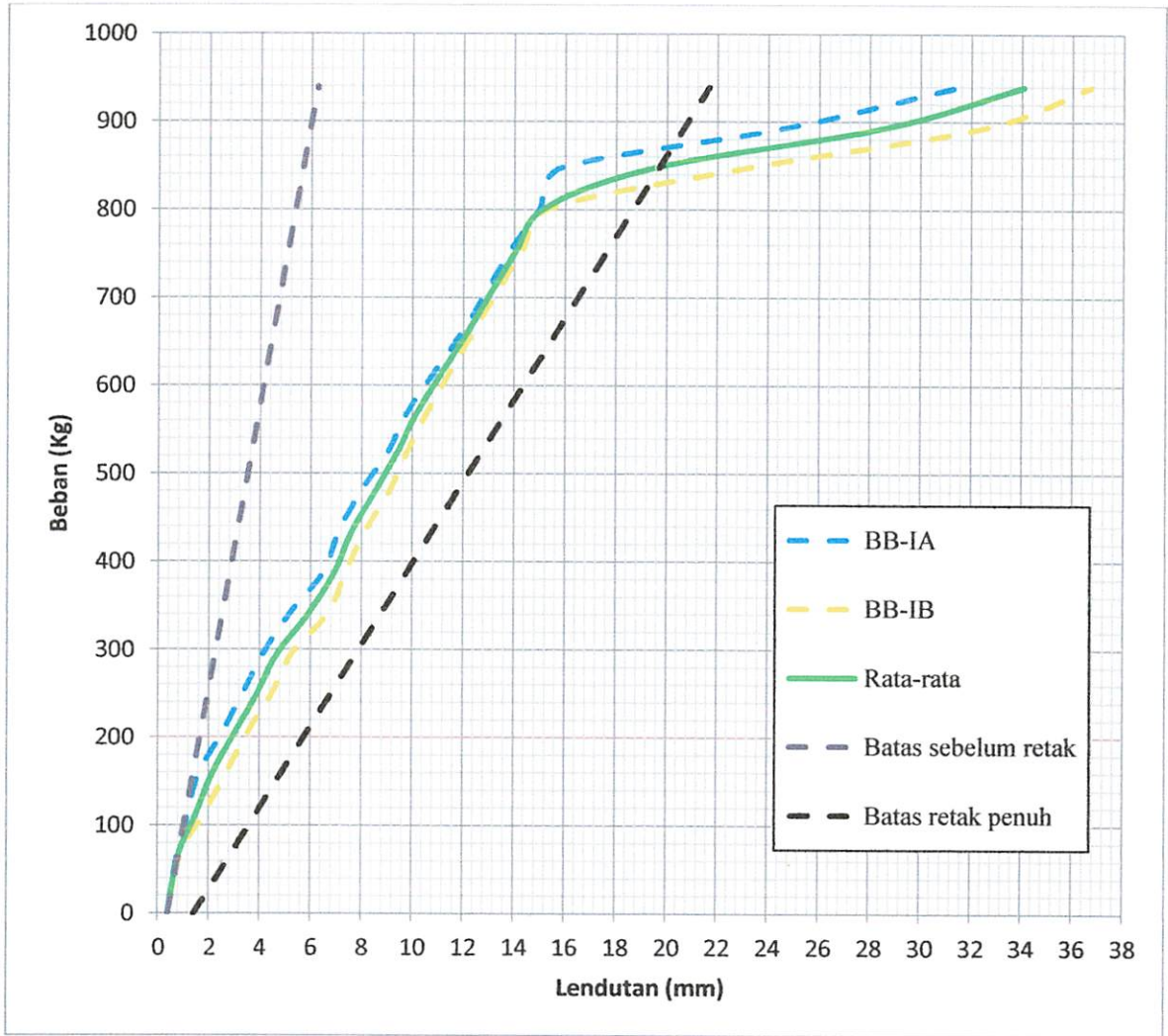
Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ Mpa

Tabel 4.13 Data hasil eksperimen balok variasi 1

No.	Beban (Kg)	BN-A	BN-A	Lendutan rata-rata
		Lendutan (mm)	Lendutan (mm)	
1	0	0,39	0,39	0,39
2	65,4	0,75	0,80	0,85
3	111,4	1,17	1,48	1,78
4	157,4	1,58	2,12	2,65
5	203,4	2,49	2,99	3,48
6	249,4	3,31	3,89	4,47
7	295,4	4,14	4,70	5,26
8	341,4	5,19	5,94	6,69
10	433,4	7,09	7,60	8,11
11	479,4	7,96	8,52	9,07
12	525,4	9,04	9,42	9,80
13	571,4	9,83	10,22	10,61
14	617,4	10,70	11,12	11,53
15	663,4	12,00	12,21	12,41
16	709,4	12,94	13,15	13,35
17	755,4	13,87	14,10	14,33
18	801,4	14,98	15,16	15,34
19	847,4	15,82	19,48	23,13
20	893,4	24,72	28,63	32,53
21	939,4	31,44	34,07	36,69



Grafik 5 Hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 1

1. Balok normal

Benda uji : BB-2A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-2B

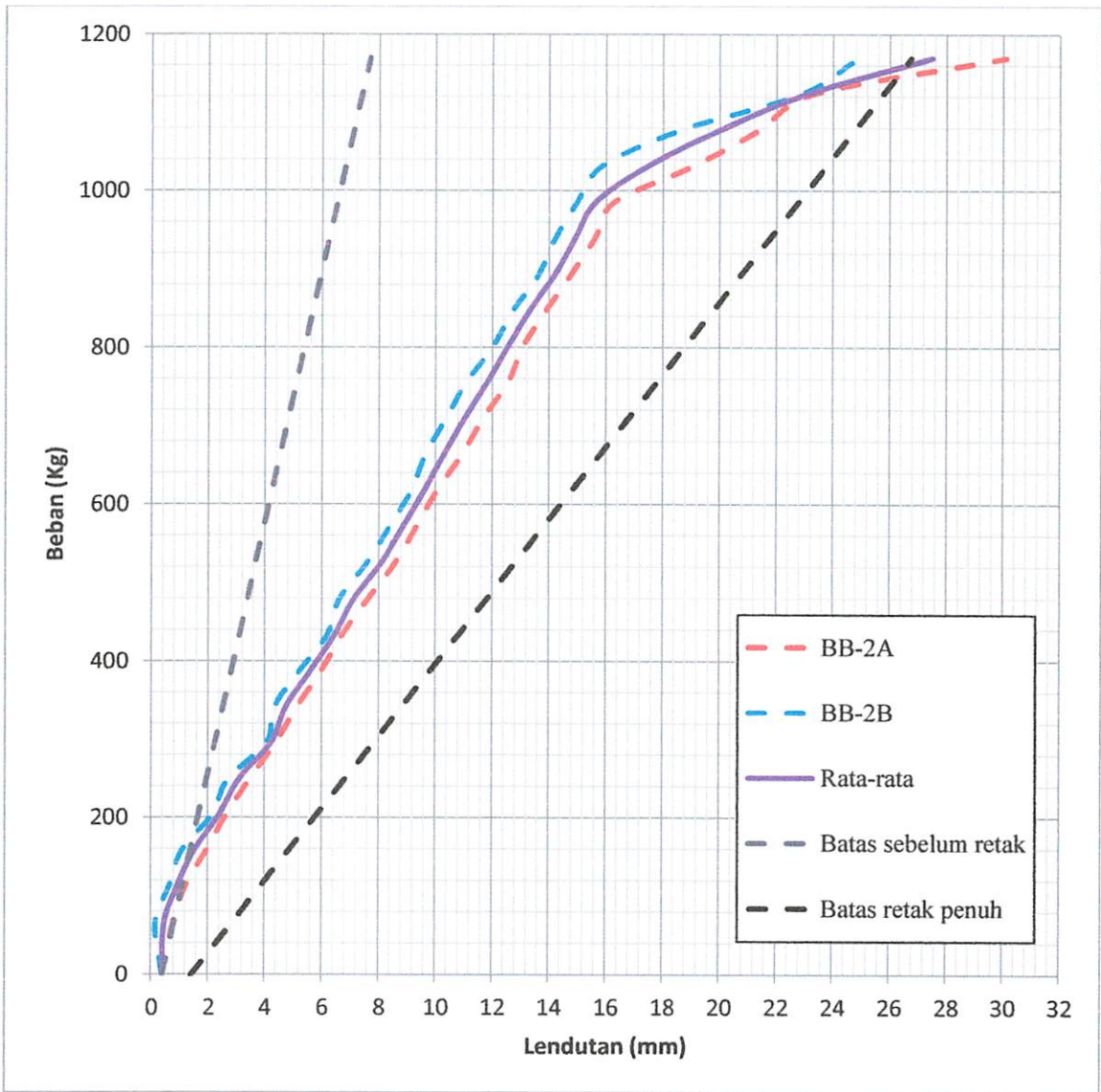
Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f_c = 29.71 \text{ MPa}$

$f_y = 403.62 \text{ Mpa}$

Tabel 4.14 Data hasil eksperimen balok variasi 2

No.	Beban (Kg)	BB-2A Lendutan (mm)	BN-2B Lendutan (mm)	Lendutan rata-rata
1	0	0,39	0,39	0,39
2	65,4	0,77	0,16	0,47
3	111,4	1,19	0,63	0,91
4	157,4	1,93	1,08	1,51
5	203,4	2,63	2,14	2,39
6	249,4	3,48	2,71	3,10
7	295,4	4,38	4,06	4,22
8	341,4	5,13	4,35	4,74
9	387,4	5,98	5,22	5,60
10	433,4	6,71	6,19	6,45
11	479,4	7,62	6,62	7,12
12	525,4	8,59	7,59	8,09
13	571,4	9,33	8,38	8,86
14	617,4	10,05	9,15	9,60
15	663,4	10,93	9,65	10,29
16	709,4	11,67	10,37	11,02
17	755,4	12,54	11,08	11,81
18	801,4	13,07	12,02	12,55
19	847,4	13,89	12,72	13,31
20	893,4	14,77	13,63	14,20
21	939,4	15,60	14,21	14,91
22	985,4	16,28	14,97	15,63
23	1031,4	19,06	15,85	17,46
24	1077,4	21,38	18,62	20,00
25	1123,4	23,26	22,84	23,05
26	1169,4	30,09	24,89	27,49



Grafik 6 Hubungan beban-lendutan eksperimen balok variasi 2

4.3.6. Retak

1. Balok normal

Benda uji : BN-1A

Tanggal pengujian : 24/07-2011

Benda uji : BN-1B

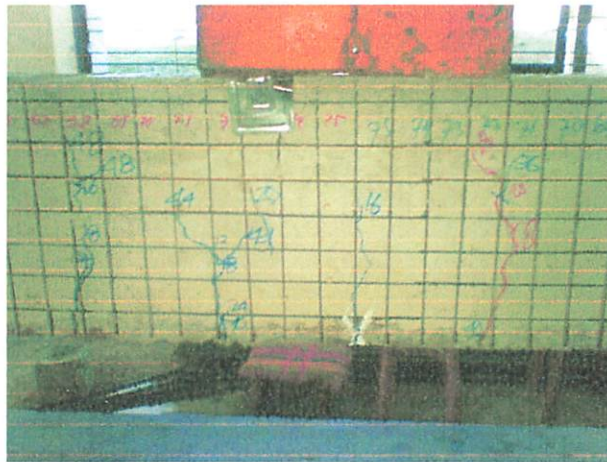
Tanggal pengujian : 24/07-2011

$f'_c = 29.71 \text{ MPa}$

$f_y = 403.62 \text{ Mpa}$

Pada balok normal 1A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 38 satuan atau sebesar 203,40 kg pada posisi 72 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar $\pm 16.5 \text{ cm}$ ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.84 mm pada kotak 72 F kiri.

Pada balok normal 1B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 16 satuan atau sebesar 157,4 kg pada posisi 74 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar $\pm 11.6 \text{ cm}$ ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.2 mm pada kotak 70F kiri.



Gambar 4.12 Rekam retak yang terjadi pada balok normal 1A



Gambar 4.13 Rekam retak yang terjadi pada balok normal 1B

2. Balok variasi 1

Benda uji : BB-1A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-1B

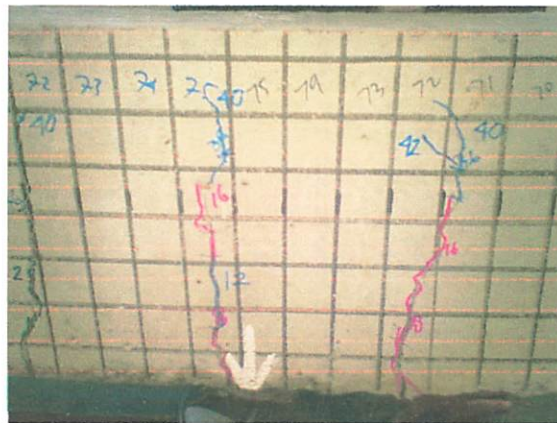
Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f'_c = 29.71 \text{ MPa}$

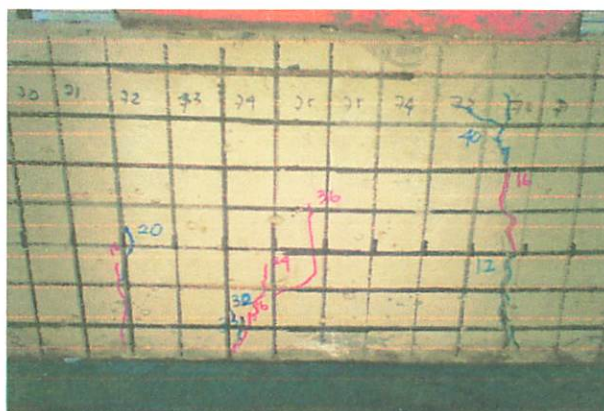
$f_y = 403.62 \text{ Mpa}$

Pada balok variasi 1A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 6 satuan atau sebesar 157.40 kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar $\pm 14.6 \text{ cm}$ ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.16 mm pada kotak 75G kanan.

Pada balok variasi 1B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 16 satuan atau sebesar 157,40kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar $\pm 13.2 \text{ cm}$ ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.2 mm pada kotak 72 G kiri.



Gambar 4.14 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 1A



Gambar 4.15 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 1B

2. Balok variasi 2

Benda uji : BB-2A

Tanggal pengujian : 23/07-2011

Benda uji : BB-2B

Tanggal pengujian : 23/07-2011

$f'_c = 29.71$ MPa

$f_y = 403.62$ Mpa

Pada balok variasi 2A, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 20 satuan atau sebesar 479.4 kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 5.2 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 1.54 mm pada kotak 72F kiri.

Pada balok variasi 2B, rekam retak pertama pada saat bacaan proving ring sebesar 16 satuan atau sebesar 387.4 kg pada posisi 73 kotak dari tumpuan kanan. Panjang retak sebesar ± 6.6 cm ke arah atas. Lebar retak akhir sebesar 2.2 mm pada kotak 72F kiri.



Gambar 4.14 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 2 A



Gambar 4.15 Rekam retak yang terjadi pada balok variasi 2 B

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 2,8 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 retak ± 16.5 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 893.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 893.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.84 mm yang terdapat pada kotak 72F kiri.

Mekanisme balok BN-1B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 11.6 cm pada tengah balok di posisi 73 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 709.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 893.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.2 mm yang terdapat pada kotak 70F kiri.

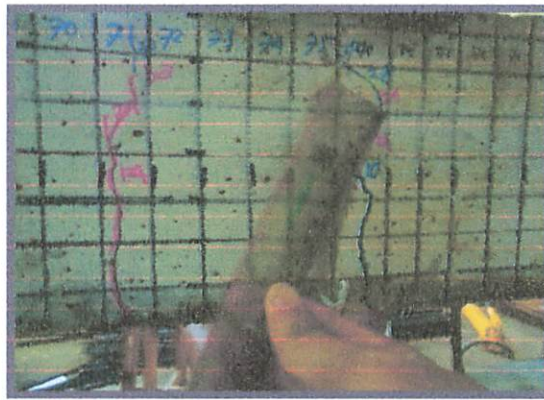


Gambar 4.18 Balok mengalami lendutan akibat beban puncak

Mekanisme balok BB-1A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang retak ± 14.6 cm pada tengah balok 73 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 157.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban

puncak sebesar 939.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.1 mm yang terdapat pada kotak 72G kanan.

Mekanisme balok BB-1B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 9.2 cm pada tengah balok di posisi 74 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 295.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 571.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.92 mm yang terdapat pada kotak 74G kanan.



Gambar 4.19 Pengukuran panjang retak

Mekanisme balok BB-2A terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 7.6 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kiri saat beban mencapai $P = 2.16$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 479.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 1.68 mm yang terdapat pada kotak 75F kanan.

Mekanisme balok BB-2B terlentur maksimal, diawali dengan retak membelah arah ke atas balok dengan panjang ± 6.7 cm pada tengah balok di posisi 75 kotak dari tumpuan kanan saat beban mencapai $P = 249.4$ kg. Kemudian lendutan bertambah seiring dengan penambahan beban hingga mencapai beban puncak sebesar 479.4 kg. Retak yang terjadi berupa retak lentur dengan lebar retak akhir yang dihasilkan sebesar 2.4 mm yang terdapat pada kotak 74G kanan.



Gambar 4.20 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 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 persentase dan kurva hubungan beban lendutan. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut.

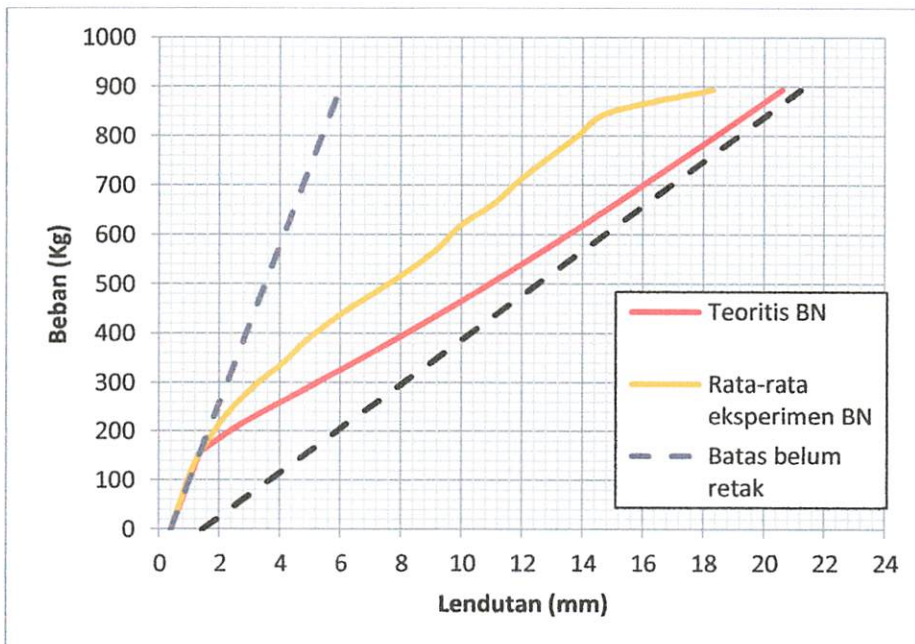
1. Balok normal

Perbandingan antara lendutan balok normal (BN) teoritis (Tabel 4.10) dan lendutan eksperimen (Tabel 4.13) balok normal ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah -0.72% pada beban 157.4 Kg dan terbesar 37.14% pada beban 387.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar 23.49% (tabel 4.16).

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 4.10 dan Tabel 4.13) seperti terlihat pada grafik 7.

Tabel 4.15 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok normal

No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0,39	0,00	0,00
2	65,4	0,76	4,66	4,66
3	88,4	1,02	5,86	5,86
4	111,4	1,38	-0,72	-0,72
5	134,4	-		23,14
6	157,4	1,88	23,14	34,24
7	180,4	2,45	34,24	37,06
8	203,4	3,20	37,06	36,16
9	226,4	4,13	36,16	37,14
10	249,4	4,91	37,14	35,41
11	272,4	5,89	35,41	31,97
12	295,4	7,07	31,97	29,16
13	318,4	8,23	29,16	28,11
14	341,4	9,21	28,11	28,77
15	364,4	9,95	28,77	26,64
16	387,4	11,09	26,64	26,57
17	410,4	11,92	26,57	25,75
18	433,4	12,88	25,75	24,82
19	456,4	13,86	24,82	23,89
20	479,4	14,86	23,89	11,14
Rata-rata				23.49



Grafik 7 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok normal.

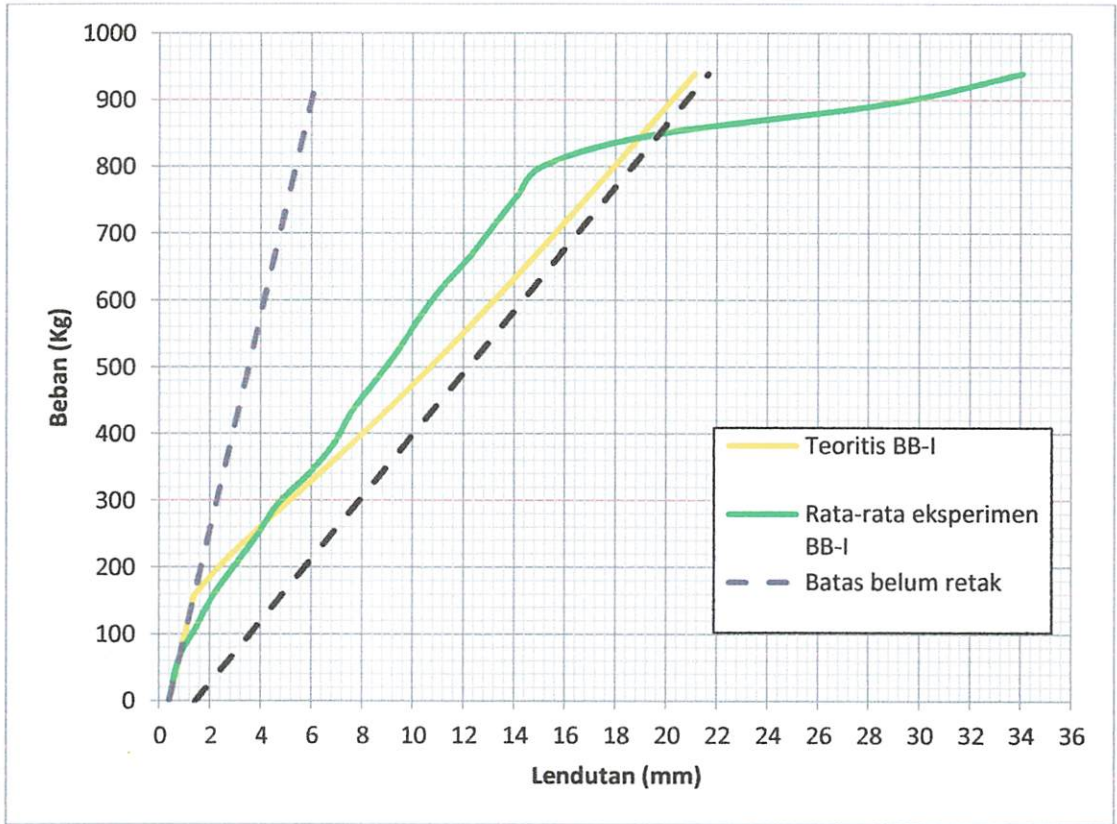
2. Balok variasi 1

Perbandingan antara lendutan balok variasi 1 (BB-1) teoritis (Tabel 4.11) dan lendutan eksperimen (Tabel 4.14) balok normal ditemukan perbedaan lendutan yang bervariasi dimana nilai terkecil adalah -61.40% pada beban 939.4 Kg dan terbesar 18.48% pada beban 617.4 Kg. Sedang, perbedaan rata-rata sebesar -2.33% (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 4.11 dan Tabel 4.14) seperti terlihat pada grafik 8.

Tabel 4.16 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok variasi 1

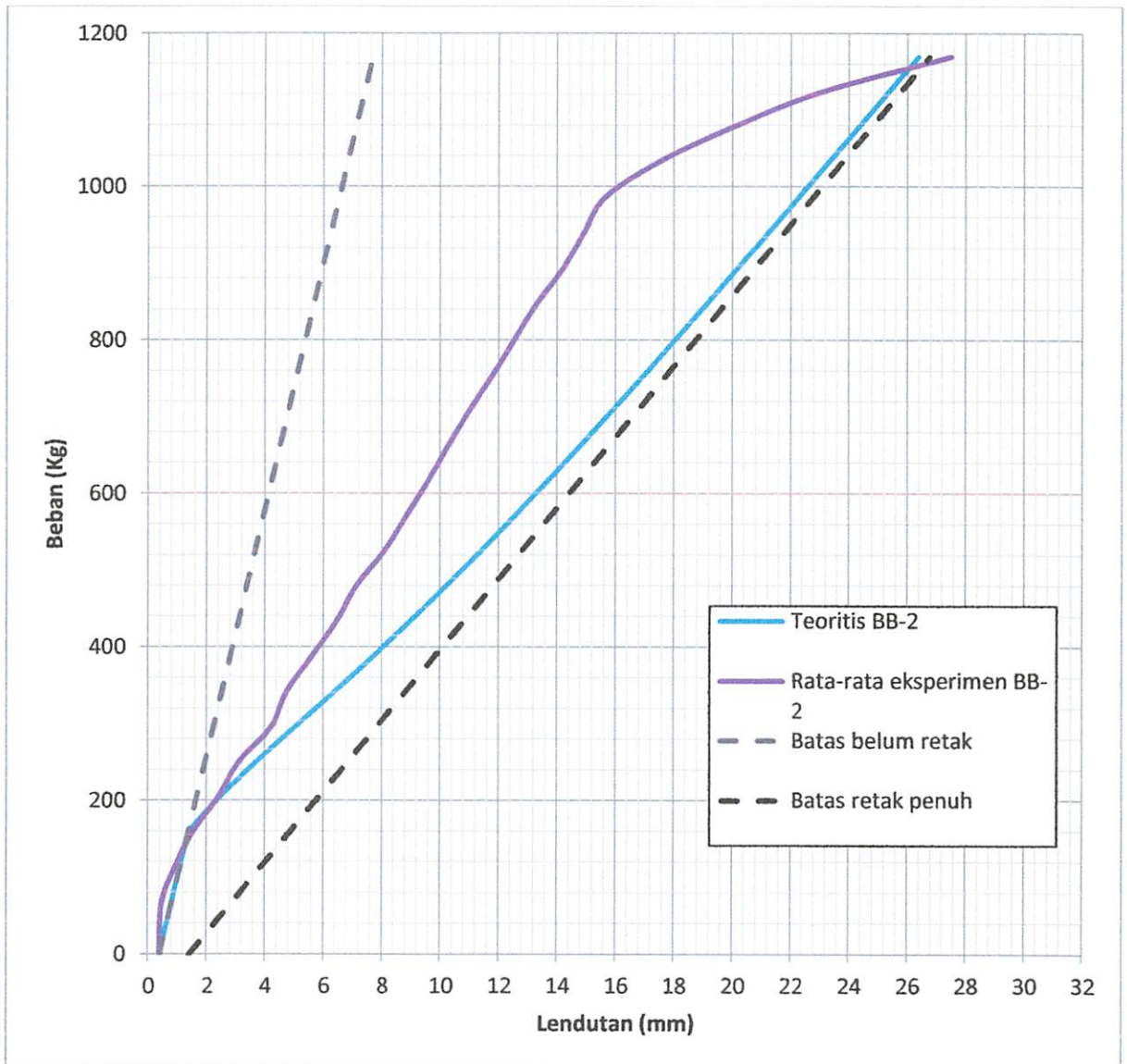
No	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0,39	0,39	0,00
2	65,4	0,80	0,80	-0,35
3	88,4	1,48	1,48	-36,04
4	111,4	2,12	2,12	-54,29
5	134,4	-	-	0,00
6	157,4	2,99	2,99	-22,92
7	180,4	3,89	3,89	-5,61
8	203,4	4,70	4,70	6,31
9	226,4	5,94	5,94	6,54
10	249,4	6,93	6,93	9,66
11	272,4	7,60	7,60	14,93
12	295,4	8,52	8,52	16,19
13	318,4	9,42	9,42	16,99
14	341,4	10,22	10,22	18,27
15	364,4	11,12	11,12	18,48
16	387,4	12,21	12,21	17,21
17	410,4	13,15	13,15	16,97
18	433,4	14,10	14,10	16,60
19	456,4	15,16	15,16	15,64
20	479,4	19,48	19,48	-2,38
21	502,4	28,63	28,63	-42,64
Rata-rata				-2,33



Grafik 8 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 1

Tabel 4.17 Perbandingan lendutan teoritis dan eksperimen pada balok variasi 2

No	Beban proving ring	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis (mm)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen (mm)	Perbedaan (%)
1	0	0	0,39	0,39	0,00
2	2	65,4	0,80	0,47	41,56
3	4	111,4	1,09	0,91	15,99
4	6	157,4	1,37	1,51	-9,83
Retak awal		157,982	1,38	-	
5	8	203,4	2,43	2,39	1,87
6	10	249,4	3,69	3,10	16,13
7	12	295,4	5,03	4,22	16,11
8	14	341,4	6,38	4,74	25,67
9	16	387,4	7,70	5,60	27,23
10	18	433,4	8,97	6,45	28,11
11	20	479,4	10,21	7,12	30,23
12	22	525,4	11,40	8,09	29,05
13	24	571,4	12,57	8,86	29,53
14	26	617,4	13,71	9,60	29,94
15	28	663,4	14,82	10,29	30,55
16	30	709,4	15,92	11,02	30,75
17	32	755,4	17,00	11,81	30,51
18	34	801,4	18,07	12,55	30,55
19	36	847,4	19,13	13,31	30,43
20	38	893,4	20,18	14,20	29,61
21	40	939,4	21,22	14,91	29,75
22	42	985,4	22,26	15,63	29,79
23	44	1031,4	23,29	17,46	25,05
24	46	1077,4	24,32	20,00	17,76
25	48	1123,4	25,35	23,05	9,05
26	50	1169,4	26,37	27,49	-4,26
Rata-rata					20.81



Grafik 9 Lendutan eksperimen dan lendutan teoritis balok variasi 2.

4.4.3. Perbandingan teoritis antar balok

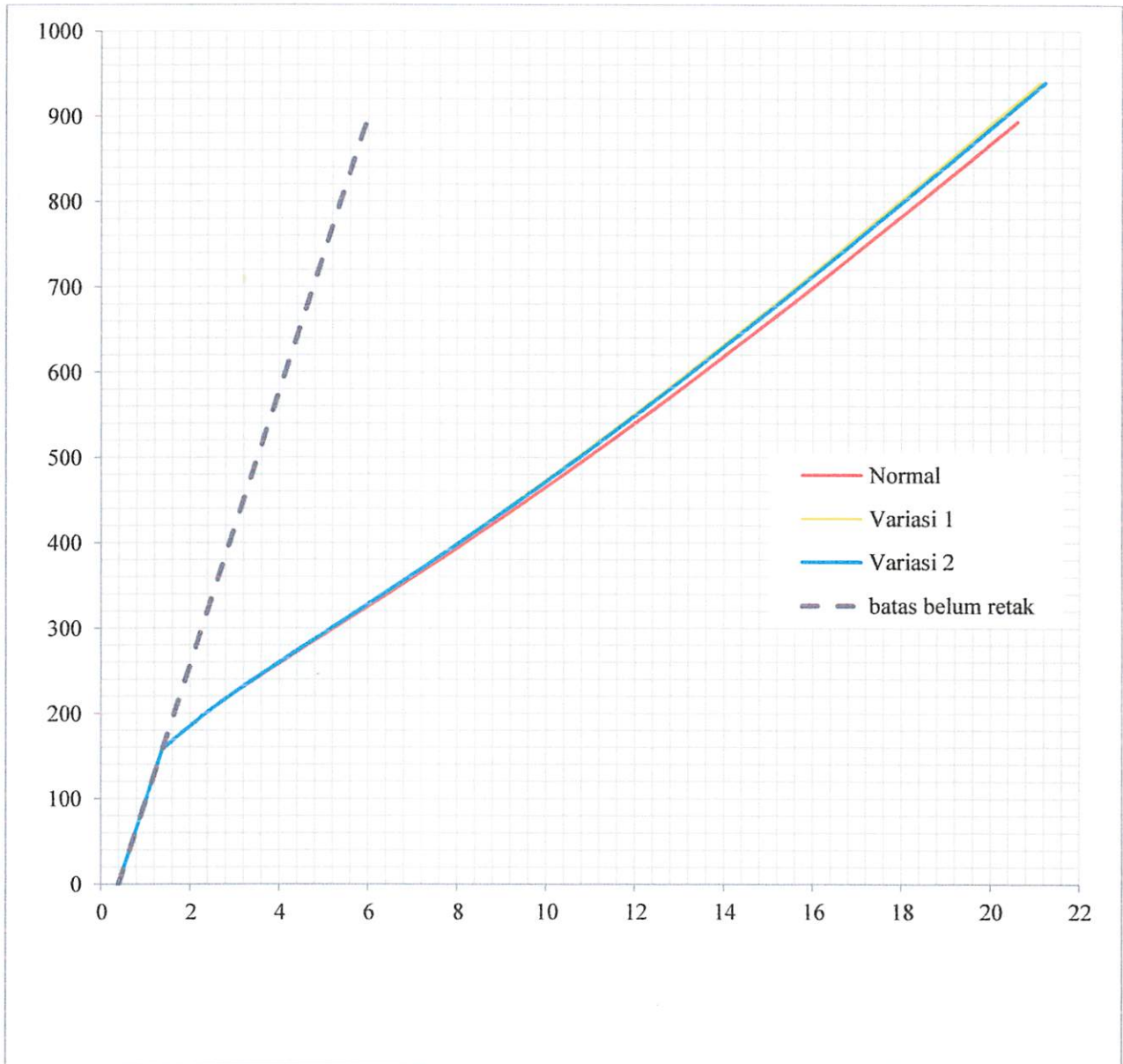
Untuk perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen, kami tampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban lendutan pada grafik 10.

Tabel 4.18 Perbandingan lendutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen

No	Beban proving ring	Beban (P) (Kg)	Δ teoritis BN	Δ teoritis BB-1	Δ teoritis BB-2	Perbedaan Δ (%) terhadap BN		Perbedaan Δ BB-1 dan BB-2 (%)
						BB-1	BB-2	
1	0	0	0,392	0,392	0,392	0,00	0,00	0,00
2	2	65,4	0,799	0,799	0,799	0,00	0,00	0,00
3	4	111,4	1,086	1,086	1,086	0,00	0,00	0,00
4	6	157,4	1,372	1,372	1,372	0,00	0,00	0,00
5	8	203,4	2,442	2,430	2,433	-0,50	-0,40	-0,10
6	10	249,4	3,721	3,685	3,693	-0,97	-0,77	-0,20
7	12	295,4	5,087	5,019	5,033	-1,35	-1,07	-0,28
8	14	341,4	6,465	6,358	6,380	-1,65	-1,31	-0,34
9	16	387,4	7,814	7,668	7,698	-1,87	-1,49	-0,39
10	18	433,4	9,123	8,936	8,974	-2,04	-1,62	-0,43
11	20	479,4	10,388	10,163	10,209	-2,17	-1,72	-0,45
12	22	525,4	11,614	11,351	11,405	-2,27	-1,80	-0,47
13	24	571,4	12,807	12,507	12,569	-2,34	-1,86	-0,49
14	26	617,4	13,972	13,637	13,705	-2,40	-1,91	-0,50
15	28	663,4	15,113	14,745	14,820	-2,44	-1,94	-0,51
16	30	709,4	16,236	15,834	15,916	-2,47	-1,97	-0,52
17	32	755,4	17,343	16,909	16,998	-2,50	-1,99	-0,52
18	34	801,4	18,438	17,972	18,067	-2,53	-2,01	-0,53
19	36	847,4	19,522	19,025	19,126	-2,54	-2,02	-0,53
20	38	893,4	20,597	20,070	20,177	-2,56	-2,04	-0,53
Rata-rata						-1,63	-1,30	-0,34

Berdasarkan perhitungan lendutan secara teoritis untuk beban eksperimen diperoleh variasi lendutan untuk beban yang sama terhadap BN. Seperti pada beban 617.4 kg terdapat perbedaan sebesar -2.40% untuk BB-1 dan perbedaan sebesar -1.91% untuk BB-2. Sedang antara keduanya sebesar -0.50%.

Rata-rata perbedaan lendutan teoritis antar balok terhadap balok normal sebesar -1.63% untuk BB-1 dan -1.30% untuk BB-2. Sedang antara keduanya sebesar -0.34%. 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.



Grafik 10 Lentutan teoritis antar balok akibat beban eksperimen

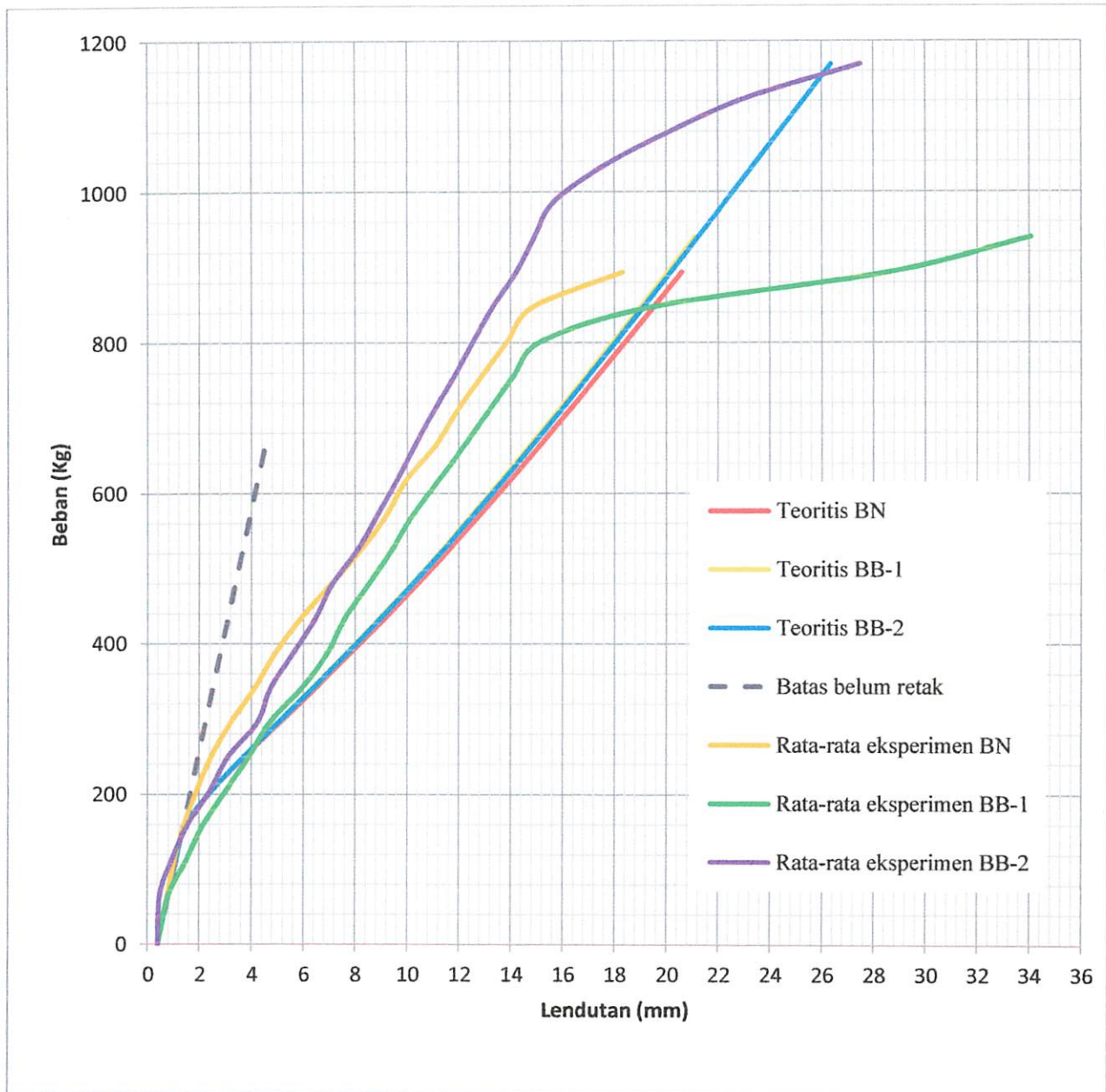
4.4.4. Perbandingan eksperimen antar balok

Untuk perbandingan lentutan eksperimen antar balok, kami tampilkan dalam bentuk tabel 4.20 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban lentutan pada grafik 11.

Berdasarkan hasil perbandingan lentutan hasil eksperimen antar balok, diperoleh variasi lentutan pada masing-masing balok terhadap beban yang sama. Secara rata-rata diperoleh perbedaan lentutan terhadap BN sebesar 20.22% untuk BB-1 dan -0.77% untuk BB-2. Sedang antar BB-1 dan BB-2 sebesar -20.94%. Ini menandakan nilai lentutan bertambah seiring penambahan tulangan tekan untuk nilai beban yang sama ($\Delta_{BN} < \Delta_{BB-1} < \Delta_{BB-2}$).

Tabel 4.19 Perbandingan lendutan eksperimen antar balok

No	Beban proving ring	Beban (P) (Kg)	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BN	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BB-1	$\Delta_{rata-rata}$ eksperimen BB-2	Perbedaan Δ (%) terhadap BN		Perbedaan Δ BB-1 dan BB-2 (%)
						BB-1	BB-2	
1	0	0	0,39	0,39	0,39	0,00	0,00	0,00
2	2	65,4	0,76	0,80	0,47	4,99	-38,71	-41,77
3	4	111,4	1,02	1,48	0,91	30,80	-12,06	-38,25
4	6	157,4	1,38	2,12	1,51	34,72	8,29	-28,81
5	8	203,4	1,88	2,99	2,39	37,16	21,36	-20,09
6	10	249,4	2,45	3,89	3,10	37,13	20,99	-20,43
7	12	295,4	3,20	4,70	4,22	31,90	24,16	-10,21
8	14	341,4	4,13	5,94	4,74	30,54	12,97	-20,19
9	16	387,4	4,91	6,93	5,60	29,09	12,32	-19,13
10	18	433,4	5,89	7,60	6,45	22,49	8,68	-15,13
11	20	479,4	7,07	8,52	7,12	17,02	0,77	-16,38
12	22	525,4	8,23	9,42	8,09	12,68	-1,64	-14,12
13	24	571,4	9,21	10,22	8,86	9,93	-3,80	-13,35
14	26	617,4	9,95	11,12	9,60	10,48	-3,52	-13,63
15	28	663,4	11,09	12,21	10,29	9,17	-7,17	-15,69
16	30	709,4	11,92	13,15	11,02	9,32	-7,55	-16,16
17	32	755,4	12,88	14,10	11,81	8,69	-8,27	-16,24
18	34	801,4	13,86	15,16	12,55	8,57	-9,49	-17,25
19	36	847,4	14,86	19,48	13,31	23,72	-10,43	-31,68
20	38	893,4	18,30	28,63	14,20	36,07	-22,40	-50,39
Rata-rata						20,22	-0,77	-20,94



Grafik 11 Lendutan teoritis dan eksperimen

4.4.5. 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 4.20 dan 4.21 di bawah ini dan digambarkan dalam kurva hubungan beban - lendutan pada gambar 4.41.

Tabel 4.20 Hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan

Beban (Kg)	tulangan tekan		
	2	5	6
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	2,44	2,43	2,43
249,4	3,72	3,69	3,69
295,4	5,09	5,02	5,03
341,4	6,46	6,36	6,38
387,4	7,81	7,67	7,70
433,4	9,12	8,94	8,97
479,4	10,39	10,16	10,21
525,4	11,61	11,35	11,40
571,4	12,81	12,51	12,57
617,4	13,97	13,64	13,71
663,4	15,11	14,74	14,82
709,4	16,24	15,83	15,92
755,4	17,34	16,91	17,00
801,4	18,44	17,97	18,07
847,4	19,52	19,03	19,13
893,4	20,60	20,07	20,18

LENDUTAN

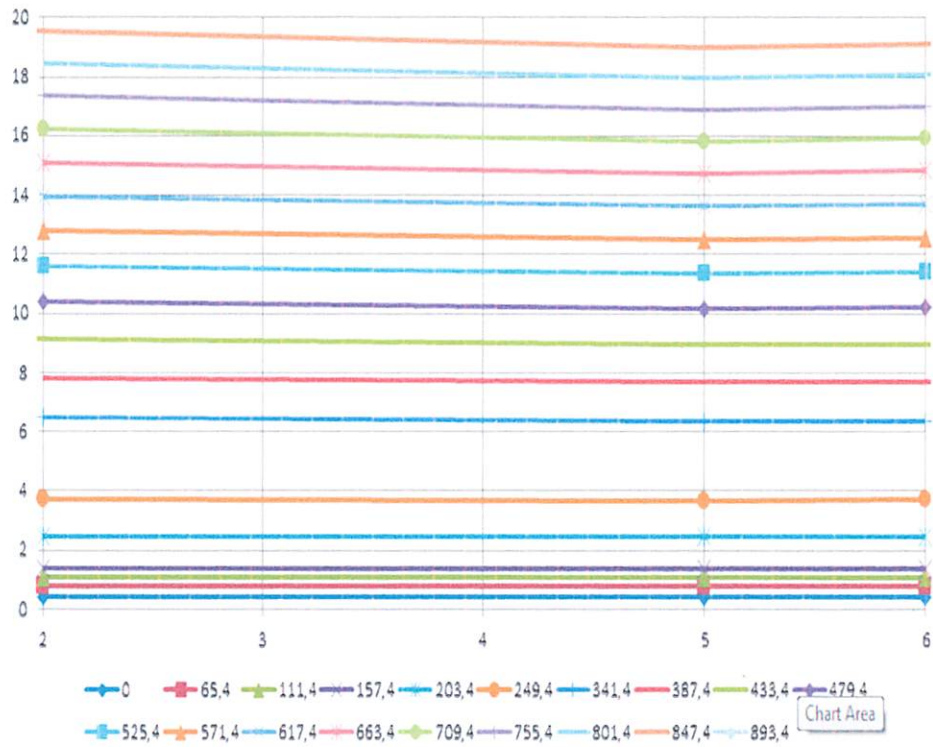
Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan berbanding terbalik (Gambar 4.41a) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin kecil akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.19 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar -1.63% untuk tulangan tekan 5Ø7.4 dan -1.30% untuk tulangan tekan 6Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4.

Tabel 4.21 Hubungan lendutan eksperimen dan penambahan tulangan tekan

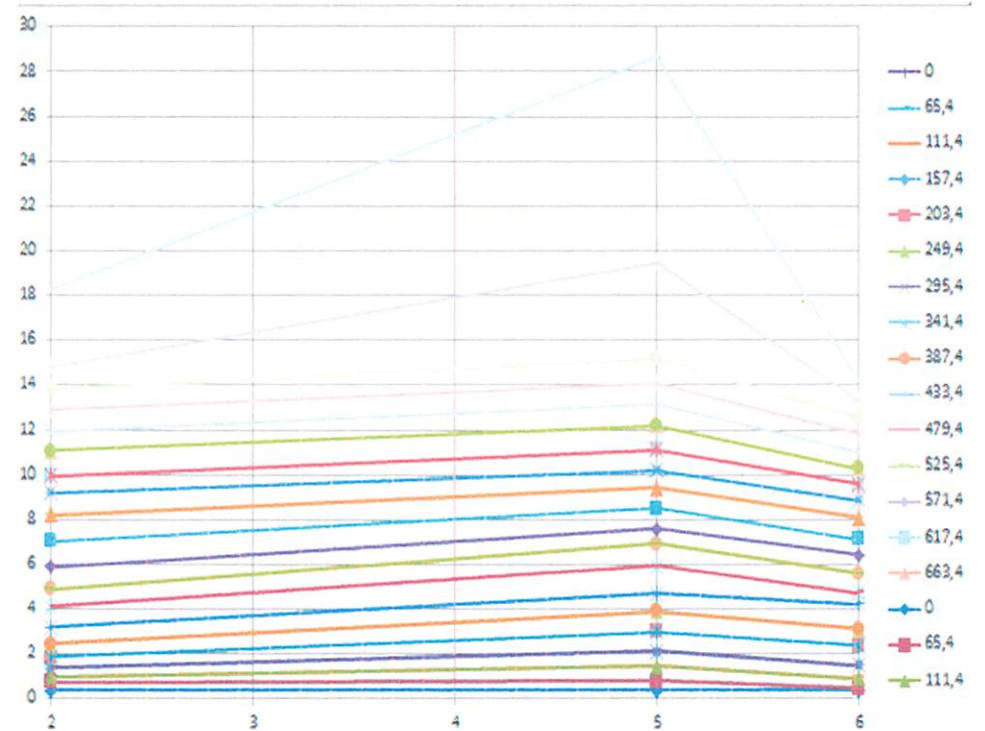
Beban (Kg)	Tulangan tekan		
	2	5	6
0	0,39	0,39	0,39
65,4	0,76	0,80	0,47
111,4	1,02	1,48	0,91
157,4	1,38	2,12	1,51
203,4	1,88	2,99	2,39
249,4	2,45	3,89	3,10
295,4	3,20	4,70	4,22
341,4	4,13	5,94	4,74
387,4	4,91	6,93	5,60
433,4	5,89	7,60	6,45
479,4	7,07	8,52	7,12
525,4	8,23	9,42	8,09
571,4	9,21	10,22	8,86
617,4	9,95	11,12	9,60
663,4	11,09	12,21	10,29
709,4	11,92	13,15	11,02
755,4	12,88	14,10	11,81
801,4	13,86	15,16	12,55
847,4	14,86	19,48	13,31
893,4	18,30	28,63	14,20
939,4		34,07	14,91
985,4			15,63
1031,4			17,46
1077,4			20,00
1123,4			23,05
1169,4			27,49

LENDUTAN

Dari hasil olah data tabel dan grafik diperoleh untuk hubungan lendutan teoritis dan penambahan tulangan tekan berbanding terbalik (Gambar 4.41b) setelah mengalami retak awal. Dimana untuk beban yang sama, lendutan yang terjadi semakin besar akibat penambahan tulangan tekan. Sesuai hasil olah data tabel 4.20 yang menemukan perbedaan lendutan sebesar 20.22% untuk tulangan tekan 5Ø7.4 dan -0.77% untuk tulangan tekan 6Ø7.4 terhadap lendutan tulangan tekan 2Ø7.4.



(a)



(b)

Grafik 12 Hubungan lendutan dan penambahan tulangan tekan; (a) teoritis, (b) eksperimen

4.4.6. Perbandingan lebar retak arah horizontal eksperimen dan teoritis

Dari hasil perhitungan teoritis (tabel 4.5) dan pengamatan lebar retak eksperimen, ditemukan perbedaan sebesar 94.05 % untuk balok normal, 95.86% untuk balok variasi 1 dan 95.10 % untuk balok variasi 2. Selengkapnya terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.22 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	1,52	0,0904	94,05
2	BN-B	1,20			
3	BB-1A	2,16	2,18	0,0903	95,86
4	BB-1B	2,20			
5	BB-2A	1,54	1,87	0,0916	95,10
6	BB-2B	2,20			

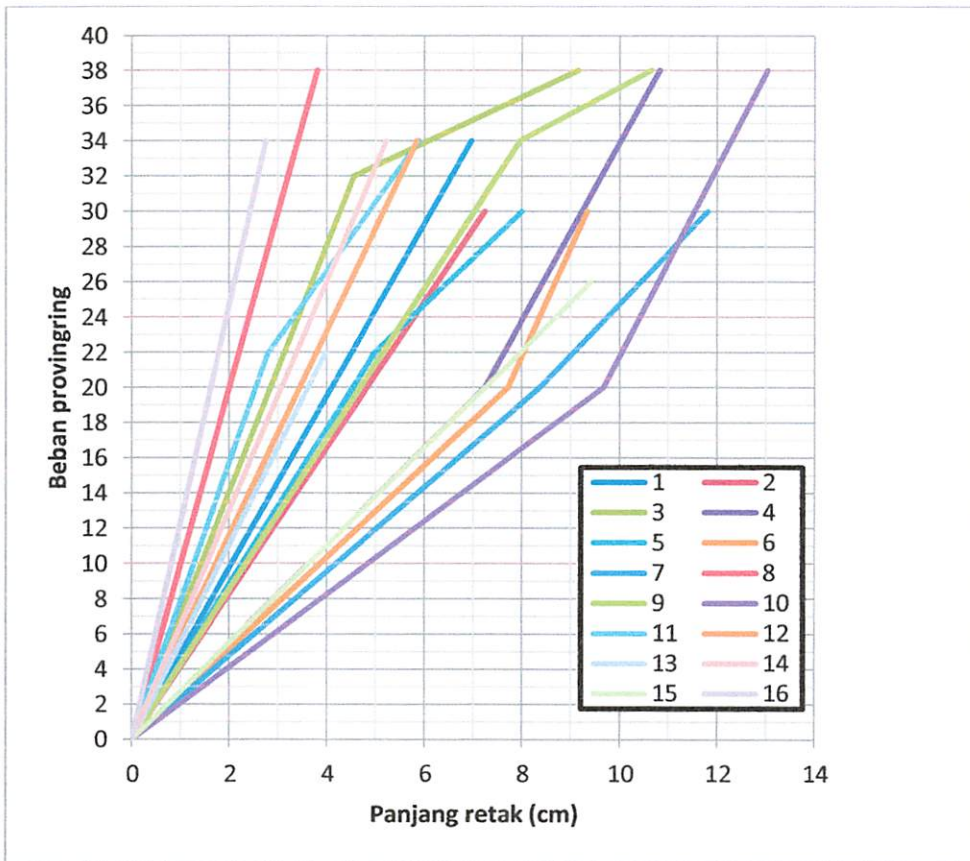
4.4.7. Hubungan beban dan pola retak dengan penambahan tulangan tekan

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

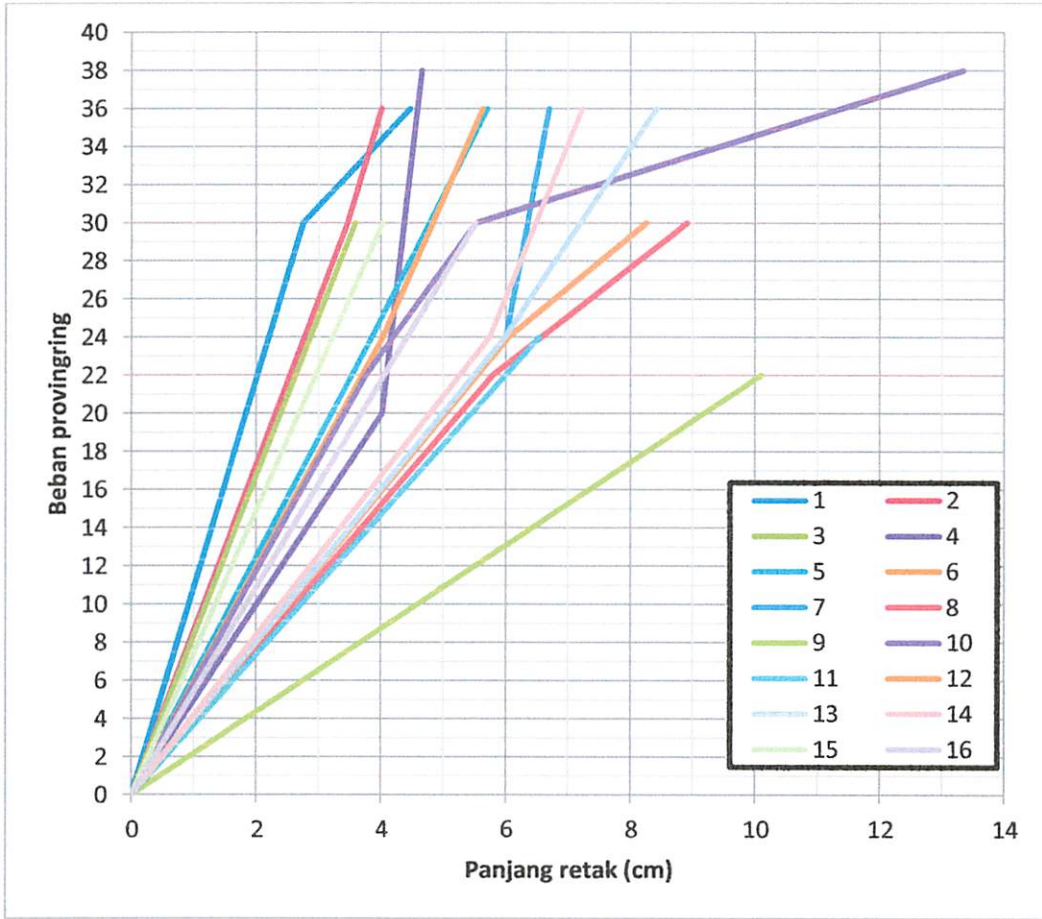
Retak	Beban proving ring								Panjang retak vertikal (cm)
	0	20	22	26	30	32	34	38	
1	0						6.96		
2	0				7.24				
3	0					4.55		9.15	
4	0	7.24						10.82	
5	0		4.98		8.00				
6	0	7.71			9.33				
7	0	8.37			11.81				
8	0							3.80	
9	0						7.95	10.65	
10	0	9.67						13.03	
11	0		2.80				5.89		
12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



Grafik 13 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1A

Tabel 4.24 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			

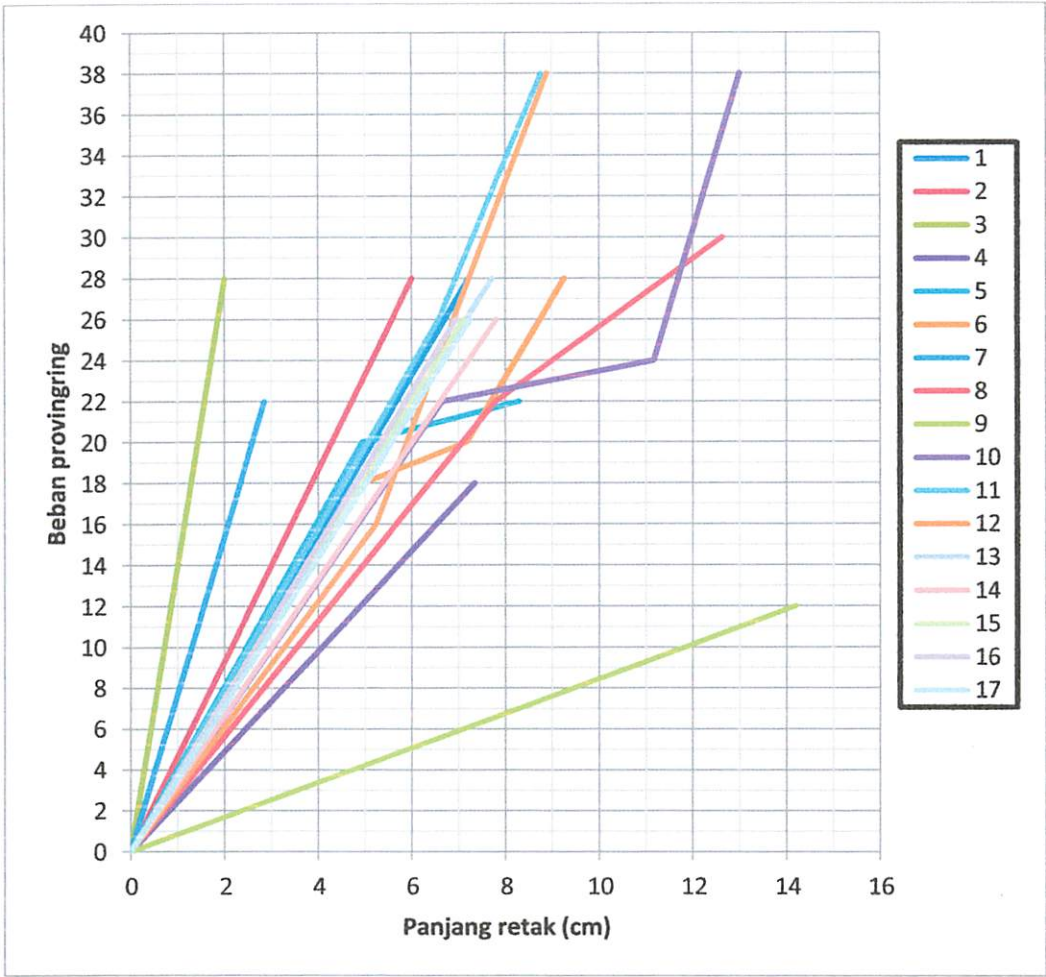


Grafik 14 Hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok normal 1B

Tabel 4.25 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			

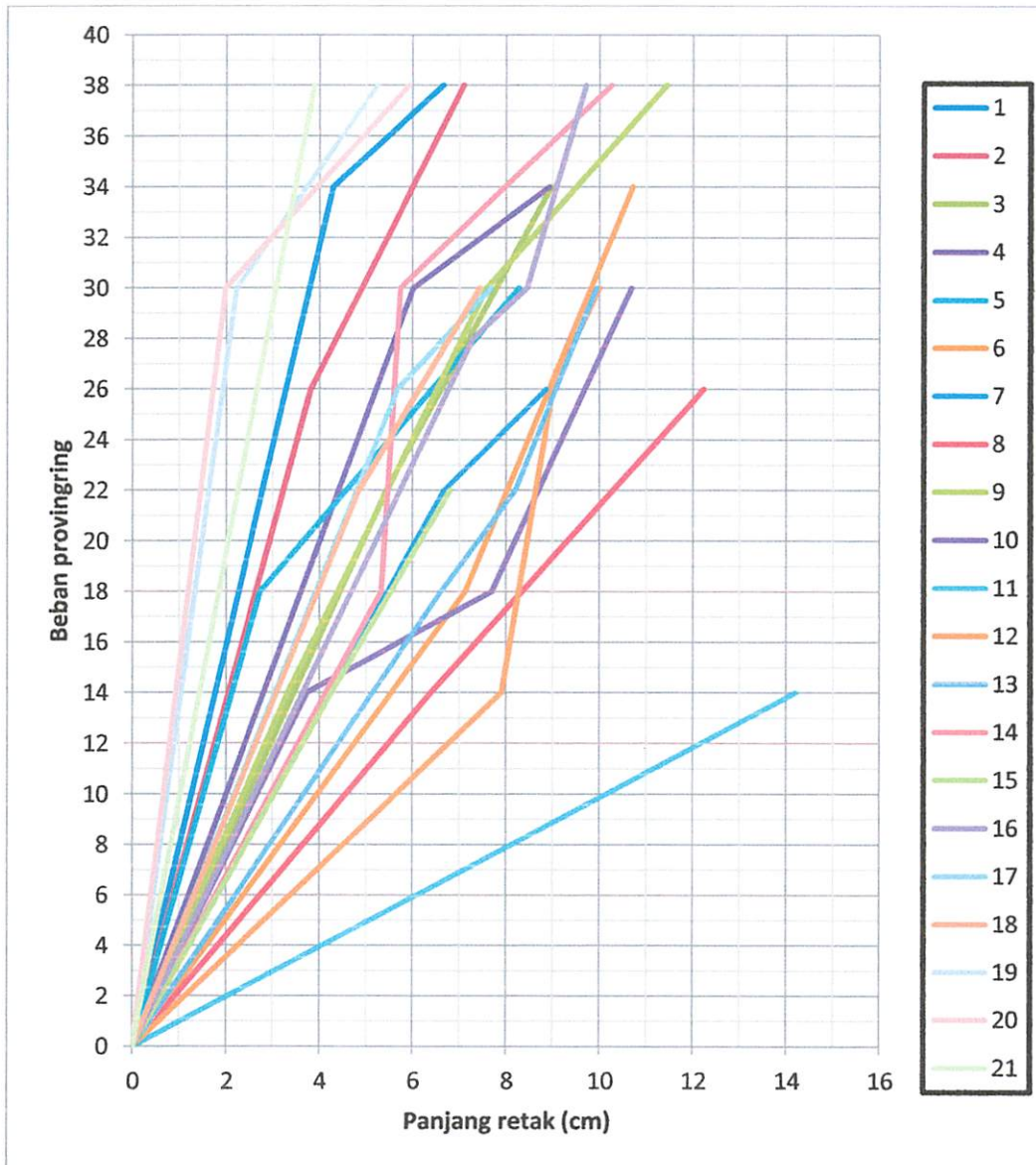
Panjang retak vertikal



Grafik 15 hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1A

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

Retak	Beban proving ring										Panjang retak vertikal (cm)
	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	



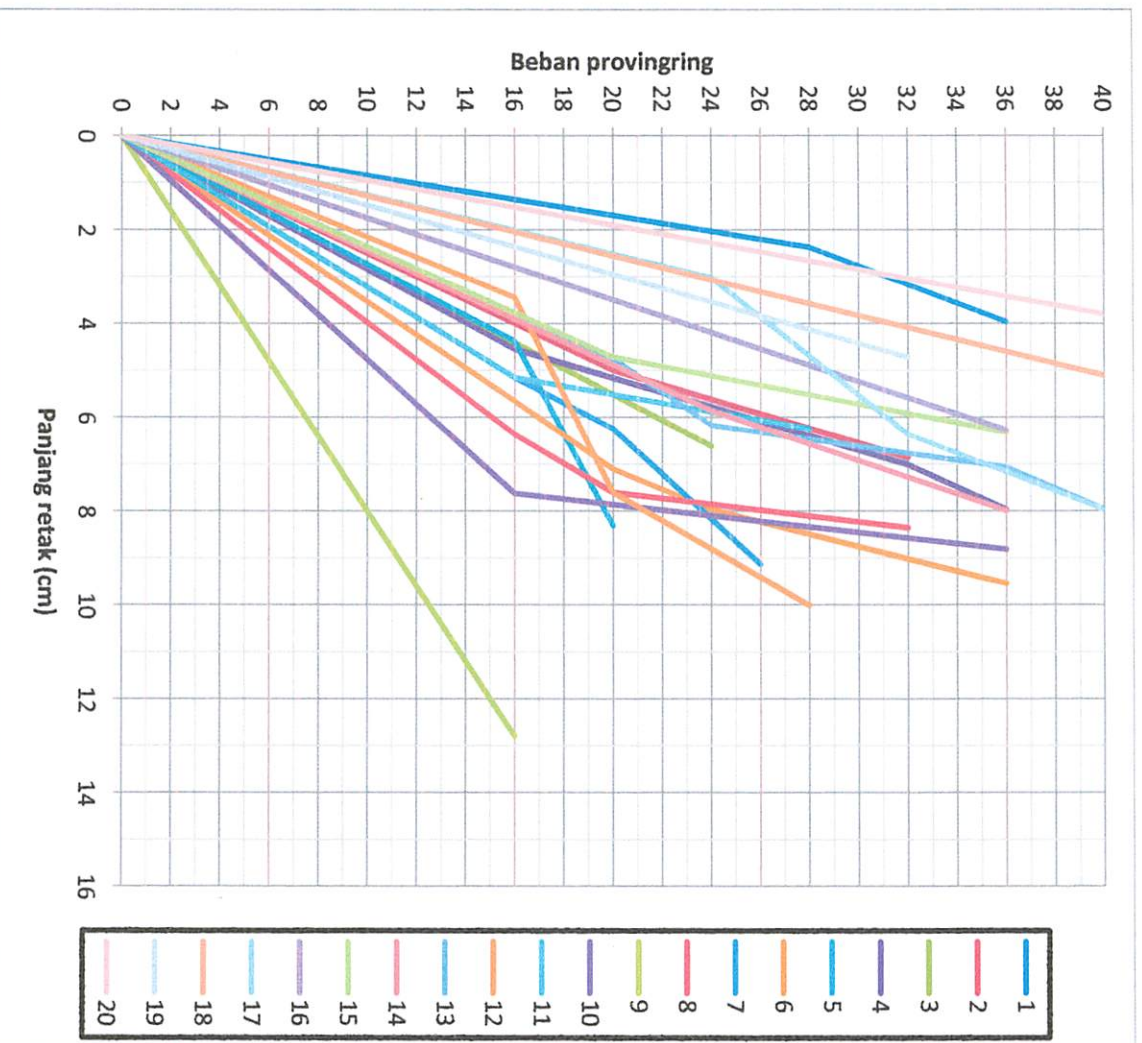
Grafik 16 hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 1 B

Tabel 4.27 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)



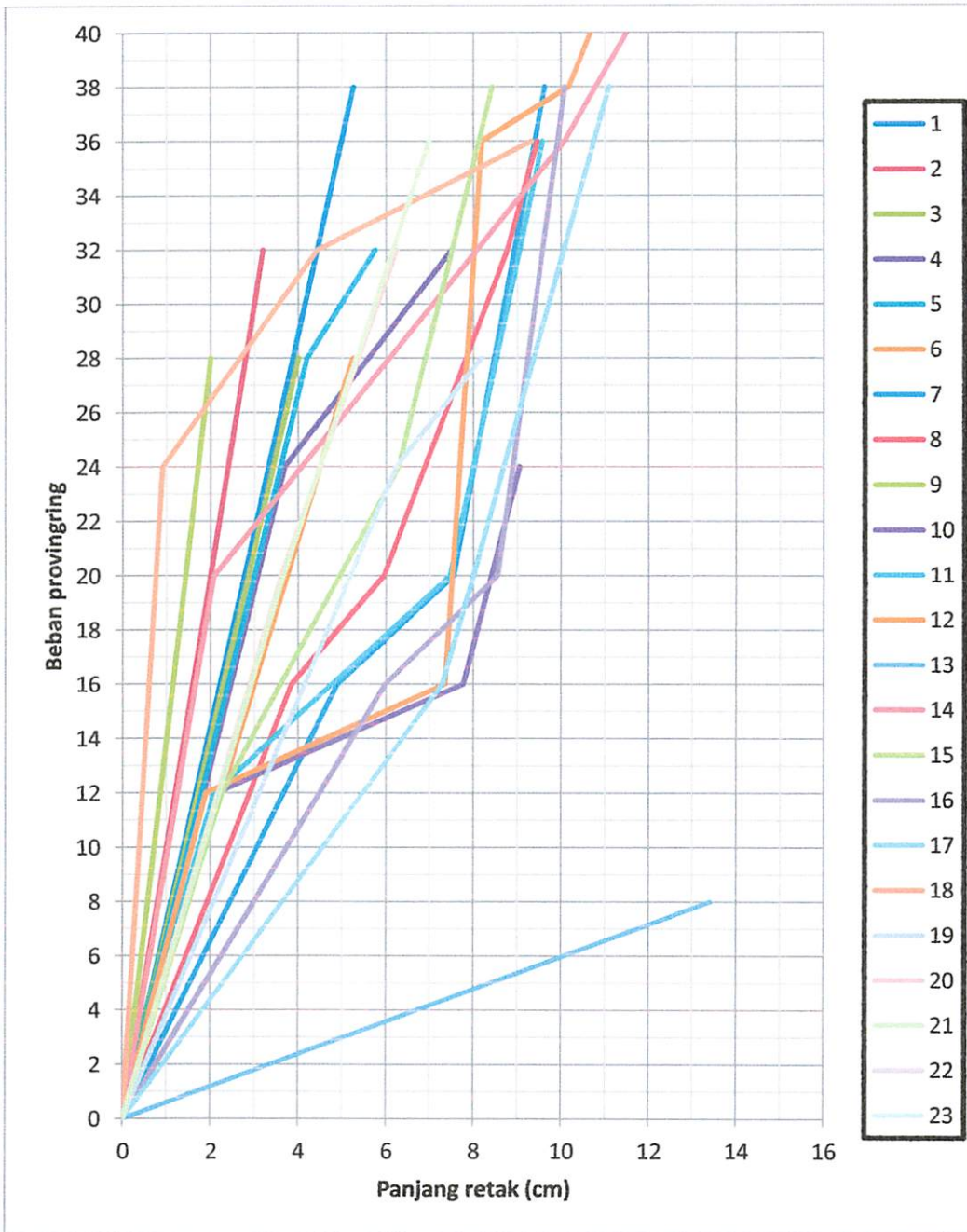
Grafik 17 hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2A

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

2B

Retak	Beban proving ring										
	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	

Panjang retak vertikal (cm)

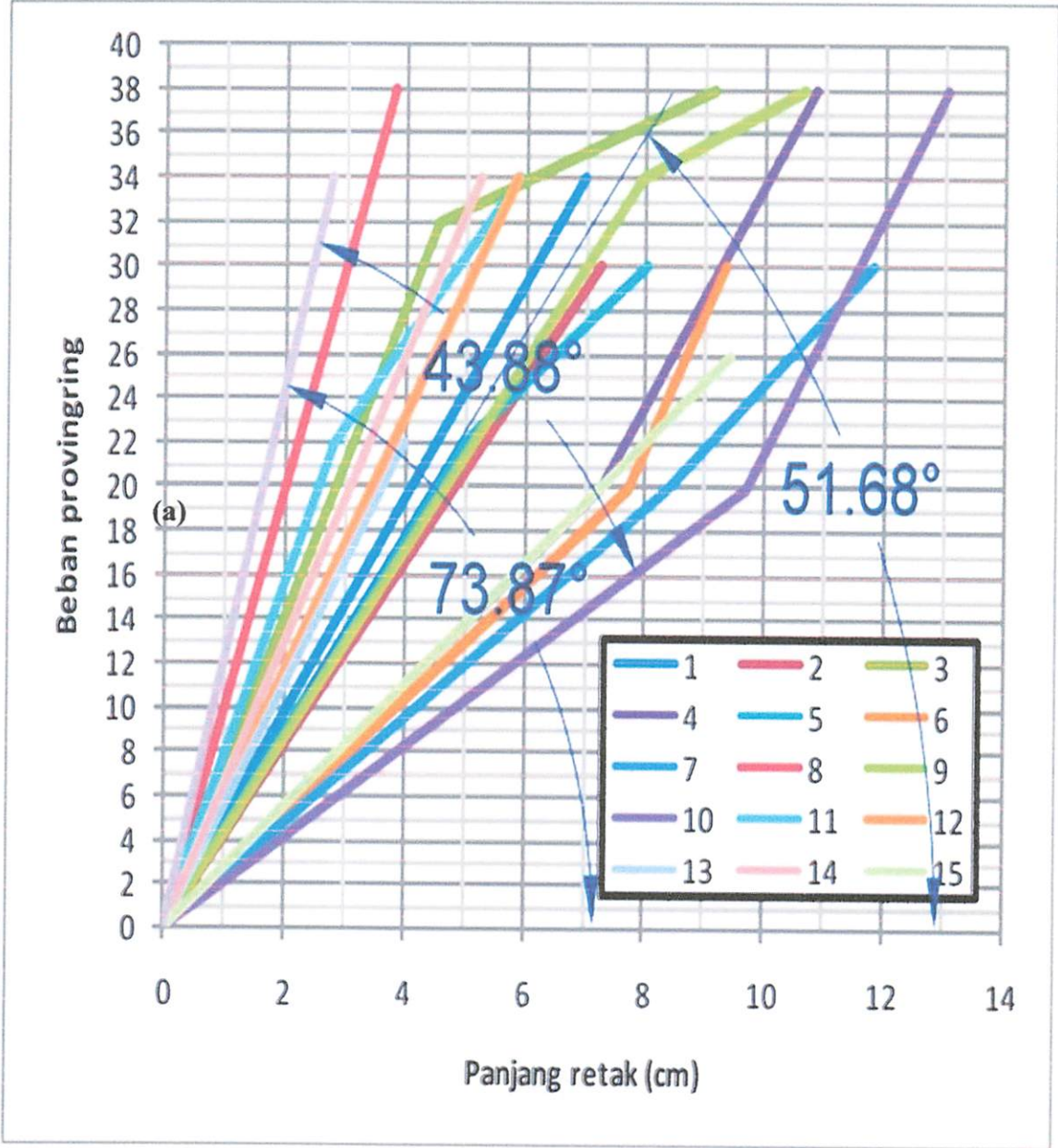


Grafik 18 hubungan panjang retak vertikal eksperimen dan penambahan beban balok variasi 2B.

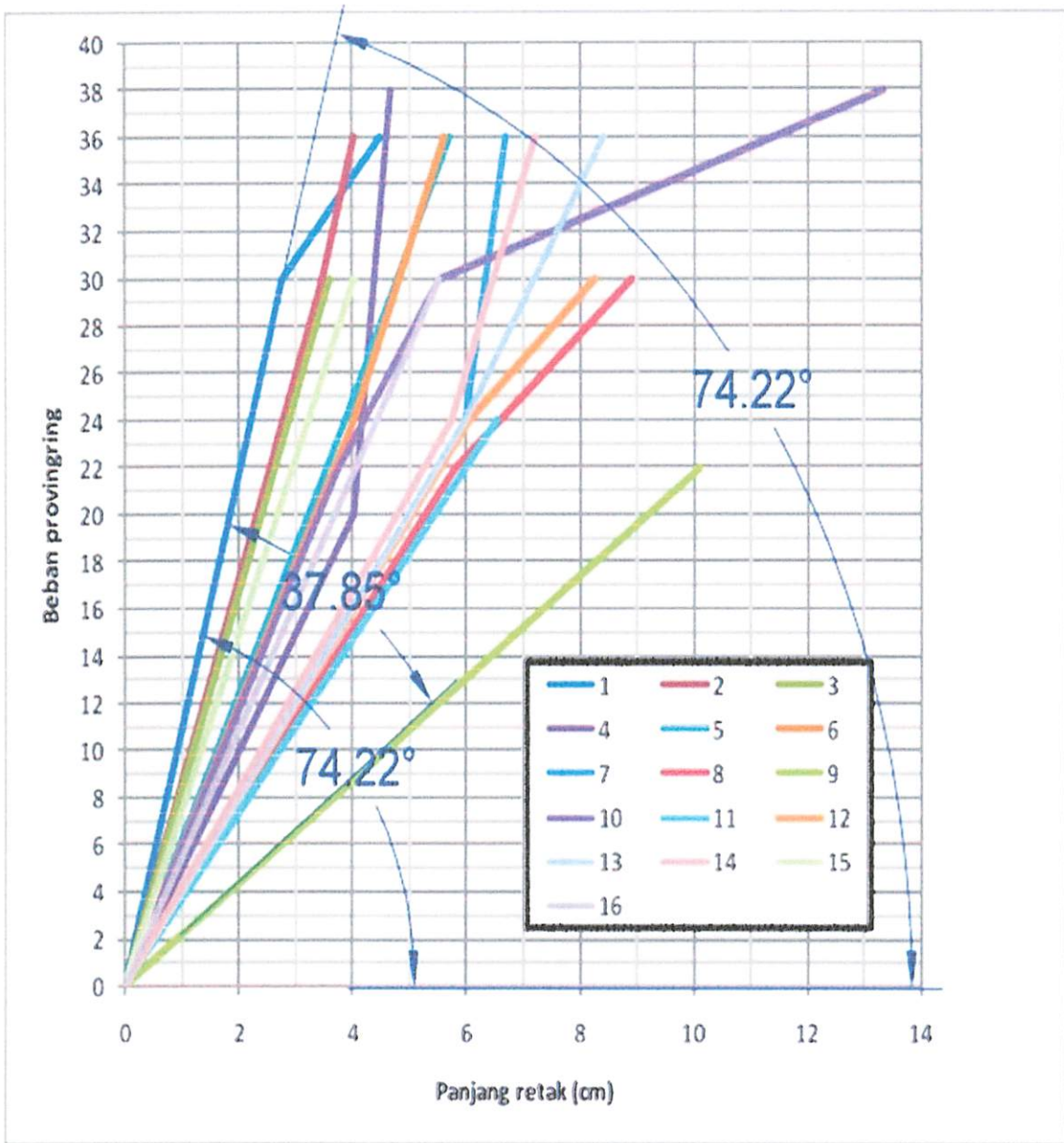
Dari grafik-grafik di atas, kami menemukan adanya perbedaan sudut kemiringan rata-rata antar grafik. Kemiringan rata-rata kami peroleh dari setengah besar sudut antara dua kurva retak terluar terhadap sumbu horizontal grafik.

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 horizontal 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° .



(a) Teoritis.

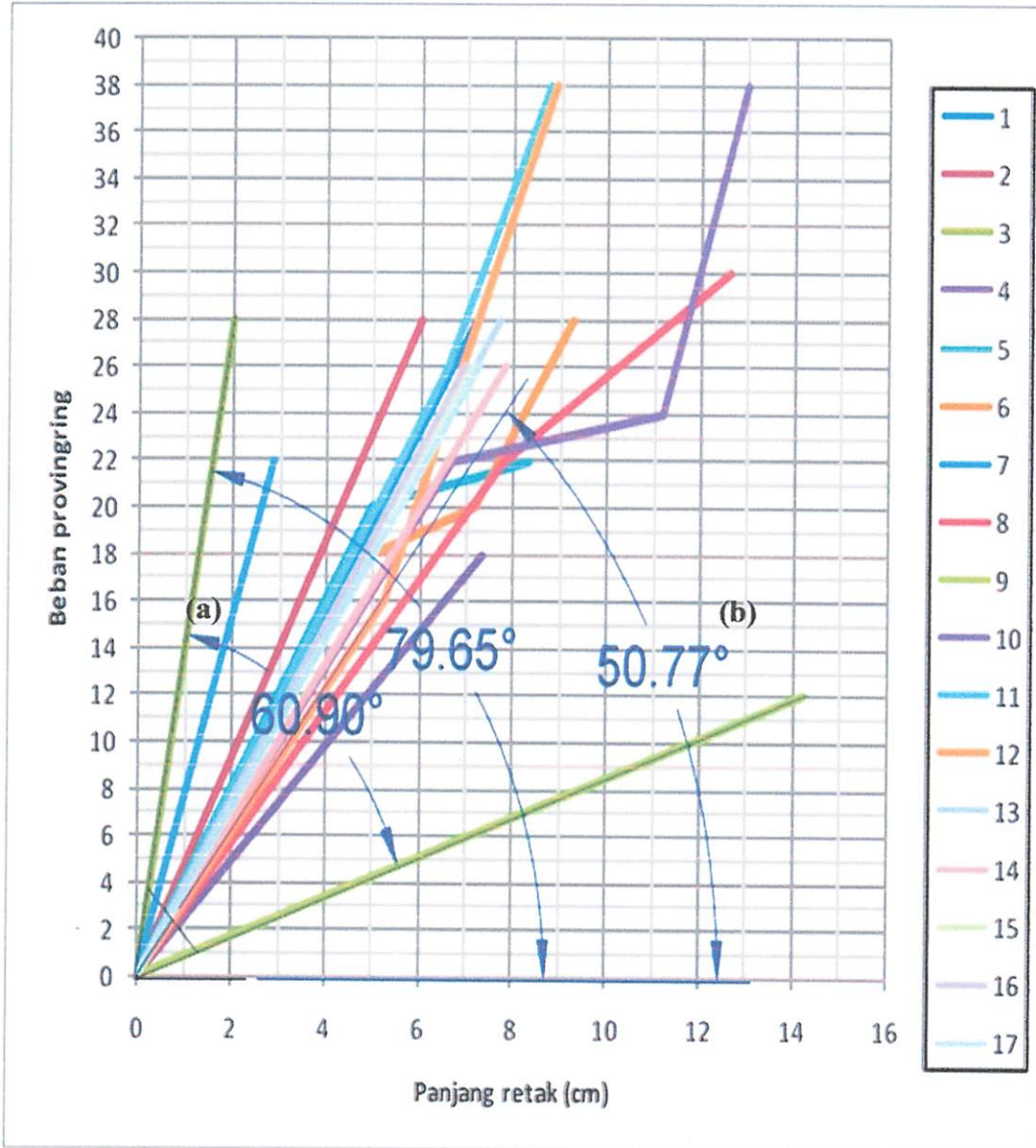


(b). Eksperimen.

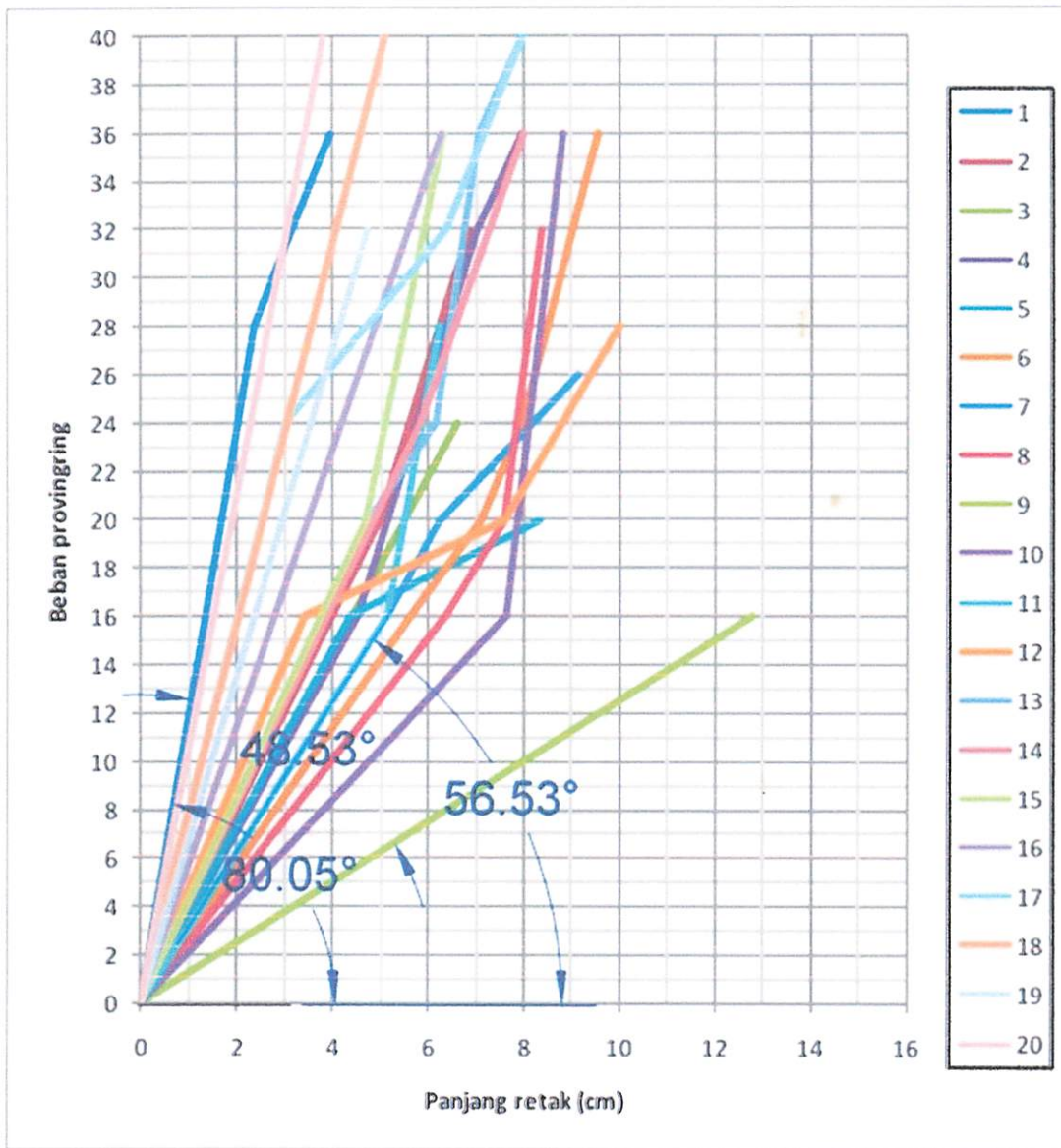
Grafik 19 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok normal 1A (a) dan balok normal 1B (b)

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 horizontal 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 $53,76^{\circ}$



(a). Teoritis.

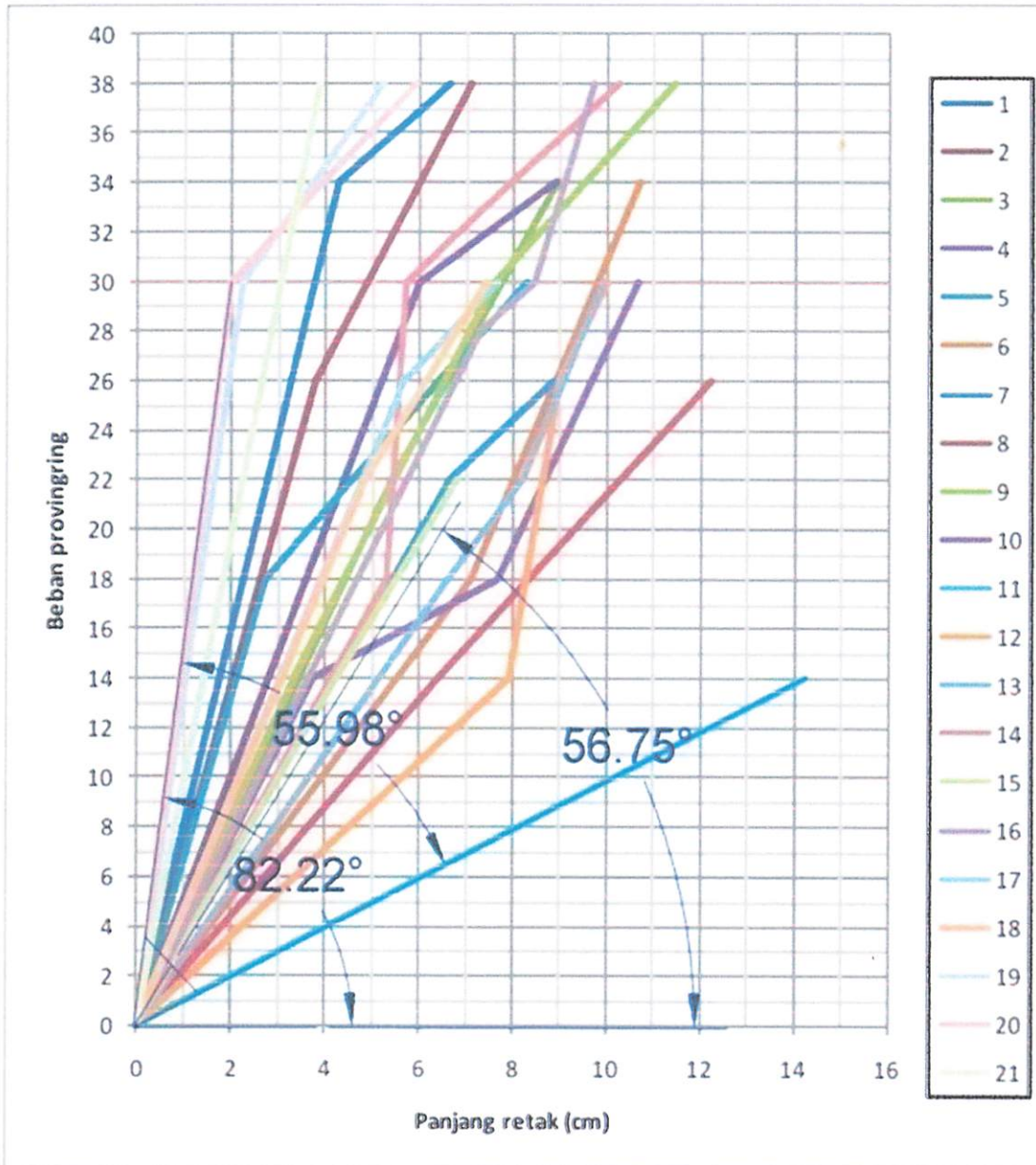


(b). Eksperimen.

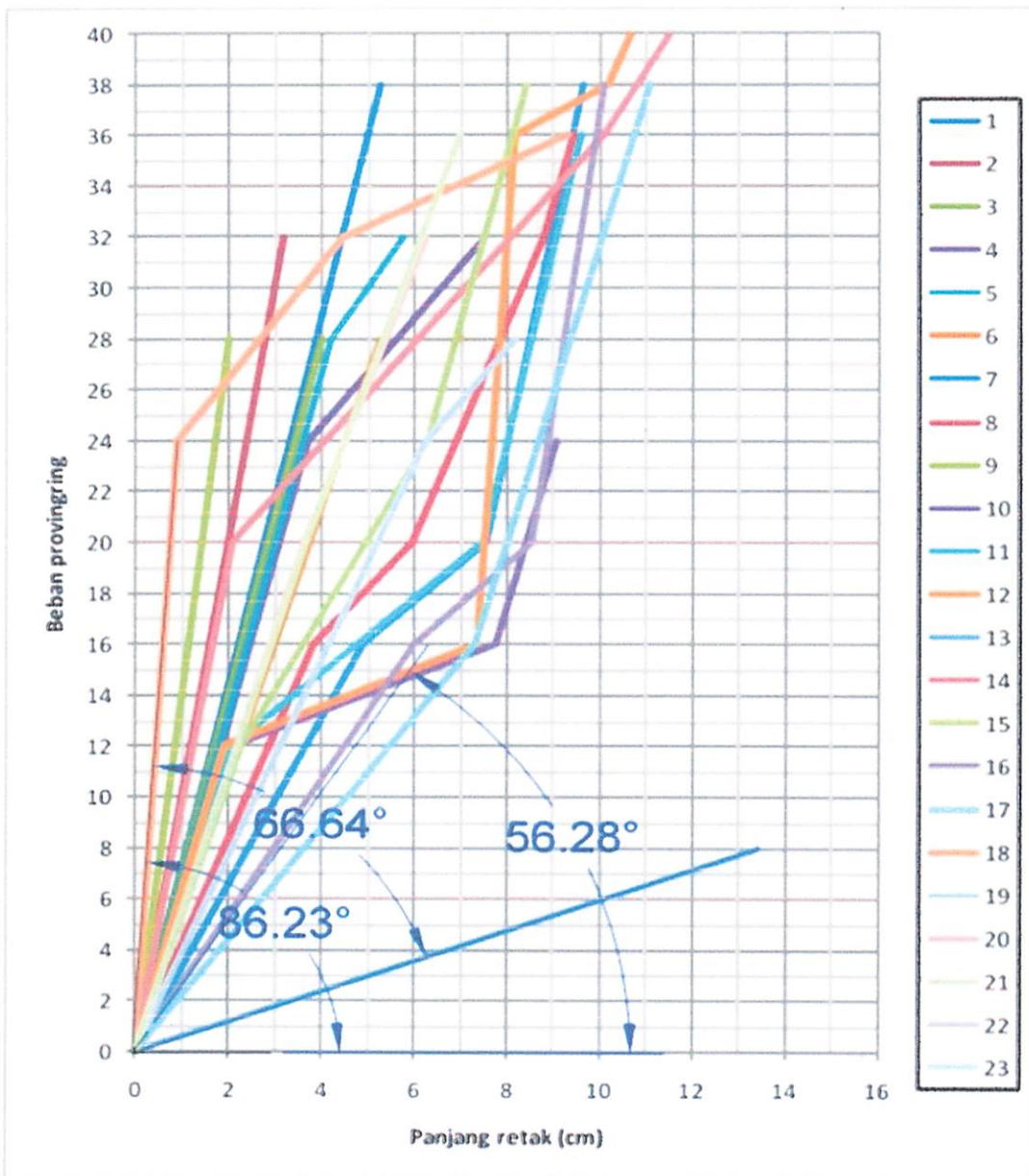
Grafik 20 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 1A (a) dan balok variasi 1B (b)

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 horizontal 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).Teoritis.



(b). Eksperimen.

Grafik 21 Pengukuran sudut kemiringan rata-rata pada grafik hubungan beban-retak balok variasi 2A (a) dan balok variasi 2B (b)

4.4.8. 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 83.23% untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok normal terhadap balok variasi 1, 17.17% untuk perbedaan lendutan hasil teoritis dan eksperimen balok normal terhadap balok variasi 2 dan sebesar -63.02% untuk perbedaan lendutan balok variasi 1 dan variasi 2.

Tabel 4.29 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	0,00	0,00	0,00
2	65,4	0,00	0,00	0,00	4,99	-38,71	-41,77	100,00	100,00	100,00
3	111,4	0,00	0,00	0,00	30,80	-12,06	-38,25	100,00	100,00	100,00
4	157,4	0,00	0,00	0,00	34,72	8,29	-28,81	100,00	100,00	100,00
5	203,4	-0,50	-0,40	-0,10	37,16	21,36	-20,09	98,65	98,14	-99,48
6	249,4	-0,97	-0,77	-0,20	37,13	20,99	-20,43	97,40	96,35	-99,01
7	295,4	-1,35	-1,07	-0,28	31,90	24,16	-10,21	95,77	95,57	-97,25
8	341,4	-1,65	-1,31	-0,34	30,54	12,97	-20,19	94,61	89,92	-98,30
9	387,4	-1,87	-1,49	-0,39	29,09	12,32	-19,13	93,56	87,92	-97,96
10	433,4	-2,04	-1,62	-0,43	22,49	8,68	-15,13	90,92	81,30	-97,19
11	479,4	-2,17	-1,72	-0,45	17,02	0,77	-16,38	87,26	55,23	-97,24
12	525,4	-2,27	-1,80	-0,47	12,68	-1,64	-14,12	82,14	8,92	-96,66
13	571,4	-2,34	-1,86	-0,49	9,93	-3,80	-13,35	76,45	-51,06	-96,35
14	617,4	-2,40	-1,91	-0,50	10,48	-3,52	-13,63	77,14	-45,81	-96,34
15	663,4	-2,44	-1,94	-0,51	9,17	-7,17	-15,69	73,41	-72,93	-96,76
16	709,4	-2,47	-1,97	-0,52	9,32	-7,55	-16,16	73,44	-73,91	-96,81
17	755,4	-2,50	-1,99	-0,52	8,69	-8,27	-16,24	71,19	-75,92	-96,79
18	801,4	-2,53	-2,01	-0,53	8,57	-9,49	-17,25	70,55	-78,82	-96,95
19	847,4	-2,54	-2,02	-0,53	23,72	-10,43	-31,68	89,28	-80,60	-98,33
20	893,4	-2,56	-2,04	-0,53	36,07	-22,40	-50,39	92,91	-90,91	-98,94
Rata-rata		-1,63	-1,30	-0,34	20,22	-0,77	-20,94	83,23	17,17	-63,02

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 terdapat perbedaan sebesar -1.63% sedang antara balok normal dan balok variasi 2 terdapat perbedaan sebesar -1.30%
Lentutan eksperimen akibat penambahan tulangan tekan antara balok normal dengan balok variasi 1 terdapat perbedaan sebesar 20.22% sedang antara balok normal dengan balok variasi 2 terdapat perbedaan sebesar -0.77%. Dari nilai tersebut terlihat penambahan tulangan tekan tidak mengurangi lentutan, maka formula yang digunakan belum sesuai.
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

LAMPIRAN

LAPORAN

PENGUJIAN LABORATORIUM

TAHUN 2011

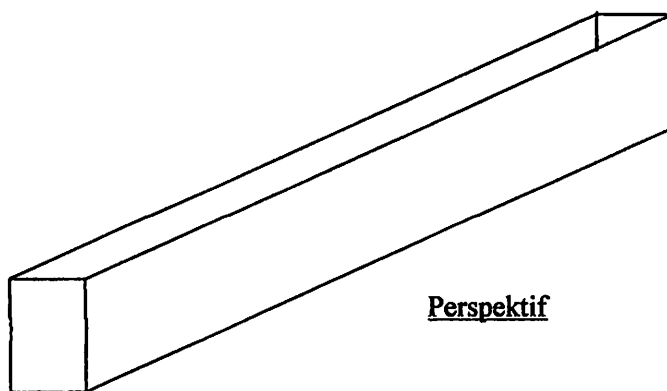
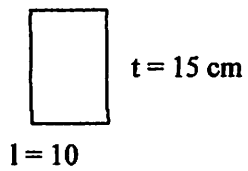
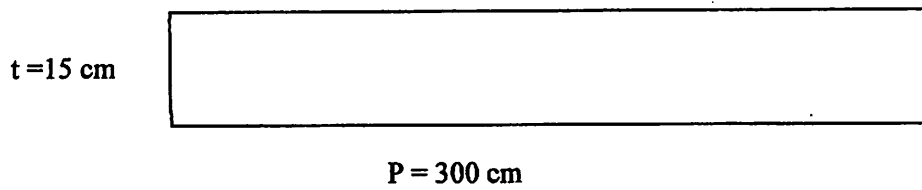
PEKERJAAN : DATA SKRIPSI
LOKASI : LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
PENGUJIAN : MIX DESIGN BETON f'_c 22.5 Mpa
PELAKSANA : MOHAMAD NURKHOLIS (08.21.902)
WAHYU BUDIANTO (08.21.903)
FELIX A. TALAN (03.21.086)
ANTONIUS SUTRIONO (04.21.093)



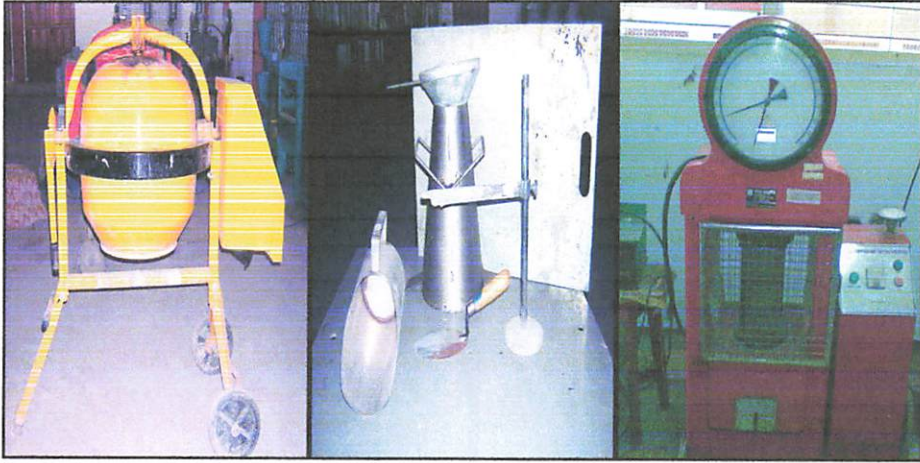
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Telp.(0431) 551951-551431 Psw. 256 malang 65145

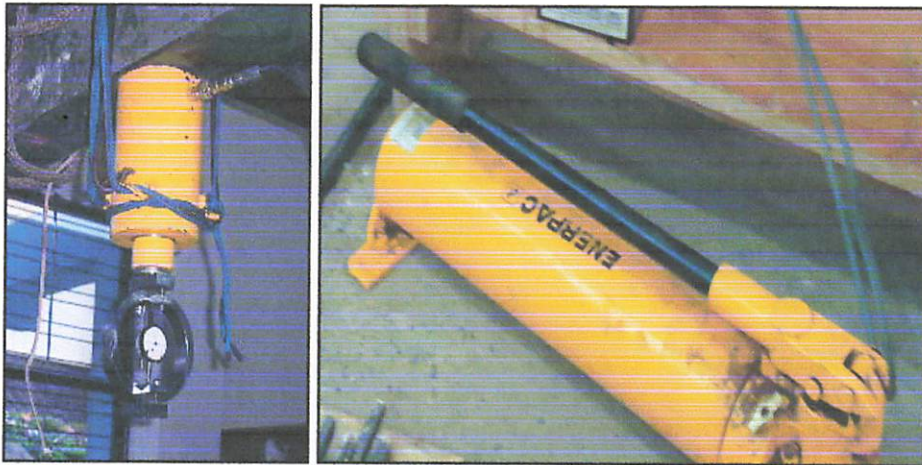
Lampiran 1 Gambar dimensi cetakan benda uji



ALAT-ALAT



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



Proving ring, Hydraulic Jack



Frame

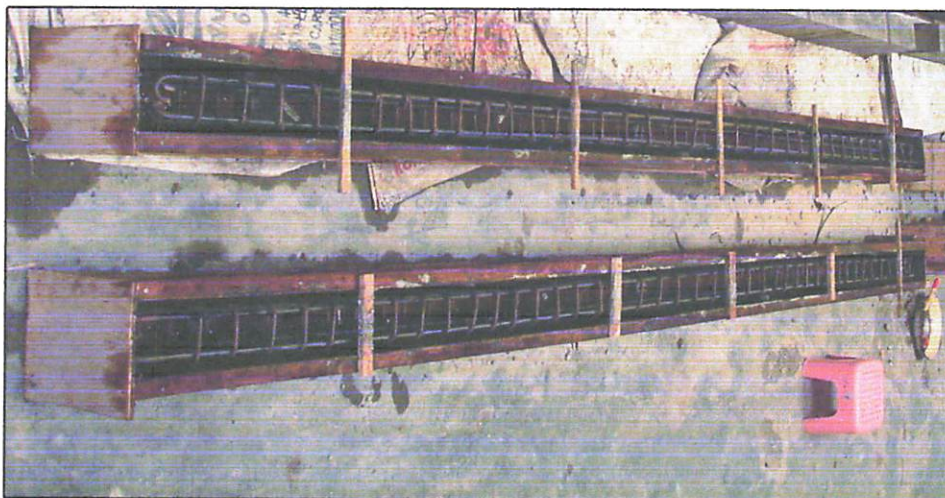


MVD Amplifier, LVDT, Crack detector

KEGIATAN



Pembuatan sengkang, Perakitan, Uji slump



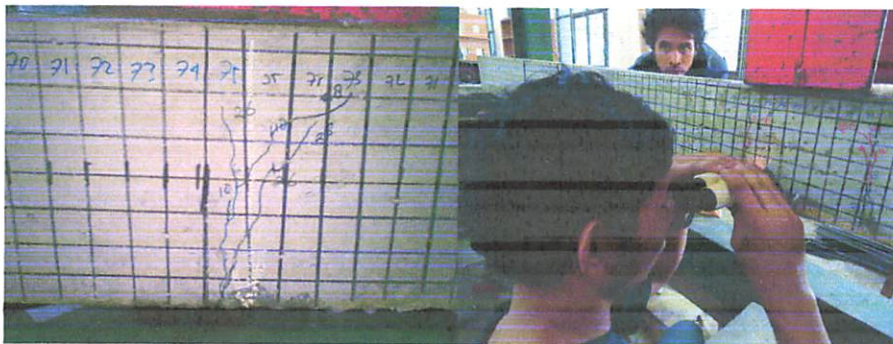
Persiapan pengecoran



Pengecoran



Pengetesan



Rekam retak, Pengecekan lebar retak



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

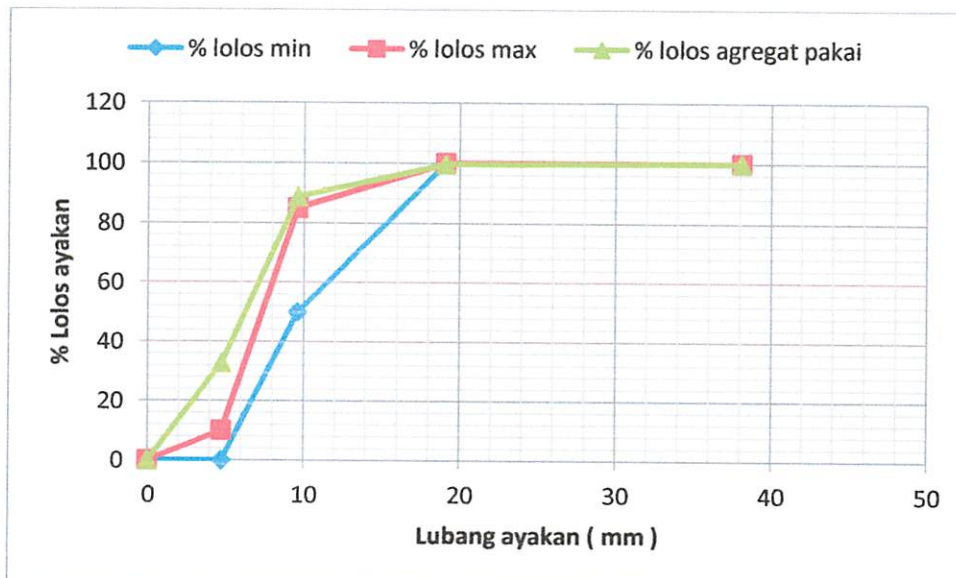
Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

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)

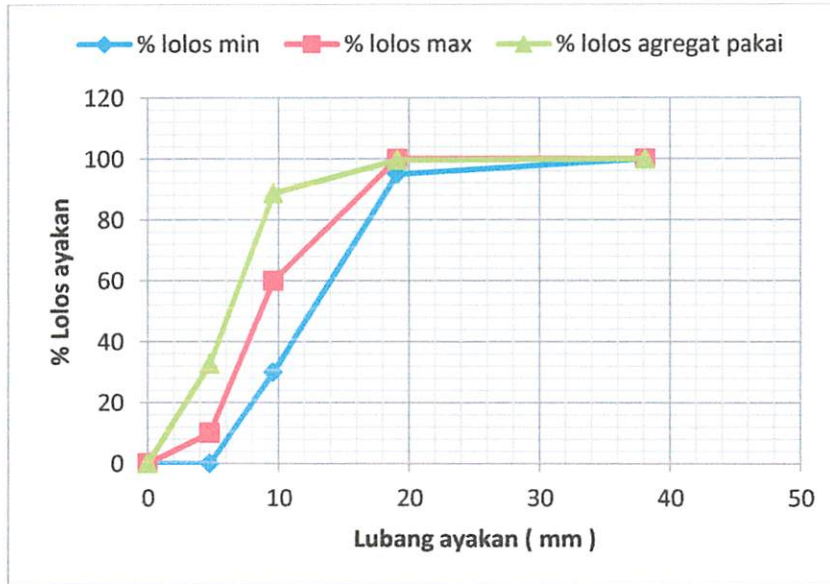




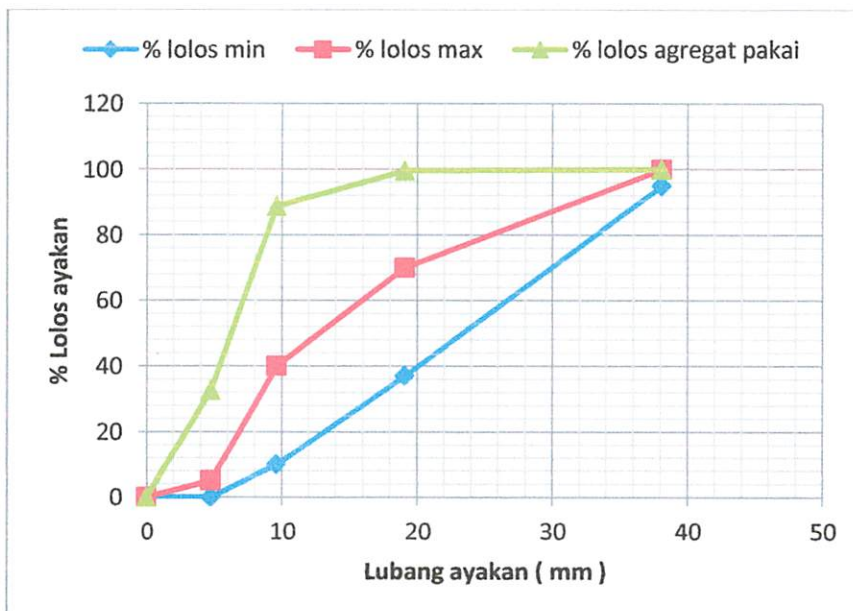
**LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

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

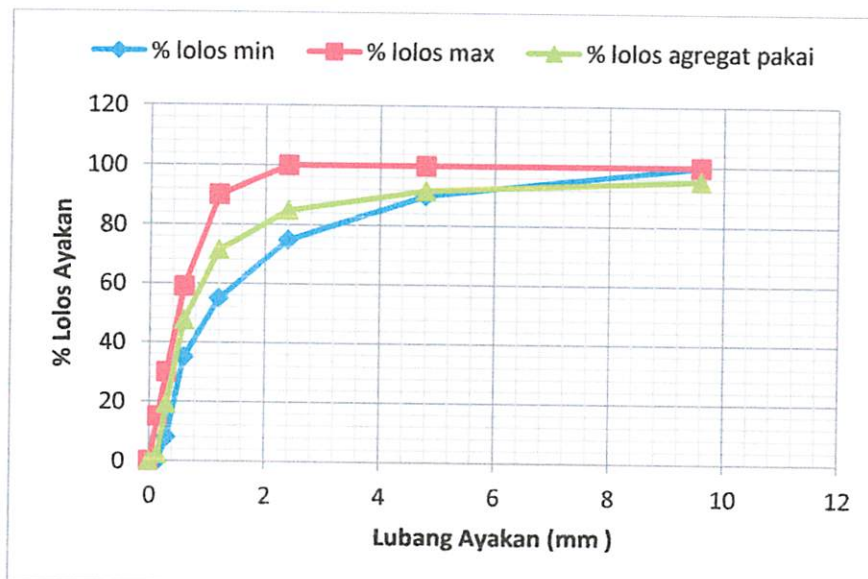
Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Berat contoh kering : 6290 gr

Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan (gr)	kumulatif 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

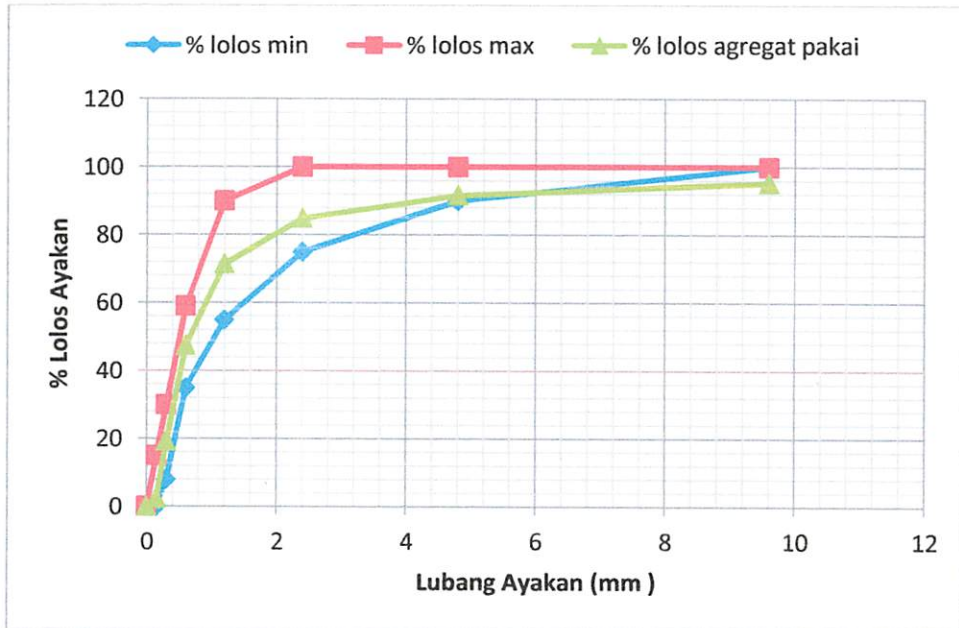




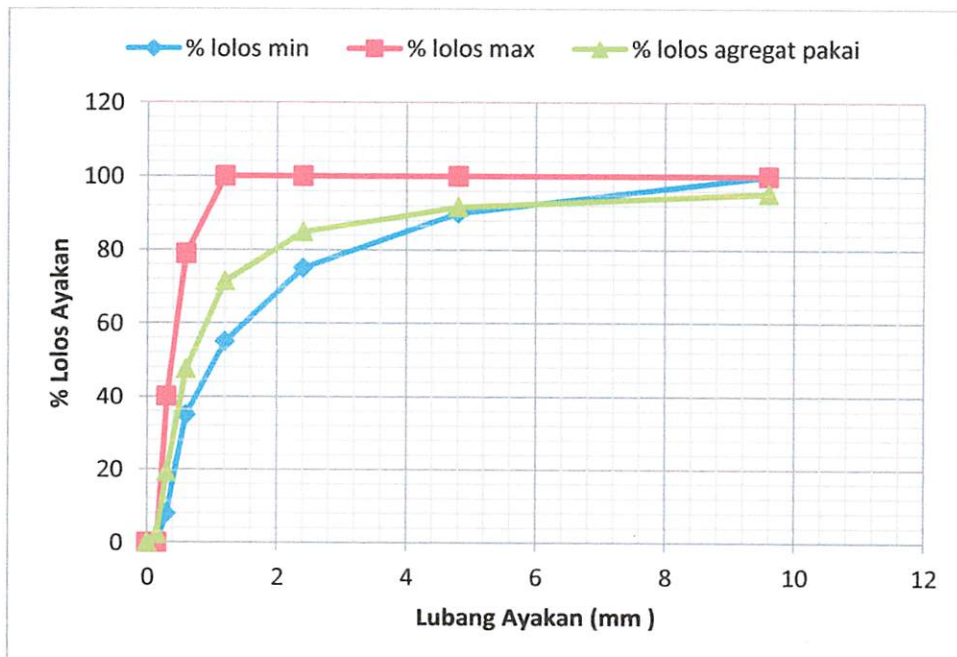
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

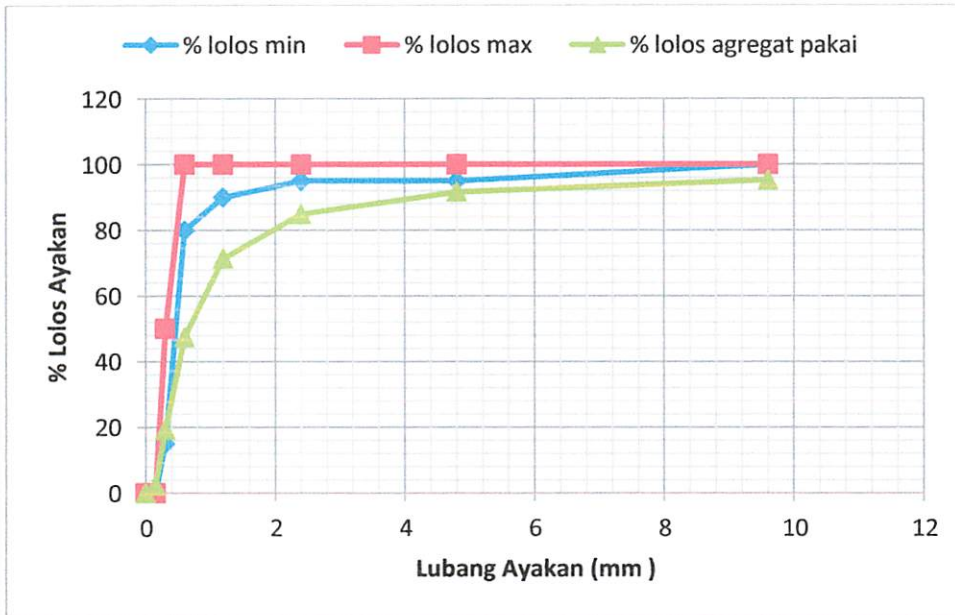




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 4





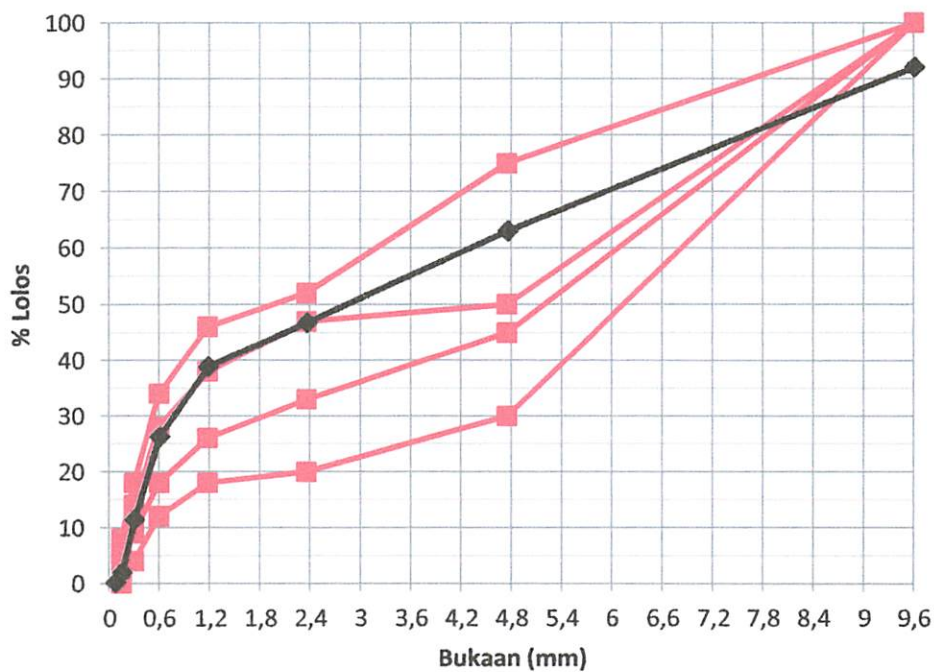
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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	Kerikil	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



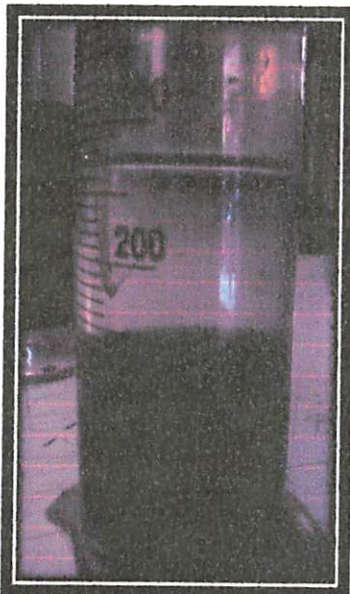


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

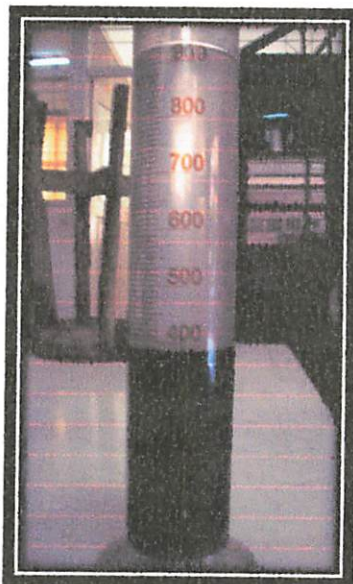
Lamp. Lap. No	:		Dihitung	:	Kelompok	Paraf
Pekerjaan	:	Skripsi	Dikerjakan	:	Kelompok	
Tanggal	:	26/05-2011	Diperiksa	:	Ir. Bambang Wedyantadji, MT	

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 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	

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	

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			
$Fm = \frac{5000 - 3664.2}{5000} \times 100\% = 26.716\%$			

Catatan :

- Jumlah bola 10 buah
- Jumlah putaran ± 500 putaran



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	

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

PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PERCOBAAN

1. Pengujian Bahan

Beton bertulang merupakan campuran beberapa bahan yaitu semen, agregat kasar, agregat halus dan baja. Sehingga sifat dan jenis bahan-bahan tersebut sangat mempengaruhi mutu beton bertulang antara lain dalam pengerjaannya, kekuatan, keawetan, serta keekonomisannya. Oleh karena itu sebelum digunakan, semua bahan harus diuji. Khusus untuk semen dan air tidak dilakukan pengujian mutu karena semen dan air yang digunakan sudah memenuhi standar industri Indonesia.

Pengujian bahan-bahan ini dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

1.1 Pengujian Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diambil dari daerah Lumajang dengan mutu yang baik.

A. Analisa Saringan

- Tujuan : Untuk mengetahui ukuran butiran (gradasi) agregat halus.
- Bahan : Pasir dalam keadaan kering oven (*dry*), seberat 6290 kg
- Peralatan :
 1. Timbangan dengan ketelitian 0.01 kg.
 2. Oven dengan suhu $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ c}$.
 3. Alat penggetar listrik (*motorized dynamic sieve shaker*).

4. Satu satu set ayakan dengan ukuran bukaan :

9.6mm, 4.75mm, 2.36mm, 1.18mm, 0.60mm, 0.30mm,
0.15mm, 0.0075mm dan pan.

5. Kuas dan sikat kuning.

- Prosedur kerja :

1. Pasir yang telah dikeringkan oleh oven selama 24 jam dengan suhu 110°C didinginkan dalam talam.
2. Seperangkat saringan disusun sesuai dengan urutan diameternya, dimana diameter yang terbesar diletakan paling atas.
3. Pasir yang telah dingin dimasukan kedalam saringan teratas, kemudian seperangkat saringan tersebut digetarkan dengan tangan, atau mesin penggentar selama ± 15 menit.
4. Pasir yang tertinggal didalam masing-masing saringan ditimbang dan dicatat serta dihitung persentase berat yang tertinggal.
5. Persentase berat pasir yang tertinggal pada masing-masing saringan diplotkan pada grafik gradasi (kurva gradasi) untuk menentukan zone pasir.

Tabel 1 Analisa saringan agregat halus pakai

Berat contoh kering : 6290 gr

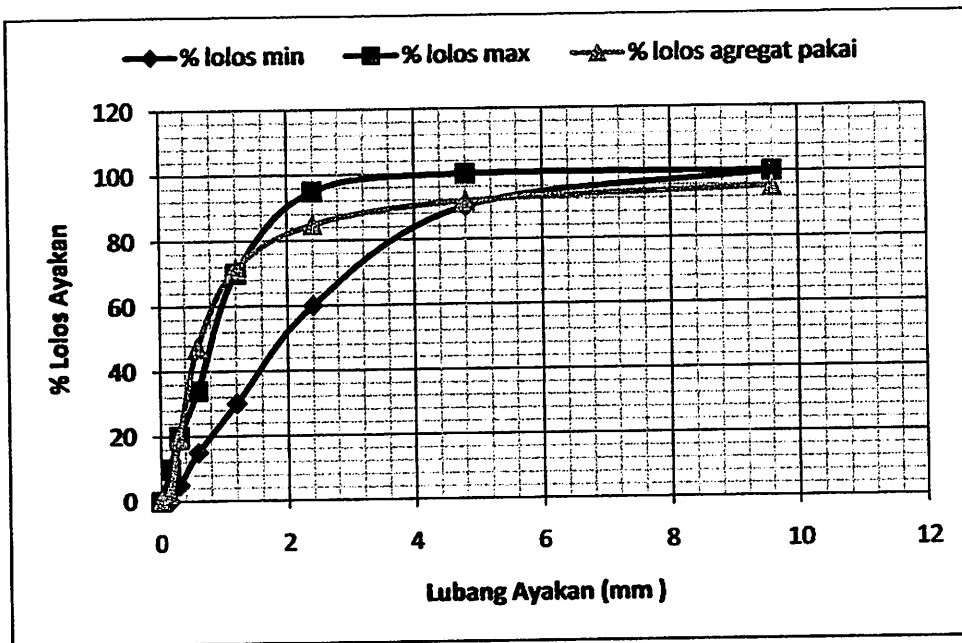
Saringan No.	Bukaan (mm)	Berat tertahan (gr)	komulatif tertahan (gr)	Persen (%)	
				% Tertahan	% Lolos
3"	76.2	0	0	0.00	100
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100
3/4"	19.1	69.5	69.5	1.10	98.90
3/8"	9.6	224.4	293.9	4.67	95.33
#4	4.75	230.9	524.8	8.34	91.66
#8	2.36	427.5	952.3	15.14	84.86
#16	1.18	843	1795.3	28.54	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

Untuk menentukan daerah susunan butiran pasir dapat dilihat pada tabel 6 berikut ini :

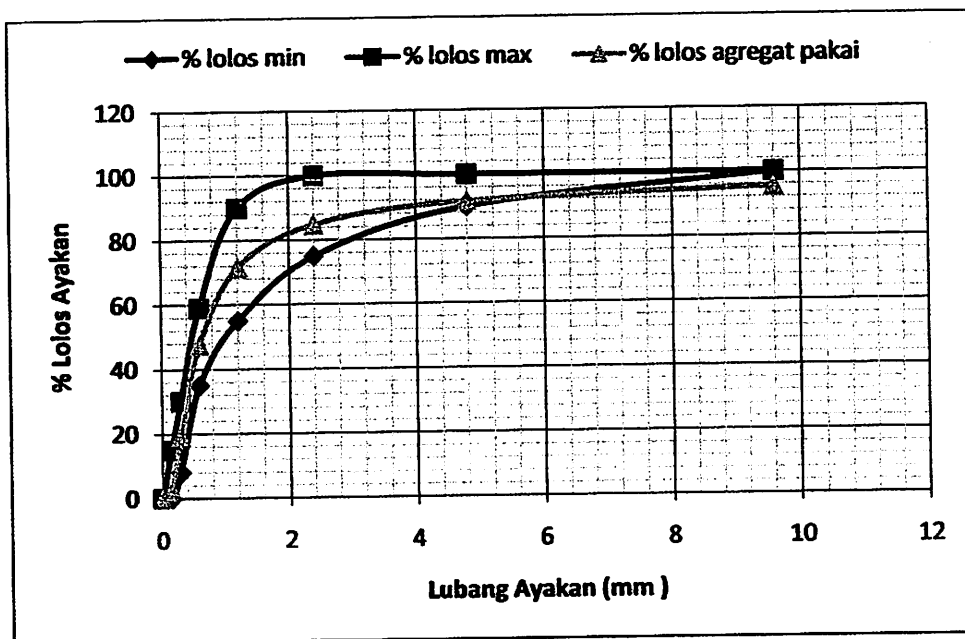
Tabel 2 Penentuan Grading Zone

Bukaan Ayakan (mm)	% lolos ayakan			
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
9.6 mm	100	100	100	100
4.75 mm	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2.36 mm	60 – 95	75 – 100	85 – 100	90 – 100
1.18 mm	30 – 70	55 – 100	75 – 100	85 – 100
0.60 mm	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0.30 mm	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0.15 mm	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

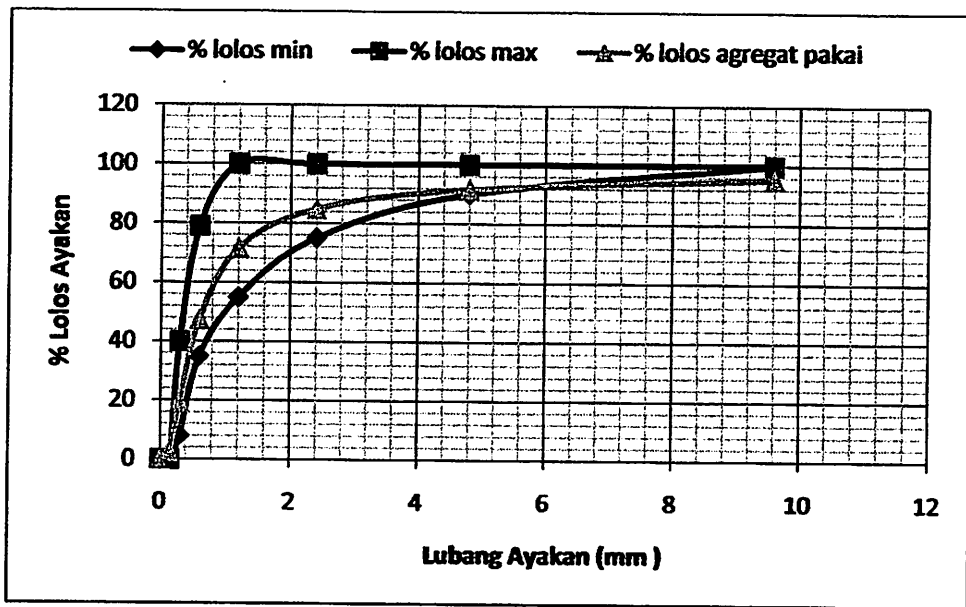
Sumber : SNI-03-2834-1993



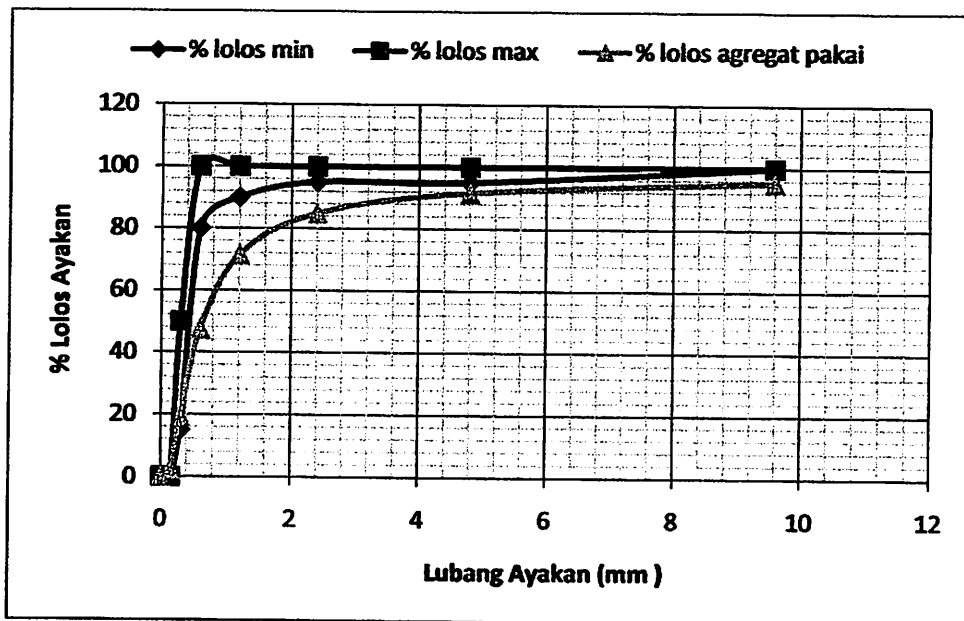
Gambar 1.1 Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 1



Gambar 1.2 Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 2



Gambar 1.3 Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 3



Gambar 1.4 Grafik Perbandingan gradasi agregat halus pakai terhadap zona 4

Dari grafik diatas digunakan zona 2

B. Analisa Kadar Air

- Tujuan : Untuk menentukan kadar air yang terkandung pada agregat halus.
- Bahan : Pasir kondisi asli dan *SSD*
- Peralatan :
 1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gram.
 2. Oven dengan suhu $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ c}$.
 3. Talam.
 4. Kerucut dan penumbuk.
- Prosedur kerja :
 1. Pasir direndam dalam air selama 24 jam. Kemudian dikeringkan dengan cara dijemur hingga diperkirakan mencapai kondisi jenuh permukaan (*Saturated Surface Dry (SSD)*).
 2. Contoh pasir dimasukkan kedalam kerucut secara bertahap sebanyak 3 bagian, setiap bagian dipadatkan dengan ditumbuk sebanyak 10 kali. Setelah kerucut penuh, permukaan diratakan. Kemudian kerucut diangkat perlahan-lahan. Apabila contoh pasir tidak runtuh semua, dapat dikatakan pasir tersebut dalam keadaan jenuh permukaan (*SSD*).
 3. Kemudian pasir ditimbang bersama talam (terlebih dahulu menimbang berat talam). Setelah itu dimasukkan kedalam oven dengan suhu 110° c selama 24 jam.
 4. Pasir yang telah dioven didinginkan kemudian ditimbang.

Kadar air agregat ditentukan sebagai berikut :

$$Kadar\ air = \frac{B - C}{C - A} \times 100\%$$

Dimana : A = Berat talam (gr).

B = Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr).

C = Berat tempat + contoh kering oven (gr).

Dari hasil analisa, diperoleh besar kadar air dalam agregat halus dalam kondisi asli adalah : 3.56% dan dalam keadaan jenuh permukaan: 1.16%.

Tabel 3 Analisa kadar air agregat halus

Kondisi Asli		A	B
A	Berat talam (gr).	3330	2690
B	Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr)	8310	8980
C	Berat tempat + contoh kering oven (gr).	8490	9200
D	Kadar air	3.614	3.498
E	Rata-rata	3.556	
Kondisi SSD		A	B
A	Berat talam (gr).	170.1	178.9
B	Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr)	665.4	672.1
C	Berat tempat + contoh kering oven (gr).	670.1	678.9
D	Kadar air	0.949	1.379
E	Rata-rata	1.164	

C. Analisa Berat Jenis

- Tujuan : Untuk menentukan berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh permukaan (SSD).
- Bahan : Pasir kondisi SSD
- Peralatan : 1. Tabung ukur (*picnometer*)
2. Timbangan
3. Oven dengan suhu 110⁰c.

- Prosedur kerja :

1. Pasir dalam kondisi jenuh permukaan (*Saturated Surface Dry (SSD)*) ditimbang sebanyak 500gr dan dimasukkan kedalam *picnometer* (terlebih dahulu menimbang berat *picnometer*), kemudian diisi air pada suhu 25⁰c dan dikocok hingga air tercampur secara merata dengan agregat halus dan tidak terdapat lagi udara pada agregat halus. Untuk lebih teliti diamkan selama 24 jam.
2. Setelah kandungan udara yang terdapat dalam agregat halus hilang, *picnometer* + agregat halus + air 25⁰c ditimbang.

Berat jenis agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

Dimana : B = Berat *picnometer* + air 25⁰c (gr).

C = Berat *picnometer* + air 25⁰c + benda uji (SSD) (gr).

Dari hasil analisa, diperoleh berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh permukaan SSD : 2.730

Tabel 4 Analisa berat jenis agregat halus SSD

No	<i>picnometer</i> + air 25 ⁰ c (gr). (b)	<i>picnometer</i> + air 25 ⁰ c + benda uji (SSD) (gr). (c)	Bj SSD	Bj SSD rata-rata
1.	667.4	983.9	2.725	2.730
2.	677.2	994.4	2.735	

D. Analisa Penyerapan Air

- Tujuan : Untuk menentukan kadar air resapan (*absorpsi*) agregat halus.
- Bahan : Pasir kondisi SSD

- Peralatan : 1. Timbangan
 - 2. Oven dengan suhu 110⁰c.
- Prosedur kerja :
 1. Pasir dalam kondisi jenuh permukaan (*Saturated Surface Dry (SSD)*) ditimbang sebanyak 500gr.
 2. Setelah itu dimasukkan kedalam oven pada suhu 110⁰c selama 24 jam.
 3. Timbang kondisi kering oven.

Penyerapan air agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Penyerapan (absorpsi)} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

Dimana : A = Berat benda uji kering oven (gr)

Dari hasil analisa, diperoleh penyerapan air agregat halus adalah 0.959%

Tabel 5 Analisa penyerapan air agregat halus

No	Berat Agregat (gr)	Berat contoh kering (gr) (A)	Absorpsi (%)	rata-rata (%)
1.	500	495.3	0.949	0.959
2.	500	495.2	0.969	

E. Analisa Berat Isi

- Tujuan : Untuk menentukan berat isi agregat halus yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya.
- Bahan : Pasir kondisi asli
- Peralatan : 1. Timbangan
 - 2. Takaran berbentuk silinder dengan volume 3000 cm³

3. Tongkat pemadat dengan diameter 15 mm, panjang 60 cm dan berujung bulat.

- Prosedur kerja :

1. Kondisi lepas. Takaran ditimbang beratnya, kemudian masukkan agregat halus hingga penuh dan diratakan permukaannya. Kemudian ditimbang berat agregat + takaran.
2. Kondisi padat. Takaran ditimbang beratnya, kemudian masukan agregat secara bertahap. Yaitu dalam tiga tahap. Setiap tahap memiliki tebal yang sama dan dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 25 kali. Setelah penuh diratakan kemudian timbang berat agregat + takaran.

Berat isi agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Berat isi} = \frac{W_2 - W_1}{v}$$

Dimana : W_1 = Berat takaran (gr).

W_2 = Berat takaran + agregat (gr).

V = Volume takaran (cm^3).

Dari hasil analisa, diperoleh berat isi agregat halus; kondisi lepas adalah 1.663 gr/cm^3 ; kondisi padat adalah 1.756 gr/cm^3 .

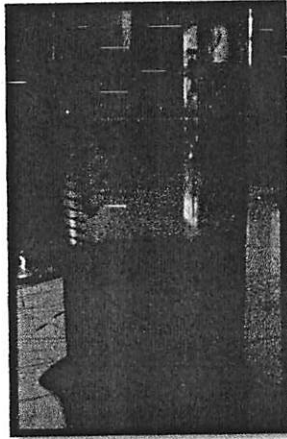
Tabel 6 Analisa berat isi agregat halus

Kondisi Lepas		I	II	III
w ₁	Berat takaran (gr).	3570	3570	3570
w ₂	Berat takaran + agregat (gr).	8560	8550	8570
v	Volume takaran (cm ³).	3000	3000	3000
Berat isi (gr/cm ³)		1.663	1.660	1.667
Rata-rata (gr/cm ³)		1.663		
Kondisi Padat		I	II	III
w ₁	Berat takaran (gr).	3570	3570	3570
w ₂	Berat takaran + agregat (gr)	8830	8830	8850
v	Volume takaran (cm ³).	3000	3000	3000
Berat isi (gr/cm ³)		1.753	1.753	1.760
Rata-rata (gr/cm ³)		1.756		

F. Analisa Kadar Organik

- Tujuan : Untuk menentukan adanya kandungan bahan organik dalam agregat halus.
- Bahan : Pasir dan NaOH 3%
- Peralatan : 1. Botol gelas tembus pandang bervolume 350 ml dengan penutup karet atau gabus yang tidak bereaksi dengan NaOH.
2. Standar warna (*organic plate*).
- Prosedur kerja :
 1. Benda uji dimasukkan kedalam botol sebanyak 1/3 volume botol.
 2. Masukkan senyawa NaOH 3% + air 97% hingga total volume menjadi 3/4 volume botol. Kemudian dikocok hingga merata. Diamkan selama 24 jam.
 3. Setelah 24 jam, bandingkan warna cairan yang terlihat pada botol dengan warna pada standar warna (*organic palte*).

Dari hasil analisa diperoleh tidak berwarna, sehingga agregat sangat baik untuk digunakan karena sangat sedikit kandungan bahan organik.



Gambar 4.2 Kandungan organik agregat halus

Tabel 7 Standar warna dan penurunan kekuatan agregat

Warna Larutan	Penurunan Kekuatan (%)	Keterangan.
Tidak berwarna	0	Sangat baik digunakan.
Kuning muda	10 – 20	Baik digunakan tanpa dicuci.
Kuning tua	15 – 30	Bisa digunakan dengan dicuci.
Kuning merah	25 – 30	
Coklat merah sedikit	25 – 50	Tidak baik digunakan
Coklat merah tua	50 - 100	

Sumber : SNI-03-2834-1993

1.2 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah daerah sekitar malang yang merupakan batu hasil mesin pemecah batu dengan mutu yang baik.

A. Analisa Saringan

- Tujuan : Untuk mengetahui ukuran butiran (gradasi) agregat kasar.

- Bahan : Agregat kasar kering oven (*dry*), seberat 15160 kg
- Peralatan :
 1. Timbangan dengan ketelitian 0.01 kg.
 2. Oven dengan suhu $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ c}$.
 3. Alat penggetar listrik (*motorized dynamic sieve shaker*).
 4. Satu set ayakan dengan ukuran bukaan :
76.2mm, 38.1mm, 19.1 mm, 9.6mm, 4.75mm, 2.36mm,
1.18mm, 0.60mm, 0.30mm, 0.15mm, 0.0075mm dan pan.
 5. Kuas dan sikat kuning.
- Prosedur kerja :
 1. Kerikil yang telah dikeringkan oleh oven selama 24 jam dengan suhu 110°C didinginkan dalam talam.
 2. Seperangkat saringan disusun sesuai dengan urutan diameternya, dimana diameter yang terbesar diletakan paling atas.
 3. Kerikil yang telah dingin dimasukan kedalam saringan teratas, kemudian seperangkat saringan tersebut digetarkan dengan tangan, atau mesin penggetar selama ± 15 menit.
 4. Kerikil yang tertinggal didalam masing-masing saringan ditimbang dan dicatat serta dihitung persentase berat yang tertinggal.
 5. Persentase berat kerikil yang tertinggal pada masing-masing saringan diplotkan pada grafik gradasi (kurva gradasi) untuk menentukan ukuran krikil.

Untuk menentukan ukuran susunan butiran kerikil dapat dilihat pada tabel 12 berikut ini :

Tabel 8 Susunan besar butiran kerikil

Bukaan Ayakan (mm)	% Lolos ayakan		
	10 mm (Ø 4.8 – 9.6 mm)	20 mm (Ø 4.8 – 19 mm)	40 mm (Ø 4.8 – 38 mm)
38.1	100	100	95 – 100
19.1	100	95 – 100	37 – 70
9.6	50 – 85	30 – 60	10 – 40
4.75	0 – 10	0 – 10	0 – 5

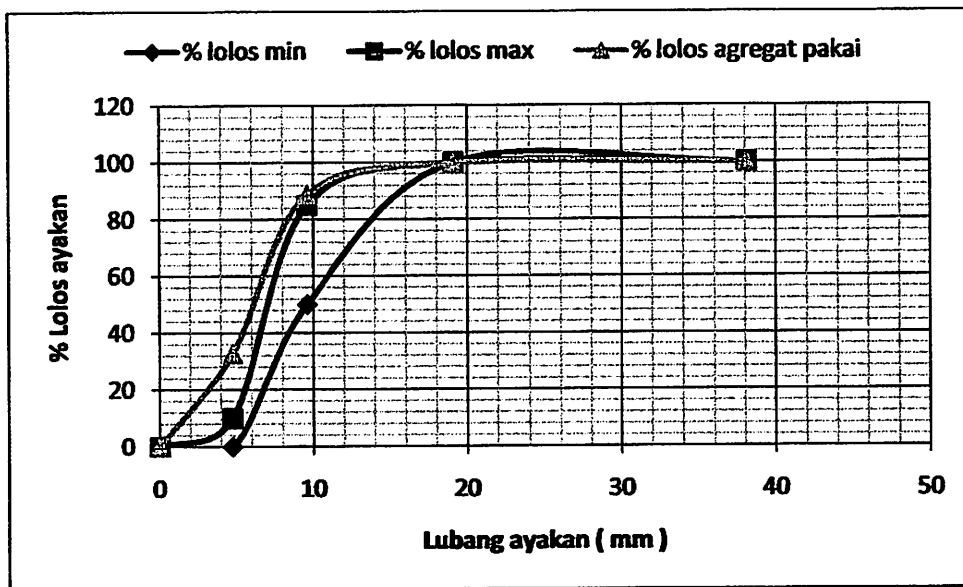
Sumber : SNI-03-2834-1993

Tabel 9 Analisa saringan agregat kasar pakai

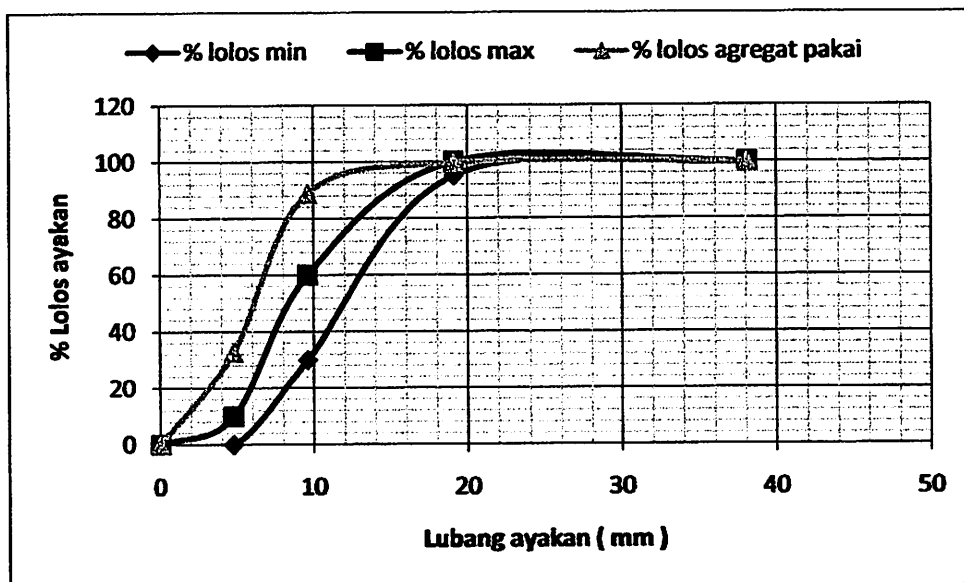
Berat contoh kering : 15160 gr

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

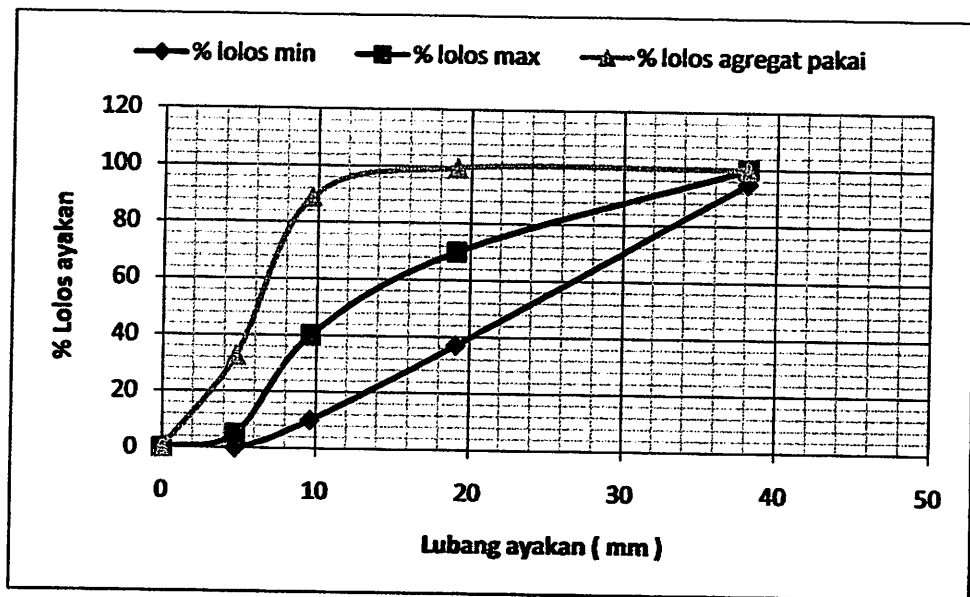
Dari hasil analisa diketahui bahwa kerikil yang digunakan berukuran maksimal 10 mm.



Gambar 4.3 Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 10 mm (\varnothing 4.8 -9.6 mm)



Gambar 4.4 Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 20 mm (\varnothing 4.8 – 19 mm)



Gambar 4.4 Perbandingan gradasi agregat kasar pakai terhadap batasan gradasi agregat kasar maksimum 20 mm (\emptyset 4.8 – 19 mm)

B. Analisa Kadar Air

- Tujuan : Untuk menentukan kadar air yang terkandung pada agregat kasar.
- Bahan : Kerikil kondisi asli dan *SSD*
- Peralatan :
 1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gram.
 2. Oven dengan suhu $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$ c.
 3. Talam.
- Prosedur kerja :
 1. Kerikil direndam dalam air selama 24 jam. Kemudian dikeringkan dengan cara dilap hingga diperkirakan mencapai kondisi jenuh permukaan

(Saturated Surface Dry (SSD)).

2. Kemudian kerikil ditimbang bersama talam (terlebih dahulu menimbang berat talam). Setelah itu dimasukkan kedalam oven dengan suhu 110^oc selama 24 jam.
3. Pasir yang telah dioven didinginkan kemudian ditimbang.

Kadar air agregat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Water Content (WC)} = \frac{B - C}{C - A} \times 100\%$$

Dimana : A = Berat talam (gr).

B = Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr).

C = Berat tempat + contoh kering oven (gr).

Dari hasil analisa, diperoleh besar kadar air dalam agregat kasar dalam kondisi asli adalah : 3.56% dan dalam keadaan jenuh permukaan: 1.16%.

Tabel 10 Analisa kadar air agregat kasar

Kondisi Asli		C	D
A	Berat talam (gr).	2600	2510
B	Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr)	16360	17670
C	Berat tempat + contoh kering oven (gr).	16570	17870
D	Kadar air	1.526	1.319
E	Rata-rata	1.423	
Kondisi SSD		C	D
A	Berat talam (gr).	166.7	164.1
B	Berat tempat + contoh jenuh permukaan (gr)	1474.8	1603.8
C	Berat tempat + contoh kering oven (gr).	1527.6	1658.6
D	Kadar air	4.036	3.806
E	Rata-rata	3.921	

C. Analisa Berat Jenis

- Tujuan : Untuk menentukan berat jenis agregat kasar dalam keadaan jenuh permukaan (*SSD*).
- Bahan : Kerikil kondisi *SSD*
- Peralatan :
 1. Keranjang
 2. Timbangan
 3. Oven dengan suhu 110⁰c.
 4. Kain kering
- Prosedur kerja :
 1. Kerikil dalam kondisi jenuh permukaan (*Saturated Surface Dry (SSD)*) ditimbang sebanyak 5000 gr dan dimasukkan kedalam keranjang yang terendam air.
 2. Timbang kerikil dalam kondisi terendam air.

Berat jenis agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{5000}{5000 - Ba}$$

Dimana : Ba = Berat contoh dalam air (gr).

Dari hasil analisa, diperoleh berat jenis agregat kasar dalam keadaan jenuh permukaan *SSD* : 2.599

Tabel 11 Analisa berat jenis agregat kasar *SSD*

No	Berat contoh (gr)	Berat contoh dalam air (gr). (Ba)	Bj <i>SSD</i>	Bj <i>SSD</i> rata-rata
1.	5000	3081.2	2.606	2.599
2.	5000	3071.5	2.593	

D. Analisa Penyerapan Air

- Tujuan : Untuk menentukan kadar air resapan (*absorpsi*) agregat kasar.
- Bahan : Kerikil kondisi *SSD*
- Peralatan :
 1. Timbangan
 2. Oven dengan suhu 110⁰c.
 3. Kain kering
- Prosedur kerja :
 1. Kerikil dalam kondisi jenuh permukaan (*Saturated Surface Dry (SSD)*) ditimbang sebanyak 5000 gr.
 2. Setelah itu dimasukkan kedalam oven pada suhu 110⁰c selama 24 jam.
 3. Timbang kondisi kering oven.

Penyerapan air agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis (absorpsi)} = \frac{5000 - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Dimana : B_k = Berat benda uji kering oven (gr)

Dari hasil analisa, diperoleh penyerapan air agregat halus adalah 0.959%

Tabel 12 Analisa penyerapan air agregat halus

No	Berat Agregat (gr)	Berat contoh kering (gr) (A)	Absorpsi (%)	rata-rata (%)
1.	5000	4835.3	3.406	3.659
2.	5000	4811.8	3.911	

E. Analisa Berat Isi

- Tujuan : Untuk menentukan berat isi agregat Kasar yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat material kering dengan

volumenya.

- Bahan : Kerikil kondisi asli
- Peralatan :
 1. Timbangan
 2. Takaran berbentuk silinder dengan volume 10000 cm³
 3. Tongkat pemadat dengan diameter 15 mm, panjang 60 cm dan berujung bulat.
- Prosedur kerja :
 1. Kondisi lepas. Takaran ditimbang beratnya, kemudian masukkan agregat kasar hingga penuh dan diratakan permukaannya. Kemudian ditimbang berat agregat + takaran.
 2. Kondisi padat. Takaran ditimbang beratnya, kemudian masukan agregat secara bertahap. Yaitu dalam tiga tahap. Setiap tahap memiliki tebal yang sama dan dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 25 kali. Setelah penuh diratakan kemudian timbang berat agregat + takaran.

Berat isi agregat halus ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Berat isi} = \frac{W_2 - W_1}{v}$$

Dimana : W_1 = Berat takaran (gr).

W_2 = Berat takaran + agregat (gr).

V = Volume takaran (cm³).

Dari hasil analisa, diperoleh berat isi agregat halus; kondisi lepas adalah 1.300 gr/cm³; kondisi padat adalah 1.438 gr/cm³.

Tabel 13 Analisa berat isi agregat kasar

Kondisi Lepas		I	II	III
w ₁	Berat takaran (gr).	7920	7920	7920
w ₂	Berat takaran + agregat (gr).	20910	20990	20870
v	Volume takaran (cm ³).	10000	10000	10000
Berat isi (gr/cm ³)		1.299	1.307	1.295
Rata-rata (gr/cm ³)		1.300		
Kondisi Padat		I	II	III
w ₁	Berat takaran (gr).	7920	7920	7920
w ₂	Berat takaran + agregat (gr)	22320	22220	22360
v	Volume takaran (cm ³).	10000	10000	10000
Berat isi (gr/cm ³)		1.440	1.430	1.444
Rata-rata (gr/cm ³)		1.438		

F. Analisa Keausan Agregat

- Tujuan : Untuk mengetahui tingkat keausan agregat kasar gradasi B (fraksi ukuran 10 - 20 mm)
- Bahan : Kerikil kondisi kering.
- Peralatan :
 1. Timbangan
 2. Mesin abrasi (*Los Angles Machine*)
 3. Oven.
 4. Saringan 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No.4, No.8, dan No.12
 5. Bola besi 10 buah.
- Prosedur kerja :
 1. Agregat kasar dicuci kemudian dioven selama 24 jam dengan suhu 110^oc.
 2. Setelah dioven, agregat kasar didinginkan kemudian disaring dengan saringan 3/4", 1/2", dan 3/8". Agregat kasar yang tertahan saringan 1/2" dan 3/8" ditimbang. Setelah itu dimasukkan kedalam mesin abrasi yang berisi bola besi.

3. Mesin diputar sebanyak 500 putaran.
4. Agregat kasar dikeluarkan dari mesin abrasi, kemudian disaring dengan urutan saringan 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", No.4, No.8, dan No.12. Agregat yang tertahan ditimbang.

Keausan agregat kasar dapat ditentukan dengan rumus :

$$Fm = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Dimana : a = Berat agregat mula-mula (gr).

b = Berat agregat setelah melalui mesin abrasi (gr).

Dari hasil analisa, diperoleh keausan agregat kasar adalah 26.716 %.

Tabel 14 Pemeriksaan keausan agregat kasar

Gradasi Pemeriksaan		Gradasi B (Fraksi 10 – 20 mm)	
Saringan		Sampel	
		I	
Lolos	Tertahan	Sebelum (a)	Sesudah (b)
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			
$Fm = \frac{5000 - 3664.2}{5000} \times 100\% = 26.716\%$			

1.3 Pengujian Baja

- Tujuan : Untuk menentukan nilai kuat tarik baja beton dan parameter lainnya guna pengendalian mutu baja dalam perhitungan.
- Bahan : Baja beton Ø 6 mm dan Ø 8 mm.

- Peralatan : 1. Mesin tarik baja digital.

2. Jangka sorong (*caliper*)

- Prosedur kerja :

1. Baja polos dipotong sesuai panjang kebutuhan. Dalam penelitian ini digunakan panjang 25 cm.

2. Diameter baja polos diukur. Diambil yang terkecil. ($\varnothing 6 = 5.4$ mm dan $\varnothing 8 = 7.4$ mm). Parameter pengujian dimasukkan.

3. Letakan benda uji pada tempat penarikan. Kemudian operasikan mesin.

Dari hasil pengujian diperoleh :

$\varnothing 6$ mm (5.4 mm) = tegangan leleh (f_y) baja rata-rata adalah 370.28 MPa. dan tegangan putus (f_s) baja rata-rata adalah 458.43 MPa.

$\varnothing 8$ mm (7.4 mm) = tegangan leleh (f_y) baja rata-rata adalah 403.62 MPa. dan tegangan putus (f_s) baja rata-rata adalah 535.63 MPa.

Tabel 15 Pemeriksaan mutu baja

No.	Specimen $\varnothing 6$	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (Newton)	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				370.28	458.43	63.62
No	Specimen $\varnothing 8$	Luas (mm^2)	Beban Maksimum (Newton)	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				403.62	535.63	80.95

1.4 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.

1.4.1 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/cm ³

1.4.2 Metode Perencanaan Campuran

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 kg/cm² = 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 16 Deviasi standar berdasarkan volume pekerjaan

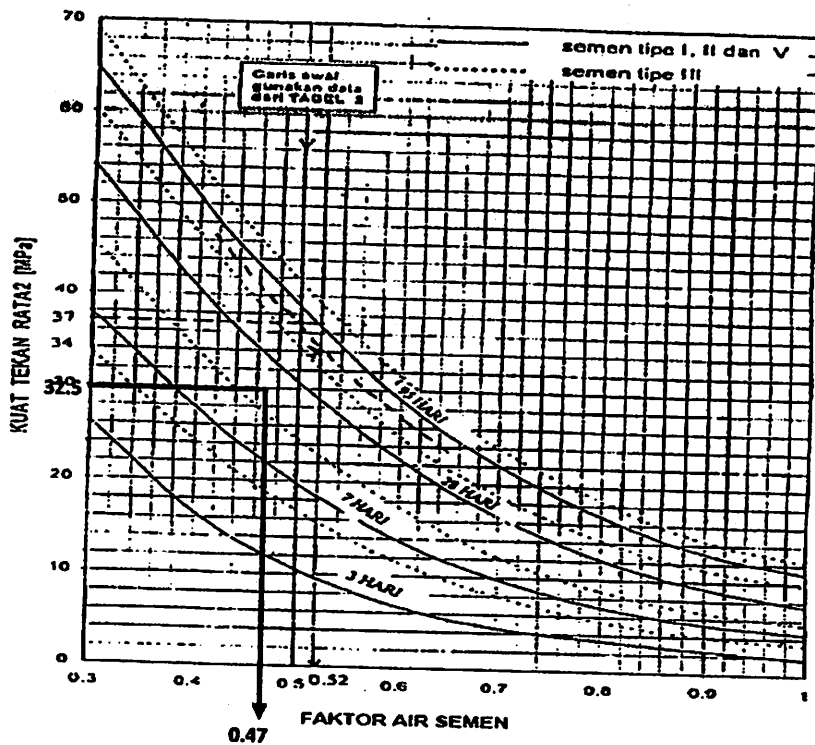
Isi pekerjaan		Deviasi standar S (kg/cm ²)		
Sebutan	Jumlah beton (m ³)	Baik sekali	baik	Dapat diterima
Kecil	< 1000	45 < S < 55	55 < S < 65	65 < S < 85
Sedang	1000 - 3000	35 < S < 45	45 < S < 55	55 < S < 75
Besar	> 3000	25 < S < 35	35 < S < 45	45 < S < 65

Sumber : Buku ajar praktikum beton bertulang ITN Malang

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



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen
(benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

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 :

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k$$

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 17 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

Sumber : SNI 03-2834-1993

Langkah IV :

Menentukan jumlah semen. Jumlah semen ditentukan berdasarkan rumus :

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

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

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

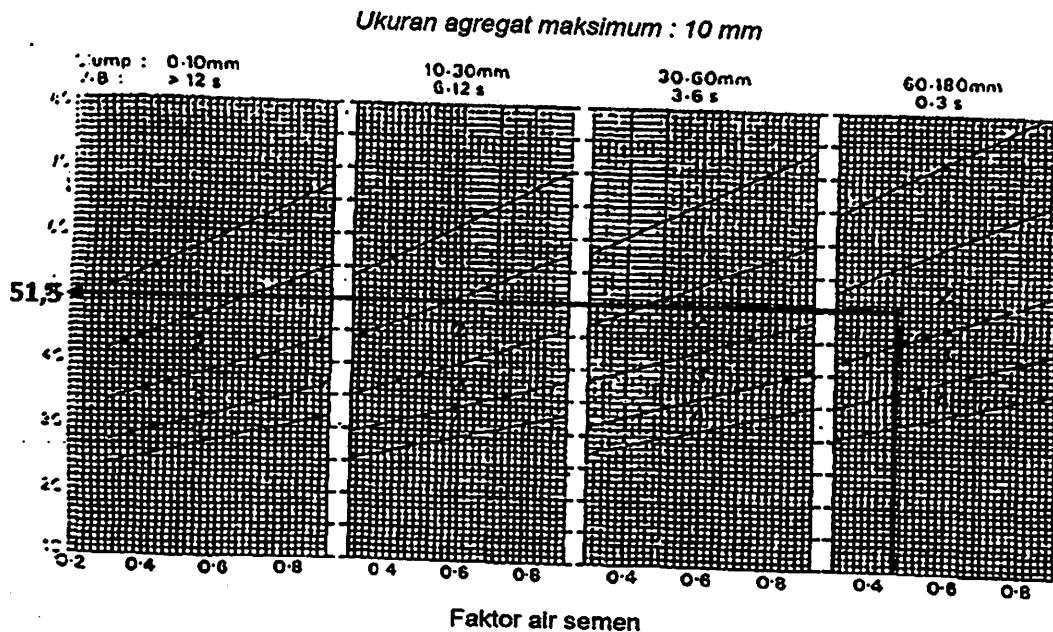
berikut (berdasarkan ukuran maksimum agregat). Yaitu : grafik 13 (agregat kasar maks. 10 mm), grafik 14 (agregat kasar maks. 20 mm) dan grafik 15 (agregat kasar maks. 40 mm) SNI 03-2834-1993.

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



Gambar 4.5 Grafik hubungan persentase pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butiran maksimum 10 mm

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).

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

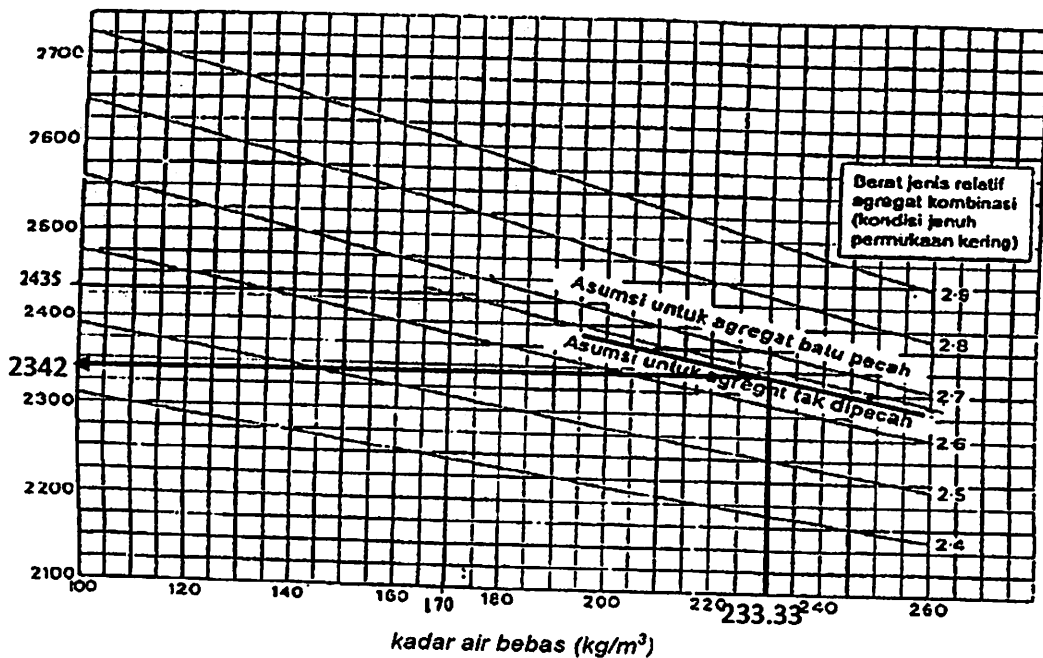
Langkah VII :

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 grafik 16 SNI 03-2834-1993.

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

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

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



Gambar 4.6 Grafik hubungan perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

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 :

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

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

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 :

$$\text{Semen} : 496,5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat halus} : 849.89 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregat kasar} : 763.105 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Air} : 232.505 \text{ kg/m}^3$$

1.5 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

1.6 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 18 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

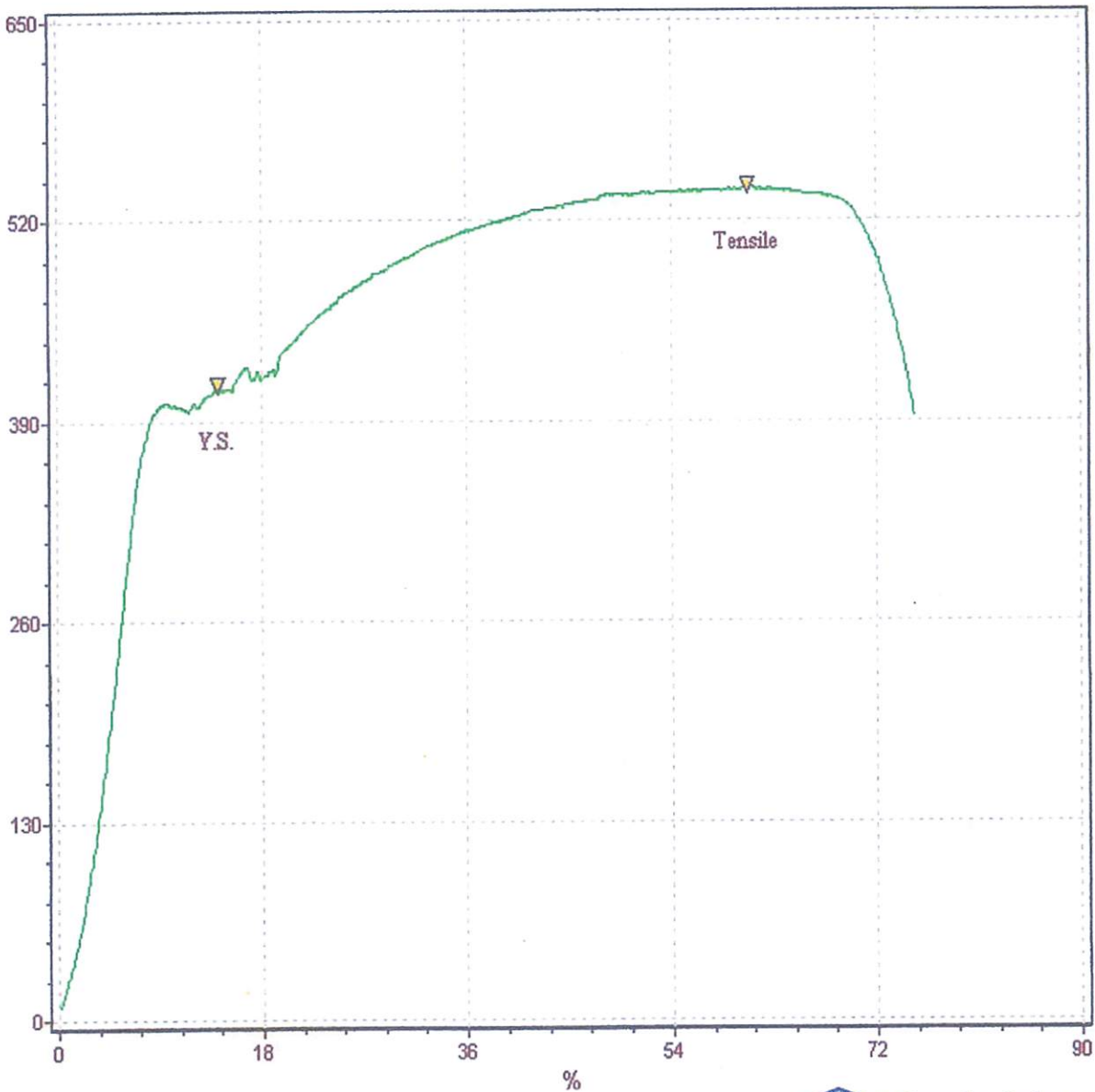
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KARANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
 TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
 2011

TEST REPORT

0126	Test Description : TENSILE	Standard : ASTM A370	Test Date: 06/27/2011		
SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BAJA POLOS 7.4 .A	43.01	23324.00	413.34	542.31	75.29

0126-01



Kepala Laboratorium :

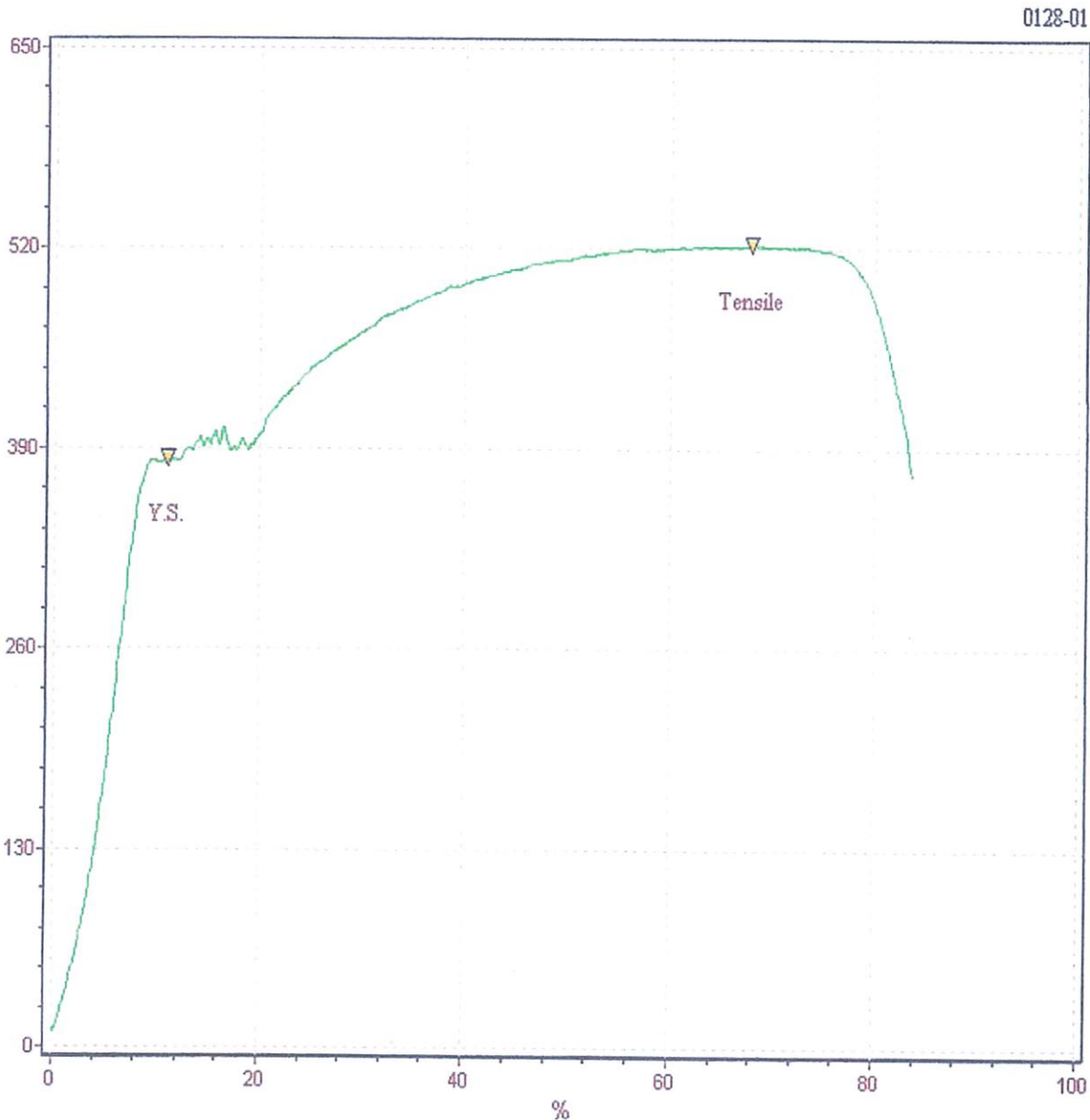


Komang Astana Widi, ST.MT

TEST REPORT

0128 Test Description : TENSILE Standard : ASTM A370 Test Date: 06/27/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
BAJA POLOS 7.4 .C	43.01	22481.20	383.49	522.72	83.64



Kepala Laboratorium :

I Komang Astana Widi ST.MT

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

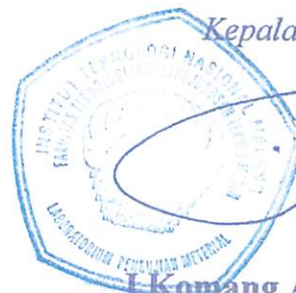
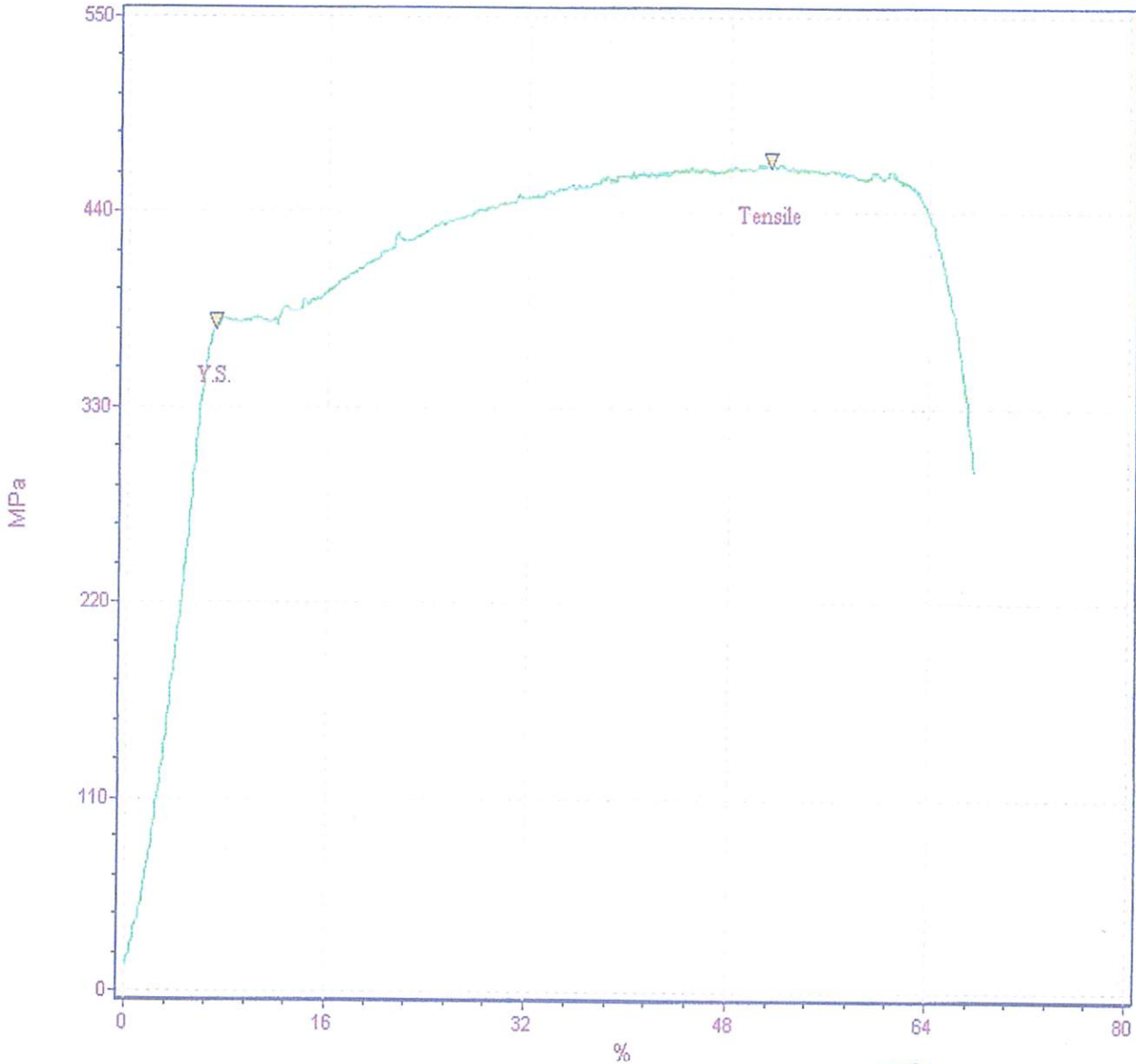
KAMPUS II JL. RAYA KAKANGLO KM. 2 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

No.: 0129 Test Description : TENSILE Standard : ASTM A370 Test Date: 06/27/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongat (%)
BAJA POLOS 5.4 .A	22.90	10740.80	378.27	468.99	67.50

0129-01



Kepala Laboratorium :

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. RAYA KARANGLU KM. 2 TASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634
2011

TEST REPORT

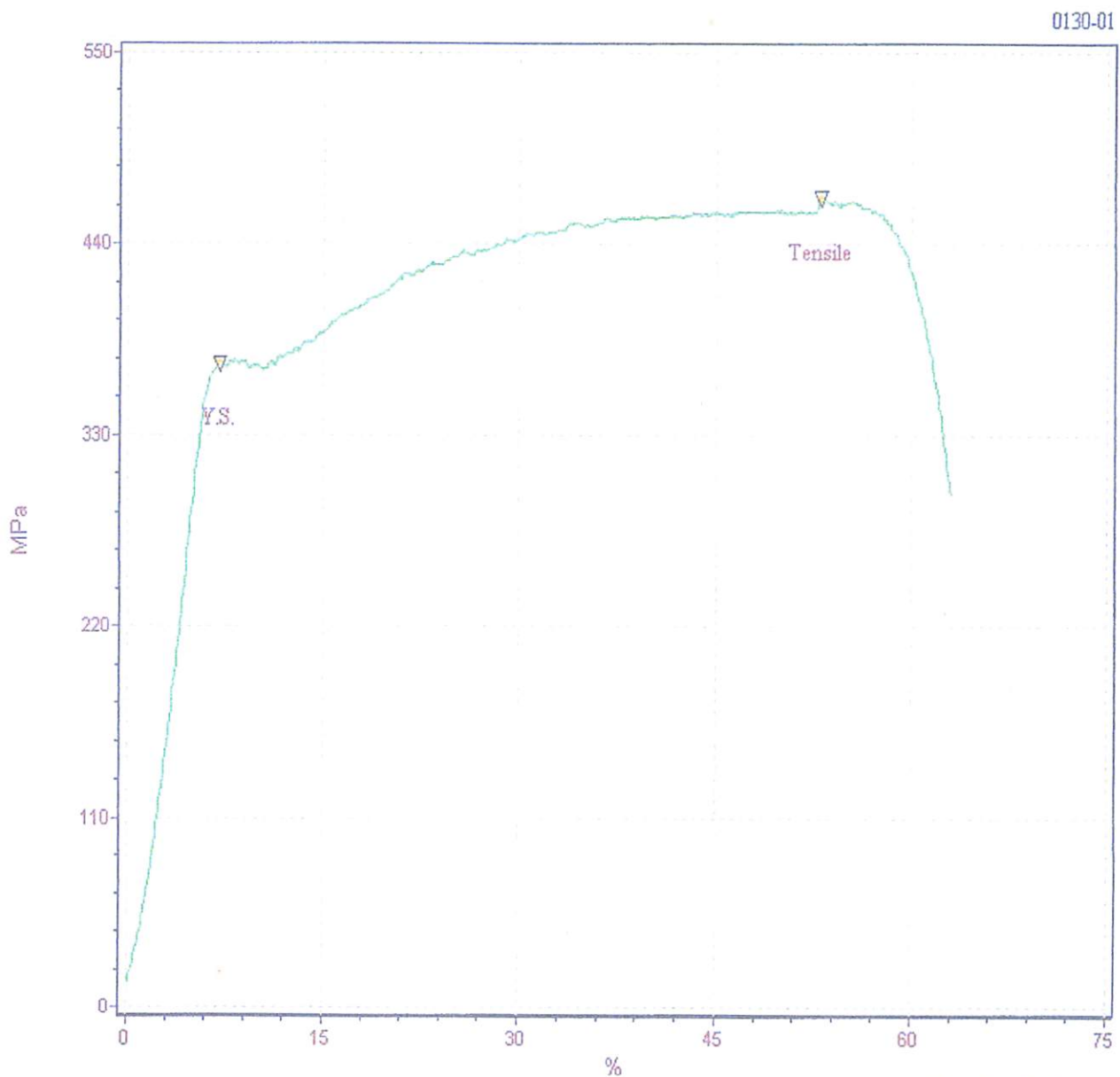
: 0130

Test Description : TENSILE

Standard : ASTM A370

Test Date: 06/27/2011

SPECIMEN	Area (mm) ²	Max. Force (Newton)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elonga (%)
BAJA POLOS 5.4 .B	22.90	10667.30	370.99	465.78	62.93



Kepala Laboratorium :



Komang Astana Widi.ST.MT

LABORATORIUM UJI MATERIAL

JURUSAN TEKNIK MESIN - S1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

KAMPUS II JL. KAYA KAKANGLU KM. 2 IASIK MADU - MALANG
TELP: (0341) 417634, 417636, 417637 FAX: 0341 - 417634

2011

TEST REPORT

Test No.: 0131

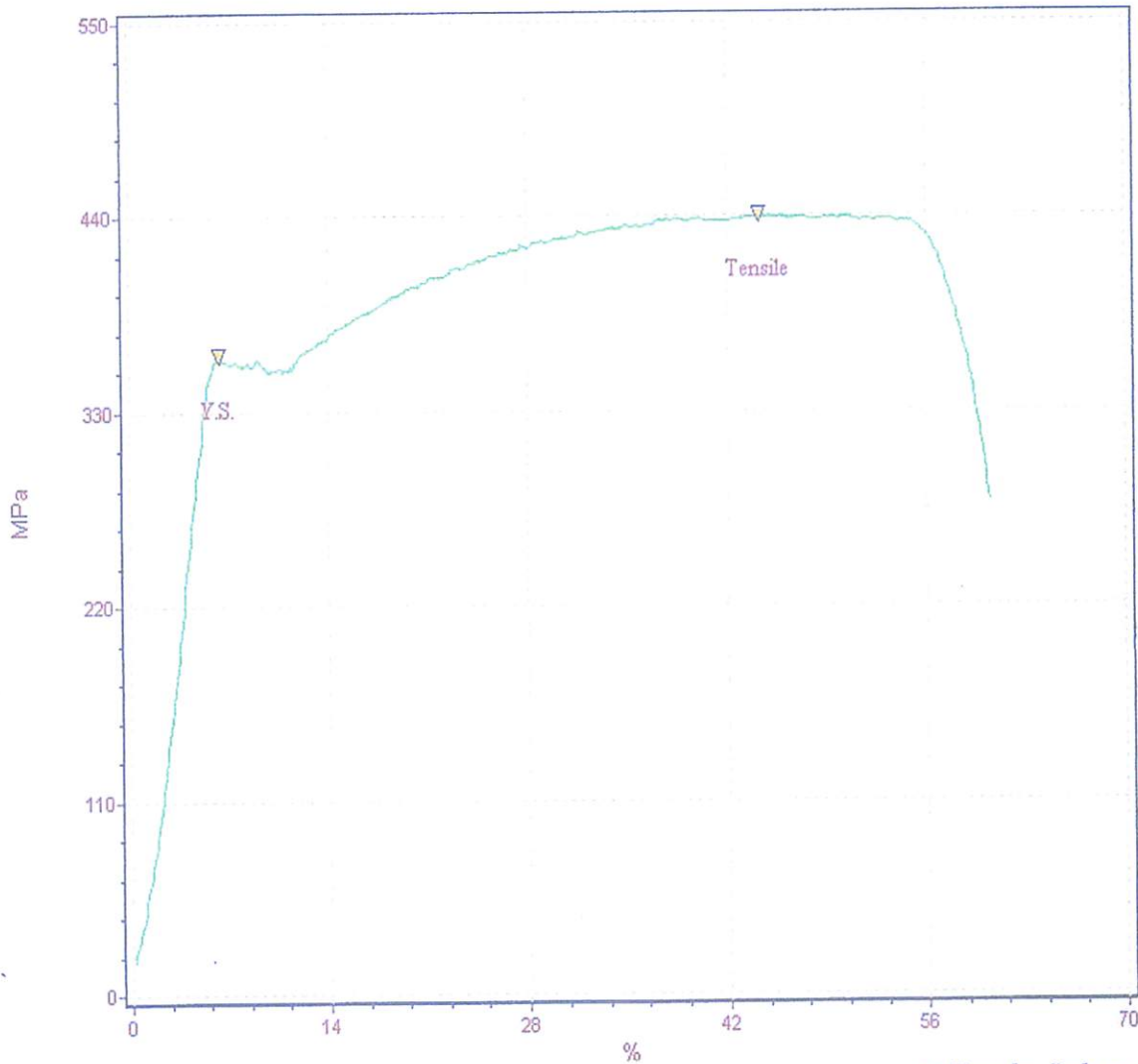
Test Description : TENSILE

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

0131-01



Kepala Laboratorium :



I Komang Astana Widi, ST.MT

NIP Y. 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. BENDUNGAN SIGURA-GURA NO.2 MALANG 65145

LEMBAR ASISTENSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK TULANGAN TARIK 308
(VARIASI TULANGAN TEKAN 508 DAN 608)**

Dosen Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST, MT.
Nama : Antonius Sutriyono
NIM : 04.21.093
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

No	Tanggal	Catatan	Tanda Tangan
	09/12-2011	<ul style="list-style-type: none">- Grafik Σ lendutan untuk 3 variabel balok di palangi- f/c balok jangkar dibuat beda², ambil nilai f/c rata².	
	20/12-2011	<ul style="list-style-type: none">- Grafik Σ lendutan dan Retak di Celah Logi sesuai dg tujuan sdr. (bab I)- Buat tabel dan grafik antara 3 variabel balok eksperimen dan teoritis	
	18/01-2012	<ul style="list-style-type: none">- tabel validasi buat yg real badan penggitf atau positif tetap di tuliskan- Rumus Σ untuk presentasi di perbaikan	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. BENDUNGAN SIGURA-GURA NO.2 MALANG 65145

LEMBAR ASISTENSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK TULANGAN TARIK 308
(VARIASI TULANGAN TEKAN 508 DAN 608)**

Dosen Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST, MT.
Nama : Antonius Sutriyono
NIM : 04.21.093
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

No	Tanggal	Catatan	Tanda Tangan
	26/01-2012	- Tahap Validasi akhir di pasai - berimpulan di buat yg baik sesuai dg tujuan akhir Skripsi sdr	
	03/02-2012	- berimpulan dibuat dg bata & perunggu atau benarkan antara es & teontor. - Abstrak dibuat dg aturan & penulisan	
	08/02-2012	- Abstrak di cek lagi jumlah batanya - Buat slide gambar hasil. (power point)	
	14/02-2012	- sempurnakan - dapat maju seminar final.	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. BENDUNGAN SIGURA-GURA NO.2 MALANG 65145

LEMBAR ASISTENSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK TULANGAN TARIK 3Ø8
(VARIASI TULANGAN TEKAN 5Ø8 DAN 6Ø8)**

Dosen Pembimbing : Yosimson P. Manaha, ST, MT.
Nama : Antonius Sutriyono
NIM : 04.21.093
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

No	Tanggal	Catatan	Tanda Tangan
	02/11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Bab I dicek lagi tujuannya.- Bab II diperbaiki- Flowchart pendefinisian diperbaiki	
	11/11-2011	<ul style="list-style-type: none">- Bab I Rumusan Ayunan diperbaiki sesuai dengan Tulangan Real (lihat judul. Sdr).- Rumus & pd Bab II dibuat yang lengkap untuk lendutan & tahanan- perintisan teori Bab II kelajuan letak garis netral (untuk tarik dan tekan).	
	04/12-2011	<ul style="list-style-type: none">- Bab I, cek lagi dan sempurnakan- Testis di cek lagi untuk Rumus balok	



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. BENDUNGAN SIGURA-GURA NO.2 MALANG 65145

LEMBAR ASISTENSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK TULANGAN TARIK 3Ø8
(VARIASI TULANGAN TEKAN 5Ø8 DAN 6Ø8)**

Dosen Pembimbing : Ir. Togi H. Nainggolan.MS
Nama : Antonius Sutriyono
NIM : 04.21.093
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

No	Tanggal	Catatan	Tanda Tangan



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JI. BENDUNGAN SIGURA-GURA NO.2 MALANG 65145

LEMBAR ASISTENSI

**PENGARUH PENAMBAHAN JUMLAH TULANGAN TEKAN TERHADAP
LENDUTAN PADA BALOK TULANGAN TARIK 3Ø8
(VARIASI TULANGAN TEKAN 5Ø8 DAN 6Ø8)**

Dosen Pembimbing : Ir. Togi H. Nainggolan.MS
Nama : Antonius Sutriano
NIM : 04.21.093
Jurusan : Teknik Sipil S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

No	Tanggal	Catatan	Tanda Tangan



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG _____

Nama : ANTONIUS SATAYONO

NIM : 0421093

Hari / tanggal : _____ / _____

Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- > Kesimpulan p
- > Hasil uji Baja p
- > Tempelan yg lepas p
- > q&A yg asli semua p

Am

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

[Signature]

Malang, 22-1- 2012

Dosen Penguji

[Signature]
 Bambang Widyantodji



FORM REVISI / PERBAIKAN
BIDANG _____

Nama Antonius Sutrisna

NIM 0921093

Hari / tanggal : Kamis, 23 + 2 - 2012

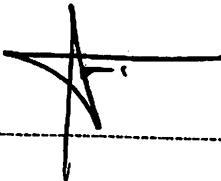
Perbaikan materi Skripsi meliputi :

- Kesimpulan akhir: sesuai tujuan penelitian

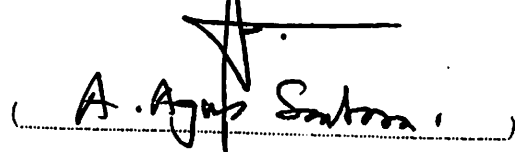
Perbaikan Skripsi harus diselesaikan selambatnya 14 hari terhitung sejak pelaksanaan Ujian dilaksanakan. Bila melebihi masa 14 hari, maka tidak dapat diikuti Yudisium.

Tugas Akhir telah diperbaiki dan disetujui :

Malang, _____ 2010
 Dosen Penguji



Malang, 23 - 2 - 2012
 Dosen Penguji


A. Agus Sutrisna